

Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л.,
Семеновський О.Є., Роговський І.Л.

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ТЕХНОЛОГІЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

За редакцією академіка АН ВО України, Заслуженого діяча науки і техніки України, д.т.н., професора А. С. Опальчука, к.т.н., доцента О. Є Семеновського

*Затверджено вченою радою Національного університету
біоресурсів і природокористування України*

2015

УДК620.669.22

ББК 30. 3я73

Т 38

***Рекомендовано вченою радою Національного
університету біоресурсів і природокористування
України***

Рецензенти:

Посвятенко Е.К. – доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету;

Афтанділянц Е.Г. – доктор технічних наук, професор кафедри матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів, Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Зауличний Я.В. – доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри металознавства та термічної обробки Національного технічного університету України;

Сушко О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології конструкційних матеріалів Таврійського державного агротехнологічного університету.

Авторський колектив:

Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л.,
Семеновський О.Є., Роговський І.Л.

Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів.

Лабораторний практикум: посібник для вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації/ Авт. колектив: Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л.

У практикумі наведено лабораторні роботи з основ металознавства і термічної обробки металів, виробництва чорних і кольорових металів, ливарного виробництва, обробки металів тиском, зварювання металів, полімерних матеріалів і оброблення матеріалів різанням.

Для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» механічних та машинобудівних напрямів підготовки вищих навчальних закладів України III – IV рівнів акредитації.

Передмова

Практикум написаний відповідно до навчальної програми дисципліни «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів» для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» інженерних та машинобудівних напрямів підготовки вищих навчальних закладів України III – IV рівнів акредитації і розширений з врахуванням навчальної програми «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавства».

Мета видання – поглиблення і закріплення студентами теоретичних знань, набуття навичок роботи з обладнанням і приладами виконання досліджень, уміння аналізувати і використовувати отримані результати.

Він складатиметься з лабораторних, практичних і розрахункових робіт, з основних розділів курсу: металознавство і термічне оброблення, металургійне виробництво, ливарне виробництво, оброблення металів і сплавів тиском, зварювання металів, неметалеві матеріали і оброблення матеріалів різанням. Методика виконання робіт опрацьована на основі багаторічного досвіду викладання дисципліни на кафедрі технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства Національного університету біоресурсів і природокористування України та обміну досвідом вивчення дисципліни в інших навчальних закладах.

Усі лабораторні роботи складені за єдиною структурою; мета роботи: теоретичні основи, висвітлені в обсязі достатньому для самостійної підготовки студентів до заняття; наведені необхідне обладнання, матеріали та інструменти; описана послідовність виконання роботи; дано зміст звіту і вимоги до його оформлення; сформульовані запитання для контролю набутих знань і умінь. Роботи, які мають розрахункове, технологічне або аналітичне спрямування, мають приклади їх виконання. Методика виконання робіт регламентується діючими в Україні стандартами, які наведені у списку літератури.

З урахуванням застосування в сучасному машинобудуванні нових металевих та неметалевих конструкційних матеріалів і методик дослідження їх властивостей в практикумі подані нові теми лабораторних робіт, зокрема, метали з ефектом пам'яті форми, визначення твердості анізотропних матеріалів за методами Котречка.

Посібник проілюстрований численними діаграмами, графічними залежностями, фотографіями мікроструктур, приладів і устаткування та їх кінематичними схемами. У додатках наведено довідковий матеріал, необхідний для виконання лабораторних робіт.

Посвідчення висвітлення достатніх теоретичних знань, методичних порад і довідкового матеріалу забезпечує орієнтацію студентів на самостійне виконання робіт. Завдяки цьому посібник

корисний не тільки для студентів денної, але й дистанційної форм навчання.

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити теоретичний матеріал з цієї теми, ознайомитися з її змістом і методикою виконання, вивчити будову відповідного обладнання і правила роботи на ньому без порушень техніки безпеки. Лабораторні роботи виконуються кожним студентом самостійно або окремими ланками студентів за одержаним від викладача індивідуальним завданням. Отримані результати узагальнюють, що дає змогу зробити висновки щодо зміни структури, властивостей матеріалів, відповідність розрахунків і отриманих результатів при дослідженнях і налагодженнях обладнання. Виконання робіт, які потребують проведення розрахунків технологічних процесів, допускається здійснювати цілими групами за консультації викладачів.

Розділи посібника написали:

А.С. Опальчук, О.О. Котречко, О.Є. Семеновський – розділи I-VI;
Л.Л. Роговський, І.Л. Роговський – VII.

Автори висловлюють глибоку подяку рецензентам докторам технічних наук, професорам Е.Г. Афтандіянцу, Я.В. Зауличному і Е.К. Посвятенку та кандидату технічних наук, доценту О.В.Сушко за цінні зауваження, врахування яких значно поліщило якість навчального посібника.

Зміст

Розділ 1. Металознавство і термічна обробка

1. Випробування металів і сплавів на твердість	5
2. Макроструктурний аналіз металів і сплавів	19
3. Мікроструктурний аналіз металів і сплавів	26
4. Визначення критичних точок і побудова діаграми стану сплавів Sn – Zn	38
5. Аналіз діаграми стану залізовуглецевих сплавів	45
6. Мікроструктура вуглецевих сталей	58
7. Мікроструктура чавунів	62
8. Термічна обробка вуглецевих сталей	66
9. Поверхнєве гартування сталей	76
10. Хіміко-термічна обробка сталей	81
11. Визначення прогартуваності сталей методом торцевого гартування	89
12. Мікроструктура легованих сталей	95
13. Розроблення технологічного процесу термічної обробки деталі	105
14. Мікроструктура і властивоті ливарних алюмінієвих сплавів	114
15. Мікроструктура і властивоті деформівних алюмінієвих сплавів	124
16. Термічна обробка алюмінієвих сплавів	133
17. Мікроструктура міді та її сплавів	139
18. Структура і властивоті антифрикційних матеріалів	150
19. Мікроструктура і властивоті матеріалів з ефектом пам'яті форми	156

Розділ 2. Металургія чорних і кольорових металів та сплавів

20. Вихідні матеріали і продукти доменного виробництва	164
21. Вихідні матеріали і продукти виробництва сталеплавильних, прокатних та ковальсько-пресових цехів	170
22. Визначення властивостей металевих порошків	176

Розділ 3. Неметалеві конструкційні матеріали

23. Визначення властивостей пластмасс	185
24. Визначення механічних властивостей деревини	193

Розділ 4. Ливарне виробництво

25. Визначення властивостей формових і стрижневих матеріалів	203
26. Проектування технологічного процесу виготовлення виливка	213

Розділ 5. Обробка металів і сплавів тиском

- | | |
|--|------------|
| 27. Вплив холодної пластичної деформації на властивості і структуру сталей | 219 |
| 28. Проектування технологічного процесу виготовлення сталеві поковки | 224 |

Розділ 6. Зварювання металів і сплавів

- | | |
|--|------------|
| 29. Побудова зовнішньої характеристики електрозварювального трансформатора | 236 |
| 30. Визначення режимів і технологічних коефіцієнтів при електродуговому зварюванні сталі | 240 |
| 31. Розроблення технології і режимів газового зварювання | 250 |
| 32. Контроль якості зварних з'єднань | 257 |
| 33. Технологічні випробування матеріалів | 262 |

Розділ 7. Оброблення матеріалів різанням

- | | |
|--|------------|
| 34. Конструкція і геометрія різців | 273 |
| 35. Конструкція і геометрія багатолезових інструментів | 281 |
| 36. Вплив елементів режиму різання і переднього кута різця на деформацію стружки | 299 |
| 37. Вплив елементів режиму різання на складові сили різання при точінні | 303 |
| 38. Дослідження зношування різців | 309 |
| 39. Вплив параметрів режиму різання на температуру різання при точінні | 312 |
| 40. Загострювання різальних інструментів | 317 |
| 41. Будова і налагодження токарно-гвинторізного верстата | 336 |
| 42. Аналіз кінематики коробки швидкостей верстата | 344 |
| 43. Перевірка токарного верстата на точність | 358 |
| 44. Будова і налагодження універсально-фрезерного верстата і ділильної головки | 366 |
| 45. Будова і налагодження зубцефрезерного верстата 5Д32 | 379 |
| 46. Будова і налагодження зубцевдвобального верстата | 396 |
| 49. Будова і налагодження шліфувальних верстатів | 403 |
| Список літератури | 425 |



Розділ 1

МЕТАЛОЗНАВСТВО І ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

Лабораторна робота 1

Випробування металів і сплавів на твердість

- ♦ **Випробування металів і сплавів на твердість**
- ♦ **Макроструктурний аналіз металів і сплавів**
- ♦ **Мікроструктурний аналіз металів і сплавів**
- ♦ **Визначення критичних точок і побудова діаграми стану сплавів Sn – Zn**
- ♦ **Аналіз діаграми стану залізовуглецевих сплавів**
- ♦ **Мікроструктура вуглецевих сталей**
- ♦ **Мікроструктура чавунів**
- ♦ **Термічна обробка вуглецевих сталей**
- ♦ **Поверхнєве гартування сталей**
- ♦ **Хіміко-термічна обробка сталей**
- ♦ **Визначення прогартуваності сталей методом торцевого гартування**
- ♦ **Вивчення мікроструктури легованих сталей**
- ♦ **Розроблення технологічного процесу термічної обробки деталі**
- ♦ **Мікроструктура і властивості ливарних алюмінієвих сплавів**
- ♦ **Мікроструктура і властивості-деформівних алюмінієвих сплавів**
- ♦ **Термічна обробка алюмінієвих сплавів**
- ♦ **Мікроструктура міді та її сплавів**
- ♦ **Структура і властивості антифрикційних матеріалів**
- ♦ **Мікроструктура і властивості матеріалів з пам'яттю форм**

Мета роботи: ознайомитися з будовою і принципом роботи твердомірів; оволодіти методикою визначення твердості сплавів на різних твердомірах; визначити вплив вмісту вуглецю на твердість сталі.

Обладнання та матеріали: твердоміри різних марок, мікроскоп МПБ-2 для вимірювання діаметра відбитка індентора, зразки сталей з різним вмістом вуглецю, таблиці чисел твердості.

Теоретичні відомості

Механічні властивості металів та сплавів визначають металоємкість машин та механізмів, а також ресурс їх роботи. До основних механічних властивостей відносяться: *міцність, твердість, в'язкість, пластичність*.

Міцність - здатність матеріалу витримувати певні навантаження не руйнуючись при цьому.

Твердість - це властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого більш твердого тіла.

В'язкість - визначається здатністю матеріалу витримувати динамічні (ударні) навантаження.

Пластичність - це властивість матеріалу змінювати форму та розміри не руйнуючись при цьому.

Механічні властивості матеріалів тісно пов'язані між собою. Тверді тіла, як правило, міцні, але в той же час мають низьку в'язкість (тобто високу крихкість) та низький рівень пластичних характеристик. Визначення механічних характеристик, як правило, потребує виготовлення спеціальних зразків, або руйнування деталей.

Розділ 1

Визначення твердості матеріалів є найпоширенішим методом випробування сплавів, який не потребує виготовлення спеціальних зразків і може бути використаний на готових деталях.

Твердість матеріалу безпосередньо пов'язана з границею міцності, тому, знаючи твердість сталі, можна визначити границю міцності:

$$\sigma_g = 0,36 \text{ HB.} \quad (1.1)$$

Твердість визначається як відношення сили опору до площі поверхні, площі проекції чи об'єму втисненої в матеріал частини індентора.

Розрізняють поверхневу, проекційну і об'ємну твердість:

- поверхнева твердість - відношення навантаження до площі поверхні відбитка ;
- проекційна твердість - відношення навантаження до площі проекції відбитка ;
- об'ємна твердість - відношення навантаження до об'єму відбитка.

Твердість вимірюють у трьох діапазонах: макро , мікро , нано.

Макродіапазон регламентує величину навантаження на індентор від 2Н до 30 кН. Мікродіапазон (див. мікротвердість) регламентує величину навантаження на індентор до 2 Н і глибину втиснення індентора більше 0,2 *мкм*.

Нанодіапазон регламентує тільки глибину втиснення індентора, яка повинна бути менше 0,2 *мкм*. Часто твердість у нанодіапазоні називають нанотвердістю.

Одним з перших методів визначення твердості був метод, що базувався на використанні шкали Мооса. В цьому випадку визначалось який з десяти стандартних мінералів дряпається тестованим матеріалом, і який матеріал з десяти стандартних мінералів дряпається досліджуванним матеріалом.

Найбільш твердими з існуючих на сьогоднішній день матеріалів є дві аллотропні модифікації вуглецю - лонсдейліт, на 58% перевершує за твердістю алмаз і фуллерит (приблизно в 2 рази твердіший алмазу). Однак практичне застосування цих речовин поки малоімовірно.

Існуючі методи вимірювання твердості різняться умовами прикладання навантаження на індентор, формою індентора, твердістю досліджуваного матеріалу, товщиною зміцненого шару покриття деталі, локальністю досліджень.

Найбільш поширені методи визначення твердості: за статичним втисненням (твердоміри Брінелля, Роквелла, Віккерса, Кнупа); за динамічним навантаженням – метод пружного відскоку бойка (твердомір Шора) і метод орієнтовного визначення твердості втисненням кульки ударом (твердомір Польді); вимірюванням електроопору; коливанням маятника; ультразвукові методи.

Твердість за Шором для металів визначається методом відскоку – за висотою, на яку після удару відскакує спеціальний, боек що падає з певної висоти в склероскопі. Твердість за цим методом оцінюється в умовних одиницях, пропорційних висоті відскоку бойка.

Твердість за Шором для полімерів (метод вдавнення) - визначається за глибиною проникнення в матеріал спеціальної загартованої сталеві голки (індентора) під дією каліброваної пружини. У цьому методі вимірювальний прилад іменується дюрометром. Метод Шора, описаний стандартом ASTM D2240 , обумовлює 12 шкал вимірювання.

Застосовується також метод Кузнецова - Герберта – Ребиндера, в цьому випадку - твердість визначається часом загасання коливань маятника, опорною якого є досліджуваний метал.

При методі Польді (подвійного відбитка кульки) - твердість оцінюється в порівнянні з твердістю еталона, випробування проводиться шляхом ударного вдавнення сталеві кульки одночасно в досліджуваний матеріал і еталон (Рис. 1.1.). Твердість досліджуваного металу визначають за формулою:

$$HP = H_e \cdot \frac{F_e}{F_0}, \text{ кгс/мм}^2 (\text{МПа}), \quad (1.2)$$

де: H_e – твердість еталона по Брінеллю;

F_e - площа відбитка на еталоні, мм^2 ;

F_0 – площа відбитка на досліджуваному металі.

Вимірювання твердості на твердомірі Брінелля. Для вимірювання твердості за Брінеллем застосовують твердоміри типу ТШ та сучасні типу ТБ5004 і ТБ5004-01, в яких сталеві кулька діаметром D втискується у випробуваний матеріал під навантаженням P з витримкою за певний проміжок часу (10, 30, 60 с).

Число твердості за Брінеллем виражається відношенням навантаження P , що діє на кульку, до площі F кулькової поверхні відбитка (рис. 1.2):

$$HB = \frac{P}{F}. \quad (1.3)$$

Площа кулькового сегмента відбитка $F = \pi Dh$. Виражаючи глибину відбитка h через діаметри кульки D і відбитка d

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \quad (1.4)$$

отримуємо:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (1.5)$$

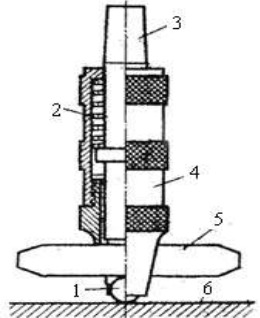


Рис. 1.1. Прилад для випробування металів методом ударного відбитку

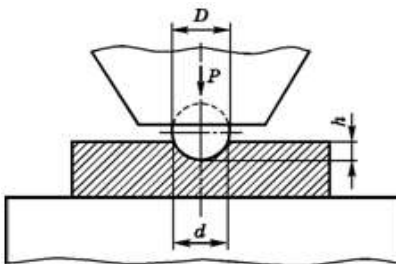


Рис. 1.2. Схема визначення твердості металів на твердомірі Брінелля

Розділ 1

Твердість визначають твердоміром типу ТШ (рис. 1.3), який складається із станини 1, в нижній частині якої розміщений гвинт 2, зі змінними столиками для випробування зразків на твердість. Гвинт зі столиком переміщують вручну, обертаючи маховик 3. У верхній частині станини розміщений шпindelь 6, в який вставляють наконечники із кульками різних діаметрів. Навантаження на індентор здійснюється вантажем 9 через систему важелів 7 і 8. Комбінацію навантажень можна змінювати в межах: 1,847 (187,5); 2,452 (250); 7,350 (750); 9,80 (1000); 14,70 (1500); 29,40 (3000) *кН* (*кгс*). Перед вимірюванням твердості зразок 4 ставлять на предметний столик і обертають маховик 3 гвинта 2, притискуючи зразок до індентора 5 доки пружина шпинделя 6 повністю не стиснеться, створивши попереднє навантаження 98 *H*.

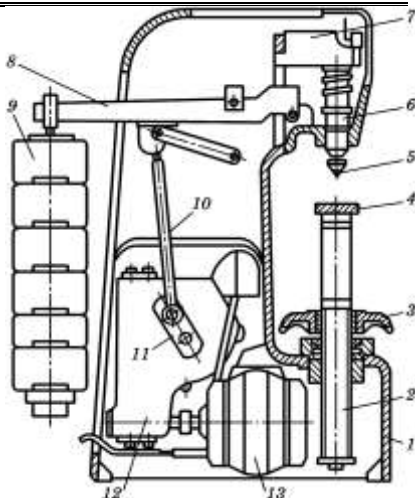


Рис. 1.3. Кінематична схема твердоміра Брінелля (типу ТШ)

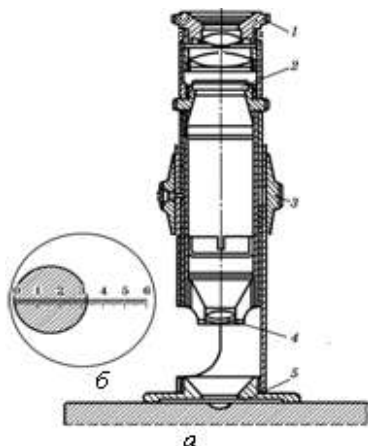


Рис. 1.4. Мікроскоп МПБ-2 для вимірювання діаметра відбитка: а — загальний вигляд у розрізі: 1 — окуляр; 2 — шкала; 3 — гайка; 4 — об'єктив; 5 — відбиток; б — схема вимірювання діаметра відбитка

Після цього, натиснувши на кнопку твердоміра, вмикається електродвигун 13, який через редуктор 12 приводить в обертальний рух кривошип 11. Від кривошипа опускається шатун 10, що звільняє важіль 8 і навантаження передається на шпindelь 6 твердоміра з індентором 5, що вдавлюється в зразок 4.

При подальшому обертанні кривошипа шатун піднімається і знімає навантаження з індентора, повернувши важіль 8 та вантаж 9 у вихідне положення. При цьому електродвигун 13 твердоміра автоматично вимикається.

Після зняття навантаження на індентор, знявши зразок із столика, вимірюють діаметр відбитка на поверхні зразка за допомогою мікроскопу МПБ-2 (рис. 1.4, а) з градуйованою шкалою (рис. 1.4, б). Для цього потрібно край відбитка сумістити з початком шкали (нульовою поділкою). Визначити поділку шкали, з якою збігається протилежний край відбитка, що відповідатиме розміру діаметра відбитка ($d = 3,2$ мм).

На практиці твердість визначають за табл. 1.2, в якій наведено числа твердості залежно від діаметра відбитка.

Напівавтоматичний твердомір типу ТБ 5004 (рис. 1.5) використовують для вимірювання твердості в двох режимах:

1. Відповідно до методики вимірювання на твердомірі типу ТШ (ручний режим).

На відміну від твердомірів типу ТШ твердоміри типу ТБ-5004 обладнані пультом керування 7 і вимірювальною голівкою індикаторного типу 5, а для твердомірів типу ТБ5004-01 — електронним блоком.

При ручному режимі після вмикання твердоміра в мережу вимикачем 11 перемикач 8 ставлять у положення «Робота», а перемикачем 9 встановлюють режим роботи «Ручний». Натискають на кнопку «Пуск», після чого включається в роботу привід навантаження, що через систему важелів забезпечує прикладання навантаження на індентор 4. При цьому загоряється контрольна лампочка 10. Як і на твердомірі типу ТШ, усі дії відбуваються автоматично до моменту вимкнення електродвигуна твердоміра.

При автоматичному режимі розбракування на групи твердості на твердомірі типу ТБ 5004-01 здійснюють таким чином. Спочатку вимірюють твердість зразка з відомою меншою твердістю в положенні зупинення стрілки індикатора (сигнальна лампочка «Витримка» гасне). Фіксують показчик «Менше». На зразку з відомою більшою твердістю аналогічно фіксують показчик «Більше». Після цього випробовують зразки з невідомою твердістю, фіксуючи положення стрілки індикатора в момент її зупинення при знятті навантаження на індентор. Якщо стрілка зупиняється між показчиками «Більше» і «Менше», то твердість випробованих зразків відповідає показчику «Норма».

До недоліків вимірювання твердості на твердомірі Брінелля належать: неможливість випробування сплавів з твердістю понад 450 НВ, оскільки сталева ку-

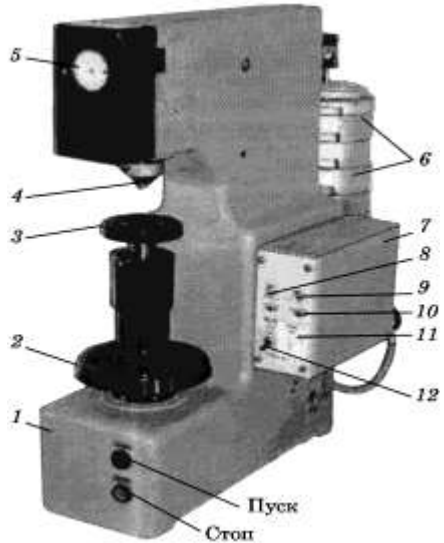


Рис. 1.5. Загальний вигляд твердоміра Брінелля типу ТБ 5004:

1 — корпус; 2 — маховик; 3 — предметний столик; 4 — індентор; 5 — індикаторна голівка; 6 — вантаж; 7 — пульт керування; 8 — перемикач режиму «Робота»; 9 — перемикач режиму «Ручний»; 10 — контрольна сигнальна лампочка;

Розділ 1

лька — індентор буде деформуватися, даючи неточні показники твердості; неможливість випробування твердості тонких зразків (менше ніж 2 мм); після випробування залишаються помітні сліди на поверхні виробів.

Вимірювання твердості на твердомірі Роквелла. Твердомір Роквелла (ТК2) на відміну від твердоміра Брінелля дає змогу вимірювати твердість матеріалів як у зміцненому, так і в розміщеному стані, що характеризує його як універсальний твердомір. На цьому твердомірі твердість вимірюють за трьома шкалами (табл. 1.1).

Характеристика шкал твердоміра Роквелла

Таблиця 1.1

Шкала	Позначення чисел твердості	Індентор	Навантаження на індентор, kH ($кгс$)	Границя вимірювання в одиницях твердості	Випробувальні матеріали
<i>A</i>	HRA	Алмазний конус	0,59 (60)	70...85	Поверхнево зміцнені матеріали
<i>B</i>	HRB	Кулька $D = 1/16''$	0,98 (100)	25...100	Сплави в розміщеному стані
<i>C</i>	HRC	Алмазний конус	1,47 (150)	20...67	Сплави в зміцненому стані

Суть вимірювання твердості на твердомірі Роквелла (типу ТК) полягає в тому, що як індентор використовують алмазний конус з кутом при вершині 120° або сталеву загартовану кульку діаметром $1/16''$ (1,588 мм). Алмазним конусом вимірюють заготовки з мінімальною товщиною до 0,4 мм, а кулькою — до 2 мм. Товщина зразка має становити не менше ніж восьмикратна глибина відбитка від індентора. При вимірюванні твердості на твердомірі Роквелла визначають не діаметр, а глибину вдавлювання індентора. Для цього використовують умовні шкали (*A*, *B* і *C*) з цифрами головки індикатора. Чорна шкала (*A* і *C*) призначена для вимірювання твердості алмазним конусом, а червона шкала (*B*) — кулькою. Поділки на шкалах індикатора відповідають числам твердості.

Загальний вигляд твердоміра Роквелла зображено на рис. 1.6, а, а його кінематичну схему — на рис. 1.6 б. У верхній частині станини твердоміра розміщено шпindel 1, в якому за допомогою гвинта 4 закріплюють оправку 5 з індентором (сталева кулька або алмазний чи твердосплавний конус). Постійний вантаж 16 створює навантаження на індентор 0,59 kH . Якщо на постійний вантаж 16 поставити вантаж 17, то буде створено навантаження 0,98 kH . Якщо додати вантаж 18 (0,59 kH), то загальне максимальне навантаження на індентор досягне 1,47 kH (див. табл. 1.1).

Стіл 7 призначений для розміщення на ньому випробувального зразка 6. При обертанні за ходом годинникової стрілки маховика 8 в обертання приводиться гвинт 11, який, переміщуючись угору, піднімає стіл 7 із зразком 6, підводячи його до індентора.

При подальшому обертанні маховика 8 стискується пружина 2 шпінделя 1, кулька або алмазний конус починає втілюватись у зразок 6 і при цьому стрілки головки індикатора 22 обертаються в протилежні напрямки.

Маховик 8 обертають доти, доки мала стрілка 1 (рис. 1.6, а) індикатора не дійде до червоної точки 2, а велика стрілка 3 не займе приблизно вертикальне положення (з похибкою ± 5 поділок шкали індикатора) (рис. 1.6, б), що створить попереднє навантаження 0,098 кН. Точне виставлення шкали індикатора на нуль (рис. 2.6, в) виконують за допомогою барабана 9 (див. рис. 2.5, б) тросиком 21, закріпленим на індикаторі 22.

Незалежно від того, який індентор вдавлюється у зразок (деталь), велика стрілка індикатора має суміщатися з нулем чорної шкали «С».

Основне навантаження на індентор приводиться в дію за допомогою приводу 14 від електродвигуна твердоміра.

Натисканням на клавішу 10 через кронштейн 12 приводять у дію кулачковий блок 15 механізму приводу 14, передача від якого до вантажного важеля 20 здійснюється за допомогою штока 13.

При цьому підвіска 19 з вантажами 16 – 18 опускається, створюючи основне навантаження на індентор 3 через важіль 20.

Під дією основного навантаження *індентор* вдавлюється у випробувальний зразок (деталь) 6. При цьому велика стрілка індикатора обертається проти ходу годинникової стрілки (рис. 1.6).

Після зупинення стрілки основне навантаження, що діяло на зразок, автоматично знімається і велика стрілка індикатора, обертаючись за ходом годинникової стрілки, показує за шкалою індикатора число твердості 61 HRC, або 91 HRB (рис. 1.6).

Після закінчення циклу випробування кулачковий блок автоматично вимикається і фіксується у вихідному положенні.

Для вимірювання твердості підбирають зразки із плоскими і паралельними поверхнями без будь-яких дефектів (окалина, бруд, різні покриття, раковини тощо).

Після цього здійснюють контроль правильних показань твердості за допомогою контрольних брусків, твердість яких відома. Якщо твердість за твердоміром не відповідає твердості контрольних брусків, то слід вводити відповідну поправку при вимірюванні твердості досліджуваних зразків.

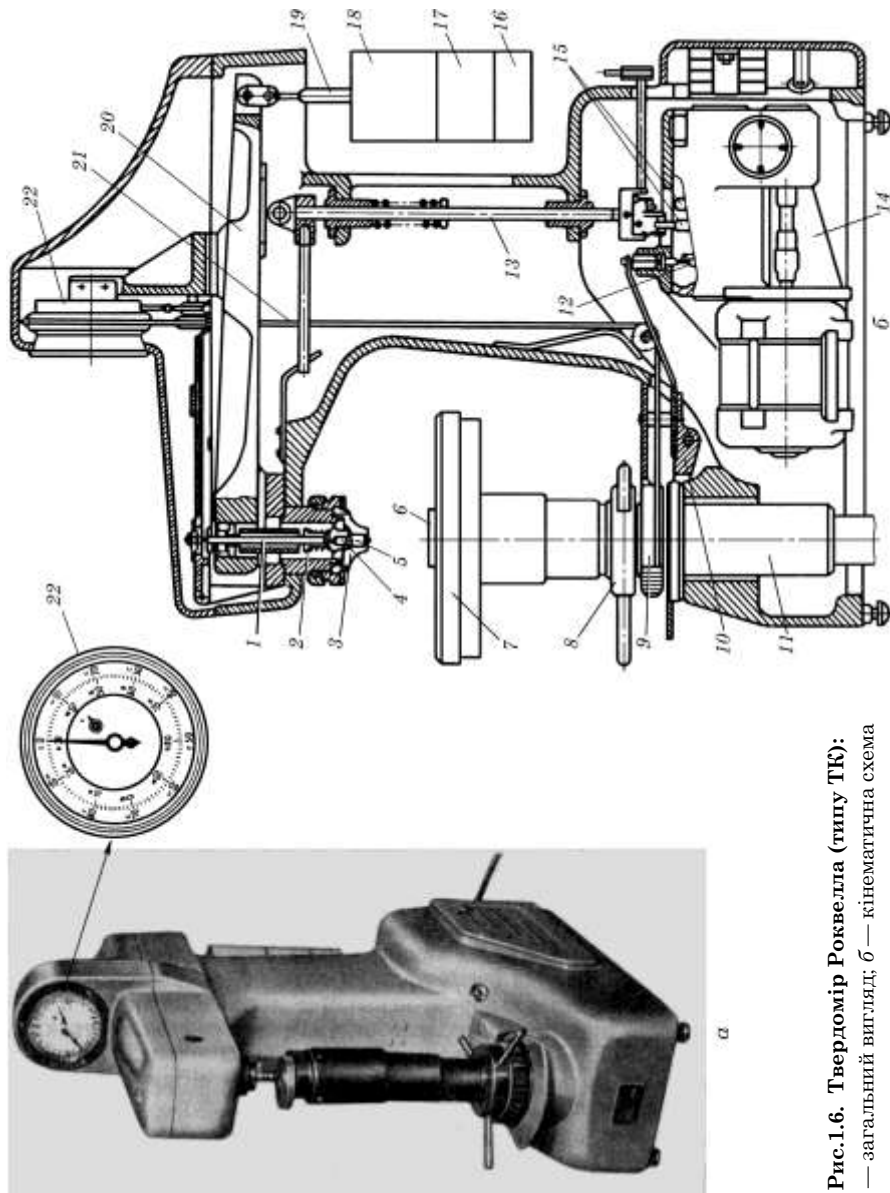


Рис.1.6. Твердомір Роквелла (типу ТҚ):
a — загальний вигляд; *б* — кінематична схема

Вимірювання мікротвердості. Вимірювання на мікротвердість проводять для дрібних деталей, тонких стрічок, фольг, азотованих і ціанованих шарів та окремих структурних складових сплавів, де неможливо використати твердоміри Брінелля, Роквелла та ін.

Мікротвердість визначають твердоміром ПМТ-5 (рис. 1.7), на корпусі якого 12 закріплюється предметний столик 15 і стояк 6, по якому гайкою 5 при послабленому гвинті 3 можна переміщувати кронштейн 4 з тубусом 18 мікроскопа. По напрямній в кінці кронштейна 4 обертанням гвинтів 1 (макроподача) і 2 (мікроподача) можна переміщувати (вгору — вниз) тубус 18. У верхній частині тубуса розміщено нахилену трубку з окуляром 19, а в нижній — об'єктив 16. До тубуса на кронштейні прикріплено механізм навантаження 7 з алмазним накопечником 9, який має вигляд чотиригранної алмазної піраміди з кутом при вершині 136°.

Верхню частину предметного столика 15 рукояткою 11 можна повертати навколо осі на 180° від одного упора до іншого. За допомогою гвинтів 13 і 14 предметний столик можна переміщувати в двох взаємно-перпендикулярних напрямках (координатне переміщення). На столик 15 установлюють мікрошліф 10.

Для навантаження використовують спеціальні вантажі у формі шайб з вирізом, які мають різну масу (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 і 500 г). Алмазна піраміда 9 вдавлюється у зразок (мікрошліф) 10 під дією вантажу 8, що розміщується на штоці, при повороті рукоятки 17 на півоберта. Діагональ отриманого відбитка вимірюють окулярним мікрометром 20 і число твердості, кН/мм^2 , визначають за формулою:

$$H_{\mu} = \frac{1,8544 \cdot P}{d^2}, \quad (1.6)$$

де: P — навантаження на піраміду, кН ;
 d — довжина діагоналі відбитка, яка є середнім арифметичним довжини обох діагоналей відбитка, мм .

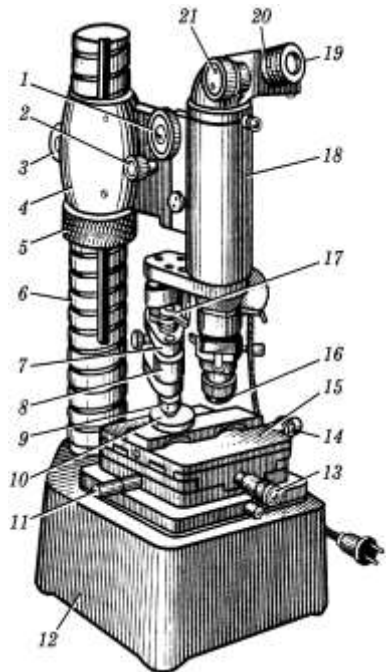


Рис. 1.7. Мікротвердомір ПМТ-5

Для вимірювання мікротвердості зразок (мікрошліф) 10 кладуть на предметний столик і за допомогою мікроскопа (окулярна 19 і об'єктива 16) вибирають місця для нанесення відбитка переміщення гвинтів 13 і 14 столика 15. Повертаючи столик на 180° навколо його вертикальної осі, рукояткою 11 підводять вибрані на шліфу місця під вершину алмазної піраміди і поворотом рукоятки 17 аретира вдавлюють у нього піраміду 9. Термін витримування під індентором становить 5 с. Після цього індентор (піраміду) разом з вантажем піднімають у попереднє положення. Потім предметний столик повертають у зворотному напрямку на 180° доти, доки мікрошліф не стане під мікроскопом для вимірювання довжини діагоналі відбитка.

Порядок вимірювання довжини діагоналі відбитка:

1. Обертанням барабана 21 (див. рис. 1.7) окулярного мікрометра 20 лівий кут перехрестя в окулярі 19 підвести (справа наліво) до правого кута відбитка (рис. 1.8, а).

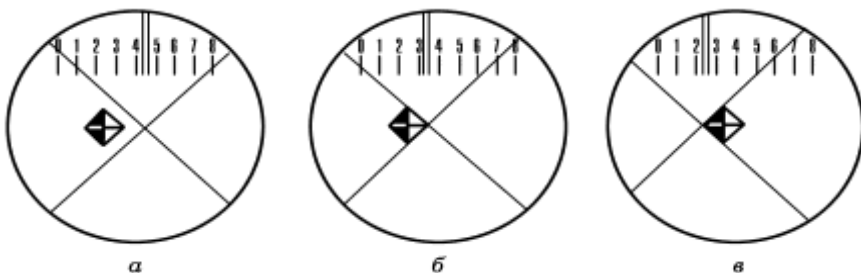


Рис. 1.8. Вимірювання довжини діагоналі відбитка окулярним мікрометром мікротвердоміра ПМТ-5

2. Зафіксувати положення подвійного штриха в окулярі (між якими цифрами шкали він розміщений). Цифра, що розміщена зліва від подвійного штриха, покаже сотні, до яких потрібно додати показання лімба барабана. Наприклад, подвійний штрих лежить між цифрами 3 і 4 (рис. 1.8, б), що відповідає числу 300, а на лімбі барабана — число 56, тоді сума дорівнює $300 + 56 = 356$.

3. Обертанням барабана окулярного мікрометра правий кут перехрестя в окулярі підвести до лівого кута відбитка (рис. 1.8, в).

4. Провести відлік показання шкали і лімба барабана окулярного мікрометра, визначивши в окулярі, між якими цифрами розмістився подвійний штрих.

5. Від першого числа 356 відняти друге число $356 - 226 = 130$ і отримане число 130 відповідатиме довжині діагоналі відбитка.

6. Визначити довжину діагоналі відбитка в мікрометрах.

Для цього отримане число 130 помножимо на ціну однієї поділки лімба барабана окулярного мікрометра (0,3 мкм) і отримаємо $130 \cdot 0,3 = 39$ мкм.

Щоб не враховувати мікротвердість за формулою (1.6), користуються спеціальними таблицями, які розраховані на відповідні навантаження.

Послідовність виконання роботи:

Вимірювання твердості на твердомірі Брінелля.

1. Отримати зразки з різним вмістом вуглецю(0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,2%).
2. Перед вимірюванням твердості поверхню зразків (деталі) зачистити на абразивному крузі.
3. Вибрати тривалість і величину навантаження на індентор, а також його діаметр (табл. 1.2).

Залежність діаметра кульки і навантаження від твердості і товщини випробуваного матеріалу

Таблиця 1.2.

Матеріал	Твердість за Брінеллем	Мінімальна товщина вимірювального матеріалу, мм	Співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки D , мм	Діаметр кульки D , мм	Навантаження P на індентор, кН	Витримування під навантаженням, с
Чорні метали і сплави	130...450	6...3 4...2 <2	$P = 30D^2$	10,0 5,0 2,5	29,420 7,355 1,960	10
	<140	>6 6...3	$P = 10D^2$	10,0 5,0	9,807 2,452	10
Кольорові метали і сплави	>140	>6	$P = 30D^2$	10,0 5,0 2,5	2,452 — —	10
	140...450	6...3 4...2 <2	$P = 10D^2$	10,0 5,0 2,5	29,420 7,355 1,839	30
	35...130	9...3 6...3	$P = 2,5D^2$	10,0 5,0	9,807 2,452	60

4. На предметний столик твердоміра покласти зразок.
5. Обертанням рукоятки за ходом годинникової стрілки підняти предметний столик, притиснувши зразок до індентора.
- При цьому центр відбитка має бути від краю зразка на відстані, не меншій від діаметра кульки (індентора).
6. Натискуванням кнопки твердоміра ввімкнути електродвигун, при цьому автоматично почеться процес вимірювання твердості, що закінчиться автоматичним вимкненням електродвигуна.
7. Заміряти діаметр відбитка і за табл. 1.3 визначити твердість (НВ), перевести її в твердість інших шкал і записати у протокол (табл. 1.4).

Розділ 1

Співвідношення чисел твердості, визначених на різних твердомірах

Таблиця 1.3.

Твердомір						
Брінелля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Сталева кулька $D = 10 \text{ мм}$		Алмазний конус	Кулька $D = 1/16''$	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
Діаметр від- битка, мм	Шкала					
	HB	HRA	HRB	HRC	HV	HSh
2,20	780	89	—	72	1224	99
2,25	745	87	—	70	1116	97
2,30	712	86	—	68	1022	95
2,35	682	85	—	66	941	93
2,40	653	84	—	64	868	88
2,45	627	83	—	62	804	85
2,50	601	82	—	60	746	81
2,55	578	81	—	58	694	78
2,60	555	79	—	56	649	75
2,65	534	78	—	54	606	72
2,70	514	77	—	52	587	70
2,75	495	76	—	50	551	68
2,80	477	76	—	49	534	66
2,85	461	75	—	48	502	64
2,90	444	74	—	46	473	61
2,95	429	73	—	45	460	59
3,00	415	72	—	44	435	57
3,02	409	72	—	43	423	55
3,05	401	71	—	42	412	53
3,10	388	71	—	41	401	52
3,15	375	70	—	40	390	50
3,20	363	70	—	39	380	49
3,25	352	69	—	38	361	47
3,30	341	68	—	37	344	46
3,35	331	68	—	36	335	45
3,40	321	67	—	35	320	44
3,45	311	67	—	34	312	42
3,50	302	67	—	33	305	41
3,55	293	66	—	31	291	40
3,60	286	66	—	30	285	—
3,65	277	65	—	29	278	—
3,70	269	65	—	28	272	—
3,75	262	64	—	27	261	—

Металознавство і термічна обробка металів

Продовження табл. 1.3

Твердомір						
Брінелля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Сталева кулька <i>D = 10 мм</i>		Алмазний конус	Кулька <i>D = 1/16"</i>	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
Діаметр відбитка, мм	Шкала					
	HB	HRA	HRB	HRC	HV	HSh
3,80	255	64	—	26	255	—
3,85	248	63	—	25	250	—
3,90	241	63	100	24	240	—
3,95	235	62	99	23	235	—
4,00	228	62	98	22	226	—
4,05	223	61	97	21	221	—
4,10	217	61	97	20	217	—
4,15	212	60	96	19	213	—
4,20	207	60	95	18	209	—
4,25	202	59	94	16	201	—
4,30	196	58	93	15	197	—
4,35	192	58	92	15	190	—
4,40	187	57	91	—	186	—
4,45	183	56	89	—	183	—
4,50	179	56	88	—	177	—
4,55	174	55	87	—	174	—
4,60	170	—	86	—	171	—
4,65	166	—	85	—	165	—
4,70	163	—	84	—	162	—
4,75	159	—	83	—	159	—
4,80	156	—	82	—	154	—
4,85	153	—	81	—	152	—
4,90	149	—	80	—	149	—
4,95	146	—	78	—	147	—
5,00	143	—	76	—	144	—
5,05	140	—	76	—	—	—
5,10	137	—	75	—	—	—
5,15	134	—	74	—	—	—
5,20	131	—	72	—	—	—
5,25	128	—	71	—	—	—
5,35	126	—	69	—	—	—
5,30	124	—	69	—	—	—
5,45	118	—	66	—	—	—
5,50	116	—	65	—	—	—

Твердомір						
Брінелля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Сталева кулька $D = 10 \text{ мм}$		Алмаз- ний ко- нус	Кулька $D = 1/16''$	Алмаз- ний ко- нус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
Діаметр відбитка, мм	Шкала					
	НВ	HRA	HRB	HRC	HV	HSh
5,55	114	—	64	—	—	—
5,60	112	—	62	—	—	—
5,65	109	—	61	5,65	109	—
5,70	107	—	59	—	—	—
5,75	105	—	58	—	—	—
5,80	103	—	57	—	—	—
5,85	101	—	56	—	—	—
5,90	99	—	54	—	—	—
5,95	97	—	53	—	—	—
6,00	96	—	52	—	—	—
6,10	92	—	49,5	—	—	—
6,20	88	—	47	—	—	—
6,36	84	—	43,5	—	—	—
6,48	80	—	40,5	—	—	—
6,56	78	—	38,5	—	—	—

Вимірювання твердості на твердомірі Роквелла.

1. Залежно від матеріалу зразка вибрати індентор і встановити відповідне навантаження (див. табл. 1.1).
2. Вставити у шпindelь твердоміра відповідний індентор.
3. Поставити зразок на стіл твердоміра.
4. Обертанням маховика 6 (див. рис. 1.6, б) за ходом годинникової стрілки обережно підняти предметний столик 7, поки зразок не доторкнеться до індентора, а стрілки індикатора не займуть вертикальне положення.
5. Обертанням барабана 9 встановити нульову поділку чорної шкали «С» навпроти кінця великої стрілки індикатора.
6. Плавним натискуванням на клавішу 10 увімкнути привід механізму навантаження через кулачковий блок 15.
7. Після закінчення циклу навантаження зафіксувати твердість за шкалою індикатора.

8. Обертанням маховика проти ходу годинникової стрілки опустити предметний столик, перемістити зразок і повторити вимірювання в іншому місці зразка.

9. Числа твердості за Роквеллом перевести на числа твердості за Брінеллем і записати їх у протокол (табл. 1.4).

Таблиця 1.4.

Марка сталі	Шкала твердоміра	Навантаження на індентор, кН	Твердість	
			за Роквеллом	за Брінеллем

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Описати способи вимірювання твердості.
4. Заповнити протокол вимірювання твердості (див. табл. 1.3).
5. Побудувати графічну залежність твердості сталі залежно від вмісту в ній вуглецю.

Контрольні запитання і завдання. 1. Що таке твердість матеріалу і методи її визначення? 2. Які індентори використовують для вимірювання твердості на твердомірі Брінелля? 3. Які шкали твердоміра Роквелла використовують для визначення твердості сталей? 4. Залежно від чого вибирають тип індентора при вимірюванні твердості на твердомірі Роквелла? 5. Послідовність вимірювання мікротвердості на мікротвердомірі.

Лабораторна робота 2

Макроструктурний аналіз металів і сплавів

Мета роботи: вивчити методика макроструктурного аналізу сплавів на прикладі готових деталей і заготовок.

Обладнання та матеріали: зразки зі зварних швів і різних видів зломів деталей і заготовок, деталі машин, лупи, шліфувальна шкурка, фільтрувальний та фотопапір, реактиви для виявлення макроструктури.

Теоретичні відомості

Експлуатаційні та технологічні властивості деталей машин і механізмів визначаються їх внутрішньою будовою - структурним станом, який залежить від хімічного складу, технологій отримання і оброблення заготовок, а також їх зміцнення.

Для отримання повної і достатньої інформації про будову металів та неметалевих конструкційних матеріалів в залежності від їх хімічного складу, структури, виду обробки тощо в матеріалознавстві використовують методи які називають структурними - це макро – та мікроаналіз.

Макроструктурний аналіз – це метод дослідження будови металів і неметалевих конструкційних матеріалів (полімери, деревина, гума, технічне скло тощо) неозброєним оком (візуально) або при невеликих збільшеннях (до 30 – 50 раз) за допомогою лупи, компаратора чи бінокулярного мікроскопу.

Макроаналізом у заготовці виявляють дендритну будову, усадкову рихлість, раковини, тріщини, шлакові включення, ліквіацію сірки, фосфору і вуглецю, структурну неоднорідність, волокнистість структури, глибину зміцненого шару, зернистість структури тощо.

В процесі макроаналізу є можливість вивчати безпосередньо значні поверхні заготовок і готових виробів, що в багатьох випадках дозволяє зробити оцінку якості деталі в залежності від попередньої обробки (лиття, обробка тиском, електродугове і газове зварювання, обробка різанням, термічна обробка).

Наприклад, оглядом поверхні зливків і литва можна виявити такі зовнішні дефекти як:

1. Пригар (шорстка поверхня, утворена сплавленням формувальної суміші з металом).

2. Недоливи (недостатнє заповнення ливарної форми металом).

3. Ужимини (довгі вузькі вм'ятини в тілі зливка).

4. Усадочні і газові раковини, пустоти різної форми і розмірів.

5. Шлакові включення.

6. Гарячі тріщини, які утворюються при кристалізації розплаву, і холодні - при охолодженні.

7. Невідповідність розмірів литва розмірами креслення (похибки в розрахунках розмірів моделей та величини усадки металів, зміщення замків опок).

Макроструктуру досліджують безпосередньо на поверхні деталі (заготовки), або зломах, отриманих при різних видах руйнування, а також на темплетях (зразках), що вирізаються із заготовок, деталей.

У процесі вивчення макроструктури використовують два методи: зломів і макрошліфів

Макроаналіз за видами зломів

Зломом називають поверхню, яка утворилась внаслідок руйнування металу. За видом злому визначають характер руйнування металевого виробу: крихке, в'язке, змішане і втомне.

За методом зломів вивчають зломи зразків, деталей, визначаючи характер злому (динамічний, втомний), розмір зерен, внутрішні дефекти (пори, тріщини), дендритну будову, структурну неоднорідність тощо.

Зломи металів та їх сплавів можуть суттєво відрізнитися по кольору. Для сталей і білих чавунів, в яких весь вуглець хімічно пов'язаний із залізом, злом має світло сірий колір. Якщо в залізвуглецевих сплавах вуглець знаходиться у вигляді графіту, то їх злом буде чорного кольору.

В деяких випадках за видом злому можна встановити причини крихкого чи втомного руйнування готових виробів. Крихкий злом має кристалічну будову.

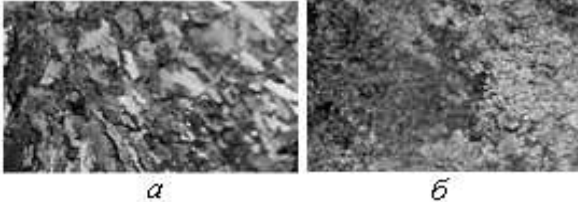


Рис. 2.1. Характер злому:

a — міжкристалічний - крихкий;
б — транскристалічний - в'язкий

В зломі можна бачити розмір і форму зерен металу, так як його руйнування відбувається без пластичної деформації. Такий злом мають сталі з низькою в'язкістю, в тому числі після гартування, перегріву, а також при випробуваннях нижче порогу холодноламокості.

Якщо тріщини при крихкому зломі розповсюджуються по границях зерен, то його називають міжкристалічним. В разі розповсюдження тріщин одночасно як по границям, так і по самим зернам, злом носить назву транскристалічного.

Різновидами крихкого злому можуть бути нафталінний, кам'янеподібний, фарфороподібний.

Злом по тілу крупних зерен, які відбивають по різному світло, називаються нафталінним. Він є характерним для перегрітих сталей. Нафталінний злом можна усунути шляхом багаторазової повторної фазової перекристалізації сталі.

Кам'янеподібний злом виникає, якщо метал має крупнозернисту будову, а руйнування носить переважно міжкристалічний характер.

Причина утворення такого злому перерозподіл домішок при перегріві металу з виділенням їх в приграничних зонах зерен. На рис. 2.2, а наведена будова попередньо перегрітої сталі 34ХН3М до температури 1250°C. Усувають кам'янеподібний злом проведенням рекристалізаційного відпалу (рис. 2.2, б).

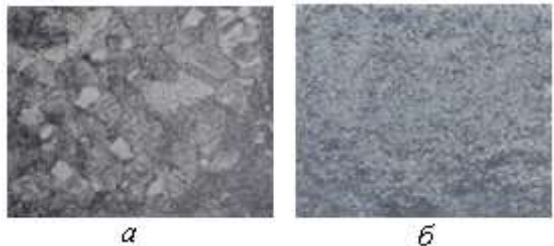


Рис. 2.2. Вид злому в сталі 34ХН3М:
a — після перегріву;
б — після рекристалізаційного відпалу

Розділ 1

Фарфороподібний злом характерний для загартованої сталі після відпуску. Він має матовий, дрібнозернистий вид поверхні руйнування.

Характерною ознакою в'язкого злому є те, що руйнування металу супроводжується значною пластичною деформацією. Тому він має волокнисту будову. Розмір і форми зерна при цьому сильно викривлені.

Змішаний злом характерний для сталей з неповною прогартовуваністю або після руйнування в перехідному температурному інтервалі між верхнім і нижнім порогами холодостійкості. Він є кристалічним на одних ділянках і в'язким на інших.

Коли руйнування відбувається в процесі дії циклічних навантажень, то виникають втомні зломи. Втомні зломи є найбільш розповсюдженими видами руйнування деталей в машинобудуванні. Вони виникають при багаторазових навантаженнях деталей і при напругах, які не перевищують межу текучості металу. Будова і розміщення зон втомного злому надто різноманітні і залежать від властивостей матеріалу, величини і характеру прикладеного до нього навантаження, температури, агресивного навколишнього середовища тощо. Втомний злом складається із осередка зародження втомної тріщини, зони її подальшого поступового розповсюдження і зони злому. Осередками зародження можуть бути дефекти будови виробів, які є причинами руйнування металу. Ними можуть бути зовнішні, підповерхневі і внутрішні осередки руйнування.

До зовнішніх дефектів можуть бути віднесені концентратори напруги такі як різь, отвори і недостатні радіуси в галтельних переходах, подряпини, риски від механічної обробки, вм'ятини, тріщини, сліди корозії тощо.

Внутрішніми дефектами будови матеріалу, що спричиняють втомне руйнування є різноманітні включення, флокени, пори, волосовими, внутрішні тріщини, структурна неоднорідність матеріалу, яка може виникати після гартування, зварювання, наклепу та інших видів обробки. На рис. 2.3 наведені види зломів вісей ланцюга транспортера. Тріщина зародилася на поверхні (рис 2.3,*a*), або під поверхнею в перехідному шарі (рис. 2.3,*б*).

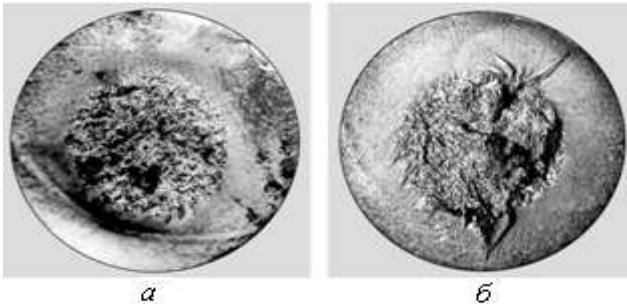


Рис. 2.3. Макроструктура втомного злому:

a — зародження тріщини на поверхні; *б* — зародження тріщини в перехідній зоні

Макроаналіз злому дозволяє також з достатньою для практичних цілей точністю проводити контроль глибини зміцненого шару після гартування або хіміко – термічної обробки. Загартовані і цементовані шари в зломі мають матовий колір та дрібнозернисту кристалічну будову і значно відрізняються від злому серцевини, які є в'язкими.

Методом макрошліфа структуру вивчають на темплеті після його шліфування і травлення спеціальним реактивом. Цим методом виявляють волокнистість (рис. 2.4.), ліквіацію сірки, фосфору і вуглецю, дефекти зварних швів, усадкові та інші раковини, тріщини, глибину зміцненого шару тощо.

В залежності від виду виробу (зливок, прокат, поковка, термічно оброблена деталь, зварне з'єднання), щоб мати достатньо інформації про його будову зразки для макроаналізу можуть вирізати із однієї або багатьох типових ділянок, які підлягають дослідженню.

Зразки із заготовок, виробів вирізають абразивним або алмазними кругами, а також різцями, фрезами, пилами на металообробних верстатах.

З метою забезпечення зберігання вихідної будови матеріалу при вирізці зразків необхідною умовою є інтенсивне охолодження їх водою. Поверхню зразка, яку досліджують, шліфують вручну наждачною шкуркою. Шліфування зразка починається шкуркою із більшим розміром абразивних зерен, а потім поступово переходять на шліфування шкурками з меншими розмірами зерен. Напрямок шліфування при кожному наступному переході із одного номера на другий змінюють на 90° . Після шліфування зразки промивають водою і сушать.

Послідовність виконання роботи

1. Перед практичним виконанням роботи під керівництвом викладача ознайомитися зі стендами, зразками, деталями, темплетами, хімічними реактивами в лабораторії кафедри. Викладач демонструє способи виготовлення макрошліфів, їх травлення відповідними реактивами, звертаючи увагу на те, що зразок для макроаналізу вирізається у відповідних площинах заготовки або деталі. Це залежить від того, що досліджується — відливок, поковка, штамповка, зварний шов, термічно зміцнена деталь тощо.

2. Поверхні, що вивчаються, піддати ручному шліфуванню шліфувальною шкуркою.

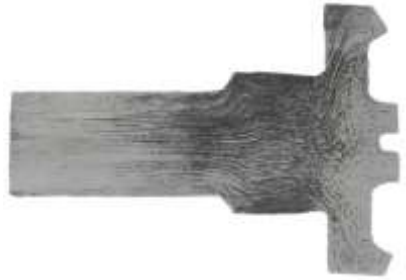


Рис. 2.4. Волокниста будова макроструктури поковки напівосі автомобіля

Виявлення неоднорідності (ліквації) сірки і фосфору.

Наявність у сталі сульфідів заліза негативно впливає на її властивості. Це пояснюється тим, що легкоплавка евтектика заліза з сірчистим залізом ($Fe+FeS$) розміщується на межах зерен і плавиться за температури $985\dots988^\circ C$. При гарячому обробленні тиском таких сталей за температур понад 1000 C евтектика швидко плавиться, розділяючи зерна, що призводить до виникнення тріщин, надривів. Таке явище називають *червоноламкістю* і воно підсилюється при нерівномірному розподіленні (ліквації) сірки.

Для виявлення в сталевих і чавунних виробках ліквації сірки використовують метод Баумана, який полягає в тому, що на підготовлений макрошліф емульсійним боком прикладають лист глянцевого бромсрібного фотографічного паперу, попередньо змоченого у 5%-му водному розчині сульфатної кислоти. Пригладжуючи зверху папір рукою, видаляють залишки повітря між папером і поверхнею макрошліфа. Через 3 хв фотопапір знімають із макрошліфа, промивають у воді й переносять у ванночку з 25-м водним розчином гіпосульфїту. Через 10...15 хв фотопапір промивають водою і сушать.

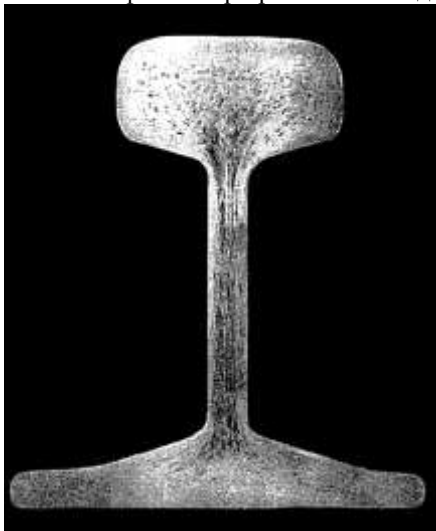
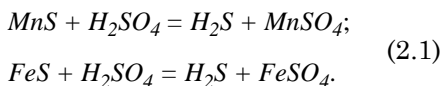


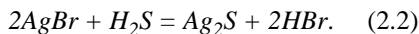
Рис. 2.5. Ліквація сірки в сталевій рейці

Отримані на фотопапері ділянки коричневого кольору (рис. 2.5) позначають місця, збагачені сіркою (скупчення сульфідів FeS , MnS).

Бромисте срібло утворюється в процесі реакцій (2.1), (2.2), які відбуваються під час взаємодії сульфідів із сульфатною кислотою, що знаходиться на змоченому папері:



Утворений сірководень (H_2S) діє на бромисте срібло емульсійного шару паперу, в результаті чого утворюється сірчисте срібло, що має темно-коричневий колір (див. рис. 2.12):



Отриманий фотовідбиток прикладають до звіту, описавши характер розподілення сірки.

Виявлення загартованого прошарку сталевій деталі. Для прикладу розглянемо виявлення глибини поверхневого прошарку сегмента різального апарату косарки або комбайна.

На поверхню макрошліфа сегмента ватним тампоном рівномірно наносять 5...10%-й розчин сульфатної кислоти у воді.

Після витримування 1...2 хв. поверхня, що піддавалася гартуванню струмами високої частоти, отримує темніше забарвлення порівняно з усією поверхнею сегмента (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Виявлення глибини гартування СВЧ

Виявлення ліквіації фосфору і дефектів зварного шва. Ліквіацію фосфору в сталевих виробах виявляють травленням макрошліфа в реактиві Гейна (85г хлорної міді — CuCl_2 , 53г хлориду амонію — NH_4Cl , розчинені в 1000cm^3 води). Цим реактивом вивчають дефекти зварного шва та волокнистість сталі.

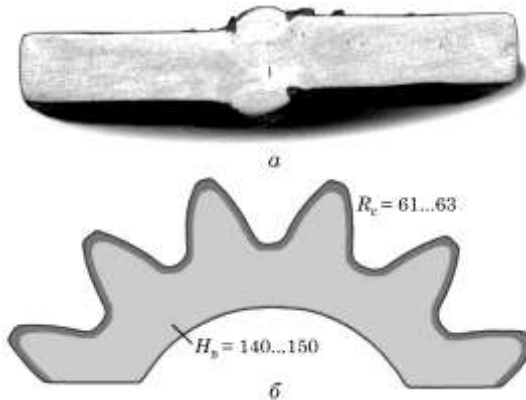


Рис. 2.7. Макроструктура поверхні: а — зварного шва; б — шестерні

При виявленні дефектів зварювального шва поверхня макрошліфа в зоні шва матиме підвищену протравленість. Зона термічного впливу, що прилягає до зварного шва, буде більш протравленою (темнішою) (рис. 2.7). Макроструктуру слід замальовувати в зошиті олівцем.

Для виявлення ліквіації фосфору і дефектів зварних швів поверхню макрошліфа занурюють у наведений реактив і витримують у ньому 2...3 хв. При цьому відбувається обмінна реакція, коли залізо, розчиняючись у реактиві, витісняє з розчину мідь, яка осідає на поверхні макрошліфа, утворюючи крихкий шар міді, що легко змивається водою. Після промивання макрошліф сушать і вивчають протравлену поверхню. Темніші зони збагачені фосфором, світліші з меншим вмістом фосфору.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Описати приготування макрошліфів.
4. Замалювати макроструктури, коротко охарактеризувавши їх.
5. Вказати використані хімреактиви в кожному конкретному дослідженні.
6. Висновки за результатами проведених досліджень.

Контрольні запитання і завдання. 1. Методи вивчення макроструктури металів і сплавів. 2. Послідовність приготування макрошліфа. 3. Яким реактивом виявляють ліквацию сірки у сталевих виробках? 4. Яким реактивом виявляють глибину зміцненого шару? 5. Які зони руйнування характерні для втомного злому. 6. В чому різниця між зломами твердих і пластичних матеріалів.

Лабораторна робота 3

Мікроструктурний аналіз металів і сплавів

Мета роботи: освоїти методику приготування мікрошліфів та методи дослідження мікроструктури металів та сплавів на оптичному мікроскопі, вивчити будову металографічного мікроскопа.

Обладнання та матеріали: Оптичні металографічні мікроскопи МИМ-7, МИМ-8, полірувальні верстати, зразки мікрошліфів, набір наждачного паперу з розміром зерен від 150 до 3,5 мкм, пластини із товстого скла або сталі, полірувальні емульсії, реактиви для травлення мікрошліфів, фільтрувальний папір, вата, конвекційні сушарки.

Короткі теоретичні відомості

Мікроструктурним аналізом називають метод дослідження структури (будови) металів та їх сплавів, а також інших непрозорих речовин за допомогою оптичних і електронних мікроскопів при збільшеннях більше 50 разів.

В процесі мікроструктурного аналізу вивчають фазовий склад металів і металевих сплавів, розмір і форму фаз, їх розміщення в сплаві, виявляють наявність неметалевих включень, їх форму, розміри, характеру розташування, визначають глибину шару, що виник на поверхні внаслідок цементації, азотування чи інших видів хіміко-термічної обробки, раковини, мікротріщини. Мікроаналіз дозволяє встановити передісторію матеріалу, тобто визначити характер, тип та якість попередньої обробки: особливості процесу лиття, обробки тиском, термічної або хіміко-термічної обробки, зварювання.

Мікроструктуру металів і сплавів вивчають на оптичних металографічних мікроскопах при збільшенні від 50 до 2000 разів.

Сучасні електронні мікроскопи мають можливість проводити дослідження при збільшеннях до 300000 разів.

Оптичний металографічний мікроскоп, що застосовується для вивчення внутрішньої будови об'єкта працює у відбитому світлі. Це основний прилад для виконання мікроструктурного аналізу матеріалів. В залежності від складності та універсальності мікроскопу в ньому може бути реалізовано одразу декілька, або лише один спосіб дослідження об'єкту. Найчастіше в металографічних мікроскопах застосовують світле поле, темне поле, поляризоване світло.

За конструкцією металографічні мікроскопи поділяються на два види - прямі та інвертовані. При прямій компоновці мікроскопу об'єктив знаходиться над об'єктом, досліджувана поверхня якого направлена вгору. При такій конструкції виникають дві проблеми: необхідність перпендикулярності оптичної осі й поверхні об'єкту та неможливість дослідження великих предметів. Перша вирішується шляхом фіксації об'єкту на пластині за допомогою пресу й пластиліну. Дослідження великих предметів виконується, або за допомогою високого штативу, або встановленням основи мікроскопу безпосередньо на плоску й горизонтальну частину об'єкту. При інвертованій (перевернутій) конструкції металографічного мікроскопу об'єктив знаходиться під об'єктом, який повернутий досліджуваною поверхнею донизу. При інвертованій компоновці мікроскопа знімаються обмеження стосовно форми та розміру зразка, але виникають обмеження за вагою, яка давить на фокусувальний механізм мікроскопу. Крім того, для інвертованих мікроскопів недоступні деякі методики, що пов'язані з обробкою поверхні матеріалу реактивами.

У сучасних лабораторіях найбільше використовують металографічні вертикальні мікроскопи МИМ-7 (рис. 3.1), які складаються з трьох основних частин: освітлювача *I*, корпусу *II*, в якому розміщено фотокамеру, і верхньої частини *III*, в якій розміщено всю оптичну систему мікроскопа.

Освітлювач *I*, що регулюється рукояткою *13*, містить ліхтар *14*, в якому електролампа через оптичну систему (рис. 3.2) мікроскопа освітлює поверхню мікрошліфа *8* (див. рис. 3.1), розміщеного на предметному столику *6*.

У корпусі *II* і у верхній частині *III* мікроскопа розміщено оптичну систему мікроскопа. Для зміни світлофільтрів користуються диском *15*, а для переключення фотоокулярів — рукояткою *24*. При фотографуванні мікроструктури використовують касету *1* з фотопластинкою розміром 9×12 або матовим склом. Під оправкою освітлювальної лінзи *17* влаштовано вузол апертурної діафрагми *16*. Для створення косоного освітлення зміщують діафрагму за допомогою гвинта *25*, а для її фіксації використовують гвинт *26*.

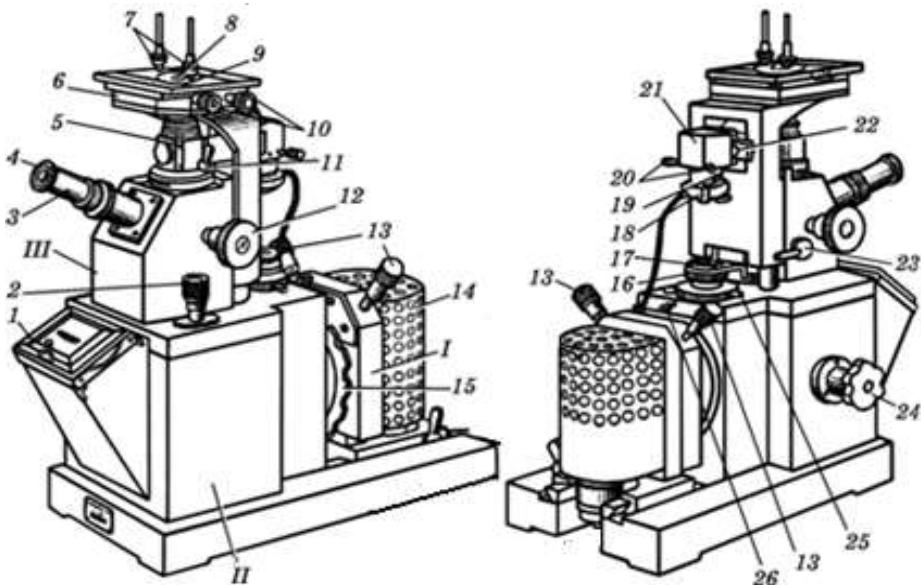


Рис. 3.1. Загальний вигляд мікроскопа МІМ-7

Для встановлення об'єктива застосовують ілюмінаторний тубус 5, на патрубку якого розміщено рамку з лінзами 22 для роботи в світлому і темному полях та рукоятку 11 для вмикання діафрагми.

У нижній частині кожуха 21 розміщено центрувальні гвинти 20 польової діафрагми 18, діаметр якої змінюють за допомогою приводу 19. Під корпусом польової діафрагми встановлюють фотозатвор. У візуальний тубус 3 вставляють окуляр 4. Гвинти 10 пересувають у двох взаємно перпендикулярних напрямках. На предметному столику встановлюють шайби 9 із різними діаметрами отворів, на які ставлять мікрошліфи 8, що притримуються притискачами 7. Мікрометричний гвинт 12 переміщує предметний столик у вертикальному напрямку для грубого наведення фокусу на мікрошліф. Для наведення фокусу використовують мікрометричний гвинт 2.

Для роботи з імерсійним об'єктивом на його фронтальну лінзу наносять краплю імерсійної (кедрової) олії. Обертанням мікрометричного гвинта 12 предметний столик опускають до контакту мікрошліфа з краплею імерсійної олії, що є на лінзі, і закріплюють затискним гвинтом 23.

При ввімкненому мікроскопі світлові промені від електролампи 1 (рис. 3.2) проходять через колектор 2 і, відбившись від дзеркала 3, потрапляють на світлофільтр 4, а потім на апертурну діафрагму 5 (для отримання високої чіткості зображення), лінзу 6, фотозатвор 7, польову діафрагму 8. Переломившись пентапризмою 9, промені проходять через лінзу 10, потрапляючи на відбивну пластину 13, спрямовуються в об'єктив 12 і на мікрошліф 11, який встановлений на предметному столику.

Відбившись від поверхні мікрошліфа 11, промені знову проходять через об'єктив 12 і, виходячи з нього паралельним пучком, потрапляють на відбивну пластину 13 і ахроматичну лінзу 14. При візуальному вивченні мікроструктури в потік променів вводиться дзеркало 15, яке направляє промені в бік окуляра 16.

Для фотографування мікроструктури дзеркало 15 вимикається зміщенням тубуса разом з окуляром і дзеркалом, а промені спрямовуються безпосередньо до фотоокуляра 17, проходячи через нього на дзеркало 18, матове скло 19, яке можна замінити касетою з фотоплівкою.

Апертурна та польова діафрагми є ірисовими діафрагмами. Апертурна діафрагма обмежує пучок променів, які виходять з осьової точки до оптичної системи (світлосилу). Чим більше розкрита апертурна діафрагма, тим інтенсивніше світловий потік, що падає на зразок, й тим більше яскравість зображення. Розкриття апертурної діафрагми одночасно зменшує глибину різкості. Польова діафрагма обмежує поле зору об'єкту, тобто величину ділянки поверхні об'єкту, що спостерігається. Вона розташовується в безпосередній близькості від одного з фокусів оптичної системи. Закриття польової діафрагми, зменшуючи поле зору, збільшує контрастність зображення, тому що при цьому відсікаються розсі-

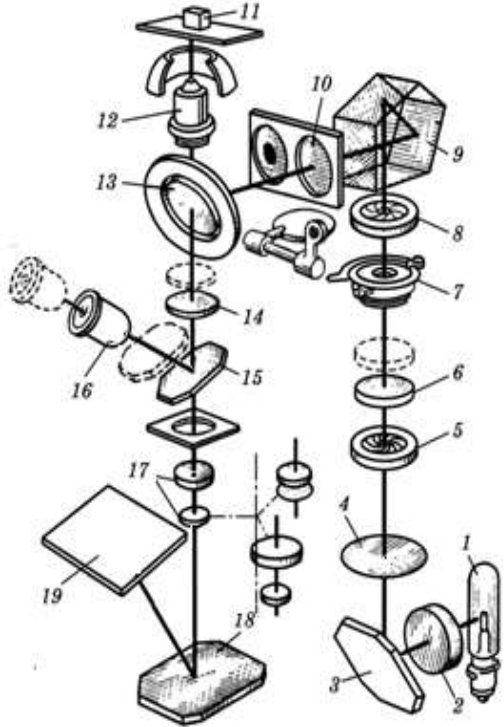


Рис. 3.2. Оптична схема мікроскопа МІМ-7

Розділ 1

яні світлові промені. Світлові фільтри відбирають промені відповідної довжини хвилі. Так, наприклад, застосування жовто-зеленого світлофільтру дозволяє більш чітко спостерігати особливості структури. Також вони зменшують хроматичну аберацію. Окрім цього, виділяючи промені з малою довжиною хвилі, можна за допомогою світлофільтра підвищити розподільну здатність мікроскопу.

Технічні можливості мікроскопа характеризуються величиною збільшення, досконалістю зображення об'єкта і розподільною здатністю.

Збільшення оптичного мікроскопа дорівнює добутку збільшень об'єктива і окуляра. Об'єктив збільшує зображений об'єкт, а окуляр - зображення.

Збільшення об'єктива:

$$N_{об} = \frac{l}{F}, \quad (3.1)$$

де: $l = 250$ — оптична довжина тубуса, *мм*;

F — фокусна відстань об'єктива (табл. 3.1), *мм*.

Збільшення окуляра для мікроскопа МИМ-7

$$N_{ок} = \frac{250}{f_{ок}}, \quad (3.2)$$

де: 250 — оптична довжина тубуса мікроскопа МИМ-7, *мм*;

$f_{ок}$ — фокусна відстань окуляра, *мм*.

Загальне збільшення мікроскопа

$$N = N_{об} N_{ок} = \frac{l}{F} \frac{250}{f_{ок}}. \quad (3.3)$$

Отже, змінюючи об'єктиви і окуляри з різними фокусними відстанями, змінюють збільшення на мікроскопі (див. табл. 3.1).

Збільшення мікроскопа МИМ-7

Таблиця 3.1.

Позначення об'єктива	При фотографуванні			При візуальному спостереженні			
	$f_{ок}, мм$						
	7	10	15	7	10	15	20
$F = 23,2 \ A = 0,17...$	70	120	160	60	90	130	170
$F = 13,9 \ A = 0,30...$	115	200	270	100	140	200	300
$F = 8,2 \ A = 0,37...$	200	340	450	170	240	360	500
$F = 6,2 \ A = 0,65...$	260	440	600	250	320	500	650
$F = 2,77 \ A = 1,25...$	575	1000	1350	500	720	1080	1440
$F = 2,8 \ A = 1,00...$	575	1000	1350	500	720	1080	1440

Досконалість зображення (різкість і чистота) залежить від ступеня усунення об'єктивом оптичних недоліків — сферичної і хроматичної абераций.

Сферична аберация полягає в неоднаковому переломленні краями лінзи і її центральною частиною променів, що виходять з однієї точки, тобто промені не сходяться в одній точці, в результаті чого зображення виходить нечітким (розмитим). Хроматична аберация виявляється в неоднаковому переломленні лінзою різних кольорів (різної довжини хвиль), що зумовлює нечітке зображення на екрані.

Якість мікроскопу визначається не лише його збільшенням, але й розподільною здатністю, яка характеризується мінімальним відстанню між двома точками досліджуваного зразка, що видні окремо. Чим менша ця відстань, тим більша розподільна здатність. Точки, що розташовані на менших відстанях, мікроскопом не розділяються, тобто їх видно як одну точку. Розподільна здатність мікроскопу залежить від розподільної здатності об'єктиву, бо якщо дві найближчі точки не розділяються в об'єктиві, то й в окулярі їх буде видно як одну. Границя розподільної здатності оптичної системи визначається явищем дифракції. Зображення точки яка випромінює монохроматичне світло, що створюється навіть самим ідеальним об'єктивом, не сприймається оком як точка, оскільки внаслідок дифракції світла фактично є круглою світлою плямою (диском) кінцевого діаметру d , яка оточена декількома попеременно темними та світлими кільцями (так званий диск Ері). де λ – довжина хвилі світла (при застосуванні немонохроматичного світла – зазвичай найменша довжина хвилі, що характеризує це світло, або довжина хвилі, інтенсивність випромінювання на якій максимальна

Розподільна здатність мікроскопа d характеризується рівнянням

$$d = \frac{\lambda}{A}, \quad (3.4)$$

де: λ — довжина хвилі світла, Å;

A — числова апертура об'єктива.

Чим коротша довжина хвилі світла і чим більша апертура об'єктива, тим дрібніші об'єкти розрізнятимуться в мікроскопі.

Числову апертуру лінзи об'єктива визначають за рівнянням:

$$A = n \sin \varphi, \quad (3.5)$$

де: n — коефіцієнт переломлення середовища між об'єктом і об'єктивом (для повітря $n = 1$);

φ — половина отвірного кута об'єктива.

Чим більший отвірний кут і коефіцієнт переломлення, тим більша апертура об'єктива, а отже, більша розподільна здатність мікроскопа.

Розділ 1

Практично $\varphi_{max} = 72^\circ$, а $\sin 72^\circ \approx 0,95$, тому найбільше значення числової апертури становить:

$$A = n \sin \varphi = 1 \cdot 0,95 = 0,95. \quad (3.6)$$

Для освітлення об'єкта використовують біле світло, довжина хвилі якого $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ (0,60 мкм), тому роздільна здатність:

$$d = \frac{\lambda}{A} = \frac{6000}{1} \approx 6000 \text{ \AA} \text{ (0,60 мкм)}. \quad (3.7)$$

Якщо застосовувати імерсійні об'єктиви з використанням кедрової олії з коефіцієнтом переломлення $n = 1,51$, то апертура становитиме:

$$A = n \sin \varphi = 1,51 \cdot 0,95 = 1,43. \quad (3.8)$$

Отже, розподільна здатність мікроскопа збільшиться приблизно в півтора рази:

$$d = \frac{\lambda}{A} = \frac{6000}{1,43} \approx 4000 \text{ \AA} \text{ (0,40 мкм)}. \quad (3.9)$$

Для підвищення розподільної здатності мікроскопа застосовують також кольорове світло, яке має меншу довжину хвилі (червоне 6200-7800 \AA , помаранчеве 5850-6200 \AA , жовте 5750-5850 \AA , зелене 5100-5500 \AA , блакитне 4800-5100 \AA , синє 4500-4800 \AA , фіолетове 3800-4500 \AA). Таким чином, застосовуючи світлові фільтри та імерсійну рідину, можна змінювати розподільну здатність мікроскопу майже на порядок величини.

Окрім величини розподільної здатності якість зображення мікроструктури визначається глибиною різкості, яскравістю, контрастністю зображення. Глибина різкості – здатність приладу давати сфокусоване зображення виступів та впадин на поверхні об'єкту одночасно. Вона залежить від характеристик об'єктиву та від розкриття апертурної діафрагми (зворотно - пропорційна його числовій апертурі й прямо - пропорційна фокусній відстані). Контрастність зображення характеризується відношенням різниці яскравостей об'єкту та фону до їх суми. Вона залежить від якості підготовки об'єкту, розкриття польової діафрагми, способу освітлення, світла, що використовується та інших спеціальних способів підсилення контрасту. Яскравість зображення визначається (окрім конструктивних особливостей мікроскопу) інтенсивністю світлового потоку від освітлювача та розкриттям апертурної діафрагми. Три параметри якості зображення можуть регулюватися шляхом налаштування апертурної та польової діафрагм та вибором способу освітлення.

Для дослідження внутрішньої будови деталей, заготовок необхідно приготувати мікрошліф з відповідної зони досліджуваного об'єкту. Основними операціями при виготовленні мікрошліфа є:

- вирізка зразків;
- шліфування;

- полірування;
- травлення мікрошліфа.

Зразок вирізають із частини деталі або заготовки, яку досліджують. Наприклад, при вивченні впливу пластичної деформації на будову металу зразки вирізають вздовж і поперек напрямку волокон текстури. При виявленні причин руйнування виробу зразки вирізають безпосередньо біля зламу. Вирізку зразків виконують алмазними або наждачними кругами, а також на металообробних верстатах (токарному, фрезерному, стругальному).

З метою збереження будови зразків під час вирізання їх інтенсивно охолоджують водою. Якщо метали або сплави крихкі (чавуни, силуміни), то кусочки для виготовлення зразків відбивають молотком, або відламують у лещатах.

Найбільш зручними для проведення досліджень є мікрошліфи у вигляді циліндрів діаметром 10-20 мм і висотою 10-15 мм та паралелепіпедів з розмірами основи 10-20 мм при тих же висотах рис. 3.3, а). У випадках, коли розміри мікрошліфів визначаються розмірами досліджуваних матеріалів (лист, дріт, частки зруйнованих деталей), їх заливають легкоплавким сплавом циліндрі (рис. 3.3, б), або затискують у струбцинах (рис. 3.3, в).

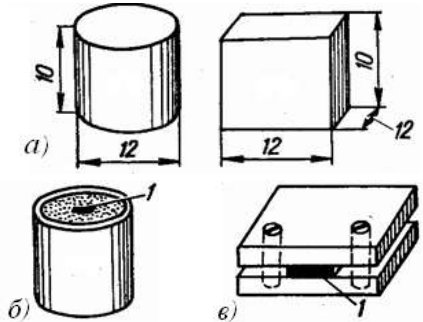


Рис. 3.3. Приклади приготування мікрошліфів

Шліфування мікрошліфів виконують вручну, використовуючи наждачний папір покладений на товсте скло або металевий лист. Шліфувати починають на наждачному папері з розмірами абразивних зерен 130-150 мкм. При цьому мікрошліф шліфують під кутом 90° відносно рисунок, що залишилися від механічної обробки до моменту їх повного видалення. Потім з поверхні мікрошліфа видаляють залишки абразивних частинок за допомогою вати або фільтрувального паперу. В подальшому шліфування продовжують з меншим зерном абразиву в тій же послідовності. Закінчують шліфування на наждачному папері з розмірами абразивних зерен 3-5 мкм. Після закінчення шліфування мікрошліф ретельно промивають під струменем води, а потім полірують.

Полірування мікрошліфів виконують на полірувальних верста-

Розділ 1

тах на кругах обтягнутих сукном або фетром. В якості абразиву використовують водну суспензію оксидів алюмінію (Al_2O_3), хрому (Cr_2O_3) або магнію (MgO), якою попередньо змочують поверхню круга. Полірування закінчують, якщо поверхня мікрошліфа набуває дзеркального виду. В подальшому мікрошліф промивають водою, сушать і попередньо вивчають на металографічному мікроскопі. При наявності на поверхні мікрошліфа ризок від механічної обробки, полірування продовжують до моменту повного їх видалення.

Замість механічного полірування використовують електролітичне, переваги якого заключаються у відсутності на поверхні

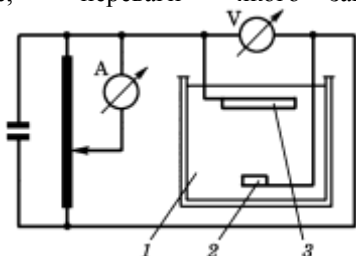


Рис. 3.4. Схема установки для електролітичного полірування мікрошліфів:

1 — електролізна ванна;
2 — мікрошліф; 3 — катод

мікрошліфа деформованого шару та отримання високоякісної дзеркальної відполірованої поверхні. Електролітичне полірування базується на використанні процесу анодного розчинення металу, що проходить з утворенням гладкої блискучої поверхні (рис. 3.4). При цьому зразок, який використовують у якості аноду, занурюють у електролізну ванну і витримують заданих значеннях густини, струму і температури електроліту. Катодом служить пластинка із нержавіючої сталі.

Електроліти і режими електрополірування

Таблиця 3.2

Сплав	Склад електроліту	Густина струму, A/cm^2	Температура електроліту, $^{\circ}C$
Вуглецева сталь, чавун	48% ортофосфornoї кислоти, 4% сульфатної кислоти, 12% води	0,1...0,6	35...50
Нержавіюча сталь	38% ортофосфornoї кислоти, 53% гліцерину, 2% води	0,2...2,0	20...115
Мідь і її сплави	7,2% хромистого ангідриду, 21,7% двохромокислого натрію, 7% оцтової кислоти, 5,8% сульфатної кислоти, 58,3% води	2,0...5,4	60...75
Алюмінієві сплави	38% сульфатної кислоти, 48% ортофосфornoї кислоти, 14% води	7,5	95

Відполірована поверхня під мікроскопом має блискучий вигляд і структуру на ній не видно. Мікроструктурний аналіз базується на різному ступеню активності різних структурних складових до відповідних травників.

При травленні різнофазового сплаву різні за хімічним складом кристали піддаються дії реактиву неоднаково, внаслідок чого по різному відбивають промені світла і набирають забарвлення, що дає можливість бачити форму зерен, визначати їх величину, виявляти включення, раковини, тріщини.

Під час травлення реактив в першу чергу діє на границі зерен, тобто на місця з найбільшою кількістю дефектів внутрішньої будови. Під прямим освітленням протравлені границі зерен найбільше розсіюють світло і мають вигляд темних ліній (рис.3.5).

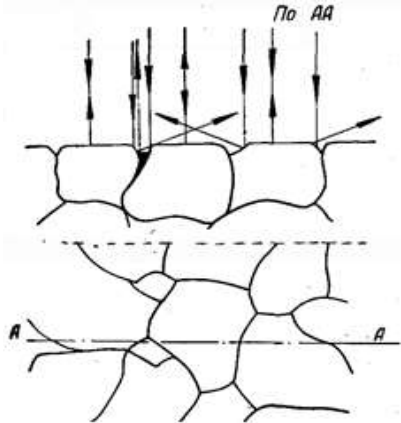


Рис. 3.5. Схема зміни напрямку променів, відбитих заглибинами, що утворилися на границях кристалів під час травлення мікшліфа

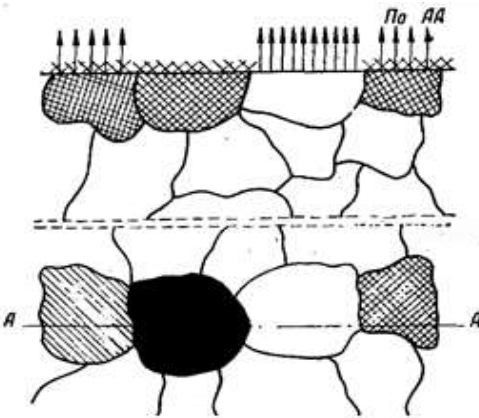


Рис. 3.6. Схема виявлення структури сплаву травленням шліфа

В залежності від хімічного складу використовують відповідний вид реактивів.

При травленні різнофазового сплаву різні за хімічним складом кристали піддаються дії реактиву неоднаково, внаслідок чого по різному відбивають промені світла і набирають відповідного забарвлення, що дає можливість бачити форму зерен, визначати їх величину, виявляти включення, раковини, тріщини (рис. 3.6).

При цьому різні включення можуть набувати різного кольору. Наприклад карбіди титану мають жовтий колір, а карбіди ніобію - голубий .

металів та їх сплавів вико-

Розділ 1

Для травлення сталей і чавунів:

- 5% розчин HNO_3 в етиловому спирті;
- 4% розчин пікринової кислоти у спирті;
- 20 см^3 концентрованої HCl , 5г., CuSO_4 і 20 см^3 H_2O для травлення жароміцних сталей;

- 3 частини HCl і одна частина HNO_3 для травлення нержавіючих сталей.

Для травлення алюмінієвих сплавів:

- 5% розчин фтористої кислоти у воді;
- суміш кислот: 1% HF , 25% HNO_3 , 1,5 HCl , 95 H_2O .

Для травлення сплавів на основі міді:

- 8% аміачний розчин CuCl_2 ;
- 3% розчин FeCl_3 в 10% розчині HCl .

Для травлення бабітів і магнієвих сплавів:

- 2-4% розчин HNO_3 у спирті;
- 20% оцтової кислоти, 60% атиленгликоля, 1% концентрованої азотної кислоти і 19% H_2O .

Вивчати структуру починають при невеликих збільшеннях. Це дозволяє отримати загальне уявлення про будову металу, відносну величину, характер розміщення структурних складових та їх співвідношення. Після такого ознайомлення досліджують особливості окремих структурних складових при більших збільшеннях.

Необхідність вибору величини збільшення визначається будовою самого металу. Якщо при вивченні структури сталей у відпаленому стані чавунів, кольорових металів у більшості випадків достатнє збільшення 50-200 разів, то для дослідження структурних складових термічно зміцненої сталі потрібно використовувати збільшення у тисячі та навіть десятки тисяч разів.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомившись з обладнанням лабораторії і методикою мікроскопічного аналізу, приступити до приготування мікрошліфів, отримавши відповідні зразки у лаборанта. Приготування мікрошліфа в лабораторії передбачає його шліфування на шліфувальних шкурках різної зернистості, починаючи з більш крупнозернистої і закінчуючи найбільш дрібнозернистою.

2. Прошліфувати зразок (мікрошліф) вручну на абразивній шкурці, покладеній на товсте скло. При шліфуванні зразок підготовленою поверхнею рукою притискають до шліфувальної шкурки в напрямку, перпендикулярному до рисок на поверхні мікрошліфа, що залишилися від попереднього механічного оброблення. Шліфують до повного зникнення рисок. Після цього зразок витирають чистою ганчіркою або ватою і повертають на 90° та шліфують на

шкурці з дрібнішим абразивним зерном до повного зникнення рисок, отриманих від попереднього шліфування. Процес повторити у такій самій послідовності при переході на більш дрібнозернисту шкурку.

3. Після закінчення шліфування на шкурці з найдрібнішою зернистістю мікрошліф промити проточною водою і полірувати на спеціальному полірувальному верстаті з кругом діаметром 200...250 мм, обтягнутим сукном або фетром. У процесі полірування круг періодично поливають суспензією оксидів алюмінію (Al_2O_3) або хрому (Cr_2O_3) у воді. Полірують до повного знищення рисок і отримання дзеркальної поверхні, тобто приблизно 3...5 хв.

4. Після полірування мікрошліф промити проточною водою і поліровану поверхню протерти ватою, змоченою спиртом, і просушити, прикладаючи фільтрувальний папір.

5. Після полірування мікрошліф встановлюють на мікроскоп для вивчення якості підготовленої поверхні (відсутність слідів — рисок оброблення), наявності неметалевих вкраплень (їх форми, розмірів і кількості) і мікротріщин у металевій основі (рис. 3.7).

6. Щоб виявити структуру мікрошліфа після полірування його поверхню піддати травленню реактивом (розчини кислот, лугів, солей).

Для сталей і чавуну використовують переважно 3...5%-й розчин нітратної кислоти (HNO_3) в етиловому або метиловому спирті. Поліровану поверхню мікрошліфа занурюють у реактив на 3...15 С до появи матового відтінку.

Різні структурні складові сплаву мають різний електродний потенціал.

Після того як полірована поверхня мікрошліфа буде покрита реактивом, що є електролітом, одні структурні складові сплаву, що мають більш електропозитивний електродний потенціал, будуть анодами і розчинятимуться, а інші, з більш негативним електродним потенціалом, будуть катодами і не розчинятимуться. У результаті травлення на поверхні мікрошліфа утворюються впадини і

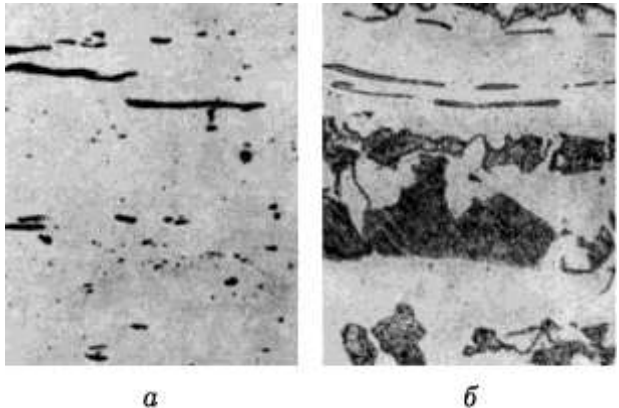


Рис. 3.7. Мікроструктура доевтектоїдної сталі:
а — до травлення; б — після травлення

Розділ 1

виступи (мікроструктура), оскільки метали і сплави, будучи полікристалічними речовинами, складаються з великої кількості різноорієнтованих зерен (рис. 3.7, б).

При освітленні протравленого мікрошліфа на металографічному мікроскопі промені світла по-різному відбиватимуться від різних структурних складових. Структурні складові, що протравилися менш інтенсивно, відбивають у поле зору мікроскопа (окуляр) більше променів світла і будуть світлішими.

Структурні складові, що протравилися сильніше, відіб'ють у поле зору мікроскопа, внаслідок розсіювання світла, менше променів і будуть темними (див. рис. 3.7, б). Межі зерен видно у вигляді тонкої темної сітки.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Замалювати оптичну схему мікроскопа з поясненням його будови.
4. Описати послідовність приготування мікрошліфа.
5. Замалювати в кругах діаметром 40...60 мм структуру мікрошліфа до травлення і після травлення з короткою характеристикою.
6. Вказати використані реактиви для травлення мікрошліфа.
7. Висновки за результатами проведених досліджень.

Контрольні запитання і завдання. 1. Що розуміють під мікроаналізом і мікроструктурою? 2. Послідовність приготування мікрошліфа. 3. Реактиви для протравлювання мікрошліфів сталей. 4. Що таке роздільна здатність мікроскопа? 5. Чим визначається досконалість світлового мікроскопа?

Лабораторна робота 4

Визначення критичних точок і побудова діаграми стану сплавів Sn – Zn

Мета роботи: освоїти методику побудови діаграм стану подвійних сплавів термічним методом.

Обладнання і матеріали: електропечі, мілівольтметр, термопари, алунові тиглі, ваги, гранульоване олово і цинк для приготування шихти необхідних концентрацій.

Теоретичні відомості

Діаграму стану використовують для теоретичного і практичного вивчення структуроутворення, зміни властивостей сплавів та можливості їх термічного оброблення.

Діаграма стану сплавів (*constitution diagram, equilibrium diagram*) - це графічне зображення зміни структури і фазового складу сплавів в залежності від температури та концентрації. Кожна лінія діаграми стану сплаву це геометричне місце точок (в координатах температура концентрація), по яким відбувається зміна фазового стану сплаву. При нагріванні відбувається плавлення твердих тіл, при охолодженні – їх кристалізація (*crystallization*) (затвердіння). Будь-які зміни в стані металу або сплаву (фазові, структурні перетворення) супроводжуються тепловим ефектом. При нагріванні відбувається поглинання тепла, в результаті енергія що витрачається на нагрівання не підвищує температуру, а витрачається на зміну агрегатного стану або перебудову кристалічної ґратки. При охолодженні, навпаки відбувається виділення тепла.

При побудові діаграм стану сплавів застосовують багато методів: термічний, магнітний, електричний, теплоємності, термічного розширення тощо, які ґрунтуються на тому, що зміни структурного стану сплаву зумовлюють зміну його властивостей (теплових, магнітних, електричних та ін.).

Температури, при яких відбуваються зміни стану сплаву, називаються критичними. Реєстрація зміни температури сплаву в часі при термічному методі здійснюється або ртутним термометром (в інтервалі температур від -50 до $+550^{\circ}\text{C}$, або використовують пірометр з термопарою, для вимірювання температур в інтервалі від $+200$ до $+1600$ С (рис.4.1).

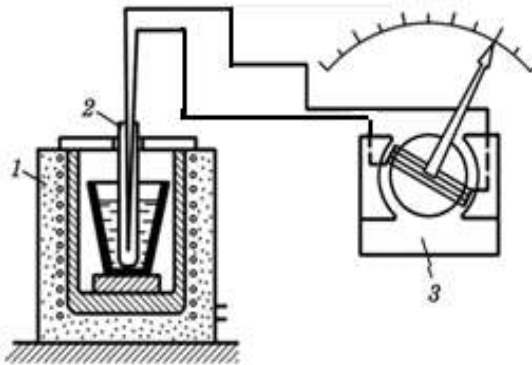


Рис. 4. 1. Схема установки для вимірювання температури розплаву в процесі його охолодження (нагрівання): 1 - електроніч; 2 - термопара; 3 - мілівольтметр

Термопара це два різномірні металеві дроти, що мають різну електропровідність. З однієї сторони їх кінці зварені між собою і утворюють так званий гарячий спай, в якому при нагріванні виникає електрорушійна сила. Два інших кінці приєднані до мілівольтметра. Якщо гарячий спай термопари нагрівати, то в провідниках буде збільшуватись електрорушійна сила (термострум), зумовлена перетворенням енергії теплового руху на енергію електричного поля. Перед вимірюванням температури пірометром потрібно провести градування термопари.

Розділ 1

При охолодженні аморфного тіла, наприклад смоли або скла, його температура буде спадати поступово і безперервно, перехід з рідкого стану в твердий буде поступовим. Графік нагрівання матиме вигляд кривої I, показаної на рис. 4.2, а. Крива охолодження II буде являти собою дзеркальне відображення кривої нагрівання.

Кристалічні речовини мають певну фіксовану температуру плавлення або кристалізації. Графік нагрівання чистого металу, побудований в осях координат час - температура, матиме вигляд кривої I, показаної на рис. 3.1, б. Графік охолодження чистого металу буде являти собою дзеркальне відображення графіка нагрівання (рис. 4.2, б, крива II).

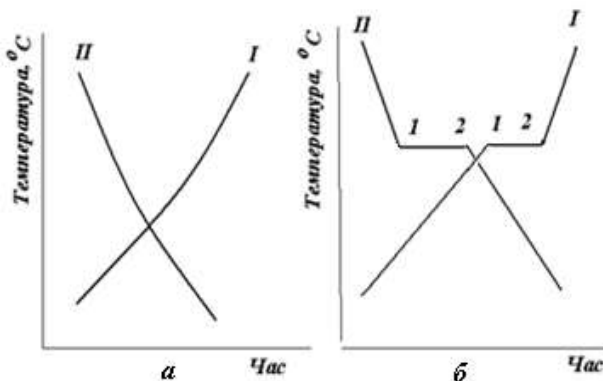


Рис. 4.2. Графіки нагрівання і охолодження:
а - аморфного тіла; б - кристалічного тіла

Точка 1 на графіку охолодження відповідає початку кристалізації, точка 2 - закінченню кристалізації. На графіку нагрівання точка 1 відповідає початку плавлення (енергія в цій точці витрачається на руйнування кристалічної ґратки), а точка 2 - закінченню плавлення.

Процеси кристалізації і плавлення здійснюються при постійних температурах (на графіках - горизонтальна площадка, нижче якої метал знаходиться в твердому стані, вище - в рідкому).

Ці температури, а також температури будь-яких інших змін в стані металу або сплаву, які спостерігаються в ньому при нагріванні або охолодженні і супроводжуються поглинанням або виділенням тепла, як і відповідні їм точки на графіках нагрівання або охолодження, називаються критичними. За критичними точками температурних кривих (наприклад, початок або кінець кристалізації) будують діаграму стану сплаву.

Якщо в системі є два компоненти, то діаграма буде мати два виміри. Перший вимір - горизонтальна шкала концентрацій, другий - вертикальна шкала температур (рис. 4.3).

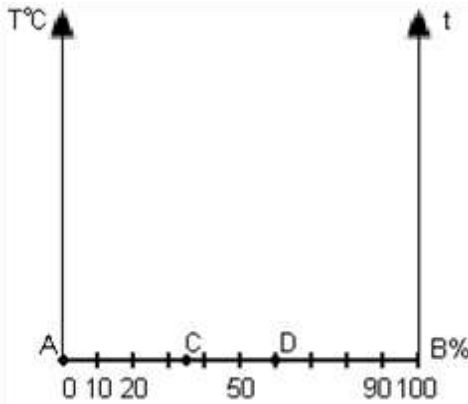


Рис. 4.3. Координатні осі для побудови діаграм подвійних сплавів

Кожна точка на осі абсцис відповідає певному вмісту кожного компонента. Загальний вміст компонентів у сплаві - 100%.

Крайні ординати на діаграмі відповідають чистим компонентам, а ординати між ними – відповідним співвідношенням компонентів у подвійних сплавах. Так, наприклад, точка С характеризує сплав, що містить 35% компонента В і, відповідно, 65% компонента А.

Точки «Х» «У» на діаграмі стану характеризує стан сплаву відповідної концентрації при даній температурі. Кожна вертикаль відповідає зміні температури певного сплаву.

Зміна фазового стану сплаву відмічається на діаграмі точкою. Лінії, що з'єднують точки аналогічних перетворень, розмежовують на діаграмі області аналогічних фазових станів.

Вид діаграми стану залежить від того, як реагують обидва компоненти один з одним у твердому і рідкому станах.

В рідкому стані компоненти сплавів необмежено розчиняються один в одному, а в твердому стані можуть утворювати такі чотири основні види взаємодії між собою:

- 1. Механічну суміш;**
- 2. Необмежений твердий розчин (заміщення);**
- 3. Обмежений твердий розчин (втління);**
- 4. Хімічне з'єднання.**

Для побудови діаграми стану сплаву потрібно експериментально визначити критичні точки на кривих охолодження, що фіксують температури, за яких виділяється або поглинається теплова енергія.

Для цього через короткі й однакові проміжки часу вимірюють температури охолоджуваного розплавів з різною концентрацією компонентів, за якими будують криві охолодження в координатах температура — час. На кривих охолодження визначають критичні точки, що відповідають тепловиділенню, а отже, фазовим перетворенням.

Наприклад, на рис. 4.4 наведено криву охолодження чистого металу, на якій точки a і b — критичні точки початку і кінця затвердіння, які відповідають температурі кристалізації t_k .

Криві охолодження будують для чистих металів і сплавів з дискретно зміненою концентрацією компонентів. При цьому, чим менший інтервал зміни концентрацій, тим точніше буде побудована діаграма. За даними кривих охолодження визначають критичні токи, які наносять на діаграму стану (рис. 4.2) і інтерполяцією отримують усі лінії діаграми стану.

Особливістю побудови діаграми стану для сплавів компоненти яких утворюють вид взаємодії – механічна суміш, є наявність концентрації, що має найнижчу температуру плавлення та кристалізації. Сплав такої концентрації називається – *евтектичним* (легкоплавкий).



Рис. 4.4. Крива охолодження чистого металу

Послідовність виконання роботи

1. Приготувати навіски чистих металів, а також для сплавів з евтектичною, доевтектичною та заевтектичною концентрацією (евтектика в сплаві Sn — Zn утворюється при вмісті в сплаві олова - 92%, цинку – 8%).

2. Отримані навіски загрузають в алундових тиглях в піч для розплавлення.

3. Для побудови діаграми стану Sn — Zn побудувати криві охолодження чистих металів Sn і Zn та сплавів різного складу (рис. 4.5).

Для цього в тигель з розплавом занурюють гарячий спай термопари.

У процесі охолодження сплаву через певні проміжки часу фіксують температуру сплаву. Дані заносять в таблицю 4.1.

За отриманими показами мілівольметра будують криві охолодження сплавів з різним вмістом компонентів.

Критичні точки визначають переведенням показань мілівольметра в градуси за допомогою градусованих кривих (прямих) (див. рис. 4.5) і записують у протокол (табл. 4.1).

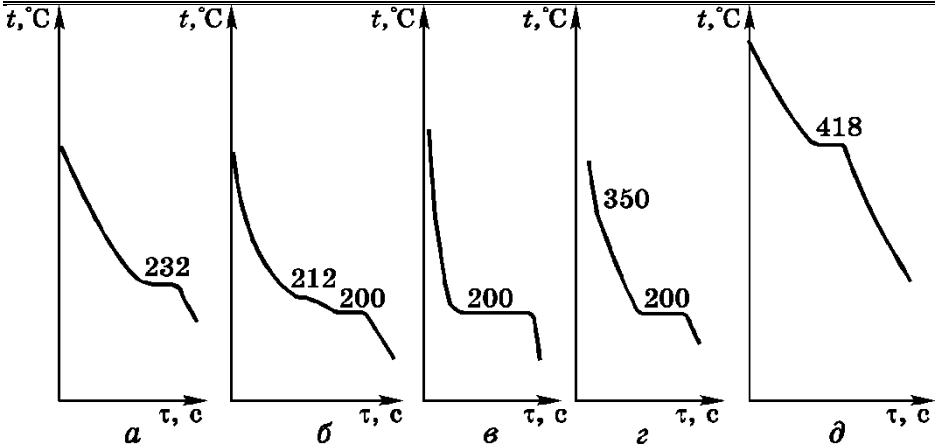


Рис. 4.5. Криві охолодження:

a — чистого олова; *б* — сплаву 5 % Zn + 95 % Si; *в* — 9 % Zn + 91 % Si;
г — 50 % Zn + 50 % Si; *д* — чистого цинку

4. Діаграму побудувати на основі даних всіх досліджених концентрацій сплаву.

Протокол визначення критичних температур

Таблиця 4.1.

Час охолодження τ , с	Термоелектрорушійна сила E_{ab} , мВ	Температура t , °C
15		
30		
45		
60		
75		
90		
105		
120		
135		

Щоб побудувати діаграму, потрібно:

1. Накреслити систему координат температура — масова частка сплаву Sn — Zn (у відсотках) рис. 4.3.

Розділ 1

2. На осі абсцис позначити точки концентрації, які відповідають досліджуваним сплавам, і в кожній із точок провести перпендикуляр.

3. На кожній перпендикулярній лінії (ординаті) позначити критичні точки, що відповідають температурам початку і кінця кристалізації відповідних сплавів.

4. Плавними лініями з'єднати точки на ординатах, що відповідають початку кристалізації сплавів, продовжити їх до точок кристалізації чистих металів (олово 232°C, цинк 418°C).

5. Горизонтальною лінією з'єднати точки кінця кристалізації сплавів. Оскільки всі ці точки відповідають одній температурі (199 °C), то лінія буде горизонтальною; продовжити цю лінію до правої і лівої ординат, що відповідають чистим металам (Sn і Zn).

6. Отримавши загальний вигляд діаграми стану сплавів Sn — Zn (див. рис. 4.6), охарактеризувати стан і структуру сплавів, застосовуючи правило фаз (закон Гіббса) і правило відрізків (важеля).

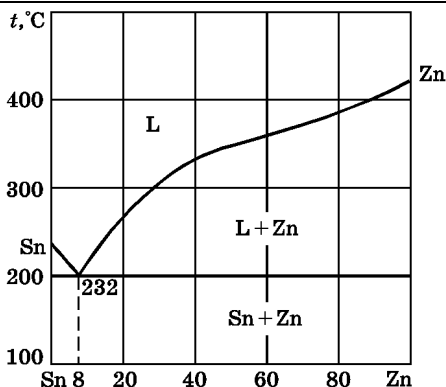


Рис. 4.6. Діаграма стану олово — цинк

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Заповнити протокол визначення критичних температур.
4. Навести діаграму стану сплавів Sn — Zn, використавши дані експерименту. На діаграмі вказати структури відповідних сплавів з характеристикою ліній діаграми. Дати визначення, що таке доевтектичний, евтектичний і заевтектичний сплави, замалювавши їхню структуру.
5. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Методи побудови діаграм стану сплавів. 2. Суть термічного методу побудови діаграм стану сплавів. 3. Типи термопар для вимірювання температури металів і сплавів. 4. Який сплав називають евтектичним? 5. Що розуміють під критичними температурами (точками) на діаграмі стану сплавів?

Лабораторна робота 5
Аналіз діаграми стану
залізовуглецевих сплавів

Мета роботи: Вивчити фазовий склад залізовуглецевих сплавів; лінії, точки і області діаграми; навчитися аналізувати перетворення у сплавах залежно від вмісту вуглецю і температури; використовувати правило фаз (закон Гіббса) і правило відрізків, будувати криві нагрівання і охолодження для заданої концентрації вуглецю у сплаві з аналізом перетворень..

Обладнання та матеріали: діаграма стану залізовуглецевих сплавів, кристалічні ґратки, лінійки.

Теоретичні відомості

Вивчення діаграми залізо-вуглець започатковано російським вченим Д.К. Черновим у 1868 р. і опубліковано у роботі «Критический обзор статей Лаврова и Калауцкого о стали и стальных орудиях и собственные исследования Д.К. Чернова по этому же предмету». У цій роботі Д.К. Чернов вперше у світі встановив існування у сталях критичних точок в залежності від вмісту у них вуглецю і графічно представив їх у вигляді діаграми. При цьому положення критичних точок визначались зміною властивостей сталей в залежності від режимів її термічної обробки (температура нагріву, швидкість охолодження)

Із розвитком технічних засобів і наукових розробок положення критичних точок уточнювались. Так, Осмонд визначив положення критичних точок за допомогою пірометра, винайденого Ле-Шательє і описав перетворення, які відбуваються у сталі при переході через критичні точки. В подальшому перетворення, що відбуваються при нагріванні сталі, вивчалися металографічними методами Р.Аустенном, Ле-Шательє, А.А.Байковим, Н.Т. Гутцовим та іншими вченими. При цьому уточнялися тільки положення критичних точок і вміст вуглецю у різних структурних складових.

Діаграма стану залізовуглецевих сплавів це – графічне зображення їх фазового стану залежно від вмісту вуглецю і температури за умов дуже повільного (рівноважного) охолодження і нагрівання. Вона дає уявлення про перетворення і фазово-структурний стан залізовуглецевих сплавів в області існування сталей (до 2,14 %С) і чавунів (від 2,14 до 6,67 %С). Вона є основою для вибору температур при термообробці залізовуглецевих сплавів.

Діаграма (рис.5.2) показана у спрощеному вигляді - лише для інтервалу концентрації вуглецю від 0 до 6,67 %, тобто до утворення хімічної сполуки Fe_3C – карбїду заліза (цементиту), який поводить себе як самостійний компонент. Ли-

ше ця частина діаграми має практичне значення, оскільки сплави з більш високим вмістом вуглецю дуже крихкі і на практиці не використовуються.

По осі абсцис на цій діаграмі показано концентрацію вуглецю у вагових відсотках, а по осі ординат – температуру в °С. Для переведення концентрації вуглецю в концентрацію цементиту слід вміст вуглецю помножити на 15.

Відзначимо, що при охолодженні залізовуглецевих сплавів вуглець може не тільки хімічно взаємодіяти з залізом, утворюючи карбід заліза – Fe_3C , але й виділятися у вигляді графіту. Тому розрізняють дві діаграми стану: залізо-цементит ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$) і залізо-графіт ($\text{Fe} - \text{C}$).

Оскільки цементит за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю (графіту), - діаграму перетворення в системі $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ називають нестабільною (метастабільною), а у системі $\text{Fe} - \text{C}$ – стабільною.

Всі лінії системи $\text{Fe} - \text{C}$ розташовані на діаграмі вище ліній системи $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$, евтектичне і евтектоїдне перетворення відбуваються при більш високих температурах (1153°C і 738°C відповідно). Точки S , E , S' зміщені вліво ($S'=2,26\%$, $E'=2,11\%$, $S'=0,7\%$). Лінія $S'E'S'$ відповідає температурі утворення графітної евтектики (аустеніт + графіт), лінія $P'S'K'$ – евтектоїдну (ферит + графіт), по лінії $E'S'$ виділяється вторинний графіт.

Фази діаграми «залізо-вуглець»

1. *Рідка фаза* — однорідний розчин вуглецю у розплавленому залізі. У рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець в будь-яких пропорціях з утворенням однорідної рідкої фази.

2. *Ферит* — обмежений твердий розчин втілення вуглецю в α -залізі з ОЦК (об'ємно-центрованою кубічною граткою). Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну— 0,006% при кімнатній температурі (точка Q), максимальну — 0,022% при температурі 727°C (точка P). Атоми вуглецю розташовані у центрі грані чи на середині ребер куба, а також у кристалічній гратки.

При температурі понад 1392°C існує високотемпературний ферит, з граничною розчинністю вуглецю близько 0,1%, за температури 1493°C (точка H).

Властивості фериту наближені до властивостей чистого заліза (твердість — до 130 НВ; границя міцності на розтяг $\sigma_g = 250...300 \text{ МПа}$; відносне видовження $\delta = 30...40\%$). Він залишається магнітним до 768°C.

3. *Аустеніт* — обмежений твердий розчин втілення вуглецю в γ -залізі з ГЦК (гране-центрованою кубічною) граткою. Атоми вуглецю займають місце у центрі гранецентрованої кубічної гратки.

Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті при 1147°C складає 2,14% (т. E). Зі зниженням температури розчинність вуглецю в аустеніті зменшується по лінії ES . Кристалічна гратка аустеніту - гранецентрована кубічна з

періодом $a = 0,356$ нм.. Аустеніт має твердість 200...250 НВ, він пластичний і немагнітний.

При розчиненні інших (легуючих) елементів в аустеніті або в фериті змінюються властивості і температурні межі їх існування.

4. **Цементит** (Fe_3C) — хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза), зі складною ромбічною кристалічною ґраткою, містить вуглецю 6,67%. Він твердий (понад 800 НВ) і крихкий. Цементит фаза метастабільна і при тривалому нагріванні розкладається з виділенням графіту.

У залізовуглецевих сплавах цементит (рис.5.1), як фаза, може виділятися при різних умовах:

- цементит первинний — виділяється з рідини у вигляді великих пластичатих кристалів;
- цементит вторинний — виділяється з твердої фази і після евтектоїдного перетворення стає зернами перліту;
- цементит третинний — виділяється з фериту з концентрацією вуглецю до 0,022% у вигляді дрібних включень і розташовується біля границь феритних зерен.

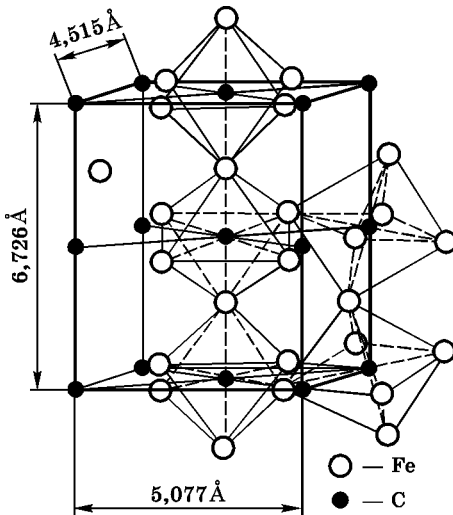


Рис. 5.1. Кристалічна орторомбічна ґратка цементиту

до 0,022% у вигляді дрібних включень і розташовується біля границь феритних зерен.

Форма, розмір, концентрація і розміщення включень цементиту має визначальний вплив на механічні властивості залізовуглецевих сплавів. Це дозволяє на практиці для кожного конкретного застосування сплаву досягати оптимального поєднання твердості, міцності, стійкості до крихкого руйнування і т. п.

5. **Графіт** — фаза, що складається виключно з вуглецю із шаруватою гексагональною решіткою. Густина графіту ($2,3$ г/см³) менша за густину решітки фаз (близько $7,5...7,8$ г/см³) і це сповільнює його утворення, що приводить до виділення цементиту при швидкому охолодженні. Утво-

рення графіту зменшує усадку при кристалізації, графіт виконує роль мастила при терті, зменшуючи знос, сприяє розсіюванню енергії вібрацій.

Розділ 1

Графіт завжди присутній в сірих чавунах. Графіт має форму великих крабо-подібних (зігнутих пластинчастих) включень (звичайний сірий чавун) або сфероїдів (високоміцний чавун), а також присутній і у деяких марках сталі (графітизована сталь).

Перліт (П) - механічна суміш цементиту (вторинного) і фериту. Це евтектика вторинної кристалізації в твердому стані, яка називається евтектоїдом. Перліт містить 0,76% вуглецю (точка S). За температури 727°C (лінія PSK) він перетворюється в аустеніт, а при охолодженні утворюється з аустеніту. Перліт має середню міцність $\sigma_s = 600$ МПа, пластичність $\delta = 20\%$ і твердість 160...230 НВ. Під мікроскопом перліт має пластинчасту (у вигляді штриховки), рідше зернисту структуру.

Ледебурит (Л) - механічна суміш (евтектика) аустеніту і цементиту первинного при температурах 727... 1147°C (від лінії ECF до PSK) та перліту і цементиту нижче 727°C. Він містить 4,3% вуглецю і утворюється в процесі первинної кристалізації (з рідкого розплаву) за температури 1147°C і має найнижчу температуру кристалізації залізобуглецевих сплавів. При зниженні температури з 1147 до 727°C з аустеніту ледебуриду виділяються пластинки вторинного цементиту. При температурі 727°C аустеніт перетворюється у перліт, тому ледебурит при температурі нижче 727°C являє собою механічну суміш перліту і цементиту. Ледебурит крихкий ($\delta = 1...2\%$), твердий (450...550 НВ) і має міцність $\sigma_s = 1000$ МПа. Під мікроскопом ледебурит має темні зерна перліту різної форми на білому фоні цементиту.

Перетворення в залізобуглецевих сплавах.

Для аналізу фазових перетворень у сплавах заліза з вуглецем необхідно розуміти фізичну суть усіх ліній і точок діаграми та реакцій (перетворень), які відбуваються із зміною температури і концентрації. Кожна лінія діаграми залізо – цементит (рис. 5.1a) вказує температуру за якої відбувається початок, або кінець певного перетворення.

Лінії діаграми Fe-Fe₃C

- **ABCD** – лінія ліквідус, яка визначає температуру початку кристалізації (переходу в твердий стан) сплаву при охолодженні і кінець розплавлення (переходу в рідкий стан) фаз при нагріванні. На ділянках AB, BC і CD при охолодженні рідкий розчин кристалізується з утворенням, відповідно, фериту, аустеніту і цементиту. Цементит, який виділяється з рідкого сплаву при охолодженні називається первинним.
- **АНЕСС**- лінія солідус визначає температуру кінця процесу кристалізації фаз з рідкого сплаву при охолодженні і початок перетворення твердих фаз у рідкий стан при нагріванні.

- **AH** – лінія температури кінця перетворення рідкого сплаву (сталі) у високотемпературний ферит $Fe_{\delta}(C)$, а при нагріванні - початку розплавлення фериту;
- **HN** – лінія температури початку перетворення фериту $Fe_{\delta}(C)$ в аустеніт при охолодженні, а при нагріванні - кінця перетворення аустеніту у ферит $Fe_{\delta}(C)$;
- **NJ** – лінія температури кінця перетворення фериту $Fe_{\delta}(C)$ в аустеніт при охолодженні і початку перетворення аустеніту у ферит при нагріванні. Вона визначає граничну розчинність вуглецю в аустеніті, який є в області *NHJN* діаграми;
- **JE** – лінія температури кінця кристалізації аустеніту $Fe_{\gamma}(C)$ з рідкого сплаву при охолодженні і початку перетворення (розплавлення) аустеніту в рідкий сплав (*P*) при нагріванні;
- **HE** – лінія температури кінця кристалізації аустеніту $Fe_{\gamma}(C)$ з рідини при охолодженні, а при нагріванні початку розплавлення аустеніту. Лінія визначає граничну розчинність вуглецю в аустеніті при температурах вищих за 727°C;
- **EC** – лінія температури кінця перетворення частини рідини в аустеніт при охолодженні і початку перетворення аустеніту в рідкий сплав при нагріванні. На лінії EC залишок рідкого сплаву перетворюється в ледебурит (евтектика) з концентрацією вуглецю 4,3% при охолодженні, а при нагріванні процес іде у зворотному напрямку;
- **CF**- лінія температури кінця перетворення частини рідини в цементит, а при нагріванні починається перетворення цементиту в рідину. Частина рідкого сплаву яка залишається перетворюється в ледебурит при охолодженні, а при нагріванні процес іде в зворотному напрямку. Перетворення «рідкий сплав – ледебурит» відбувається при постійній температурі 1147°C;
- **GS** - лінія температури початку перетворення аустеніту $Fe_{\gamma}(C)$ у ферит $Fe_{\alpha}(C)$ при охолодженні і кінця перетворення фериту в аустеніт при нагріванні. Ця лінія визначає граничну розчинність вуглецю в аустеніті, який є в області *GPSG*;
- **GP** – лінія кінця перетворення аустеніту у ферит при охолодженні і початку перетворення $\Phi \rightarrow A$ при нагріванні;
- **SE** – лінія температури початку перетворення $A \rightarrow \Pi$ при охолодженні і кінця перетворення частини цементиту в аустеніт при нагріванні. Цементит, який виділяється з аустеніту називається вторинним. Лінія *SE* визначає граничну розчинність вуглецю в аустеніті за температур 727...1147°C і концентрація вуглецю 0,76...6,67%;
- **PSK** – лінія евтектоїдного перетворення аустеніт \leftrightarrow перліт.

Розділ 1

- *PS* – ділянка лінії *PSK*, яка визначає температуру кінця перетворення частини аустеніту у ферит при охолодженні, а при нагріванні починається перетворення частини фериту в аустеніт;
- *SK* – ділянка лінії *PSK* де закінчується перетворення частини аустеніту в цементит, а при нагріванні починається зворотній процес;
- *PQ* – лінія температури початку виділення цементиту (третинного) з фериту при охолодженні і початку перетворення частини цементиту у ферит $Fe_3(C)$ при нагріванні. Це перетворення зумовлено збільшенням розчинності вуглецю у фериті з 0,008%С до 0,022%С при зростанні температури від 0 до 727°C. Цементит, який виділяється з фериту називається третинним.

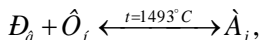
Первинний, вторинний і третинний цементит мають різну форму виділень і розміри. Первинний цементит виділяється із рідкого розплаву чавуну при $C > 4,3\%$ до 6,67%С. Під мікроскопом первинний цементит має форму крупних світлих пластин, голок, а вторинний – зерен глобулярної форми або сітки навколо зерен перліту. Третинний цементит дуже дрібний і в оптичному мікроскопі невидимий.

Лінії *AHN* і *GPQ* характеризують граничну розчинність вуглецю у високотемпературному $Fe_3(C)$ і низькотемпературному $Fe_3(C)$ фериті.

На діаграмі є горизонтальні лінії, які визначають температури характерних перетворень, які відбуваються (починаються і закінчуються) при постійних температурах. Такі перетворення відзначаються утворенням двох фаз з однієї або з двох фаз утворюється інша (одна) фаза.

Лінії характерних перетворень

- *HJB* – лінія температури перитектичного перетворення. Перитектичне перетворення характеризується утворенням однієї (твердої фази – аустеніту) з двох інших фаз (твердої (ферит) і рідкої) при охолодженні, а при нагріванні процес іде в зворотному напрямі, тобто з однієї твердої фази (аустеніту) утворюється дві – тверда (ферит) і рідка. Реакція такого перетворення для сплавів заліза з вуглецем записується таким чином:



де: P_e - рідкий сплав з концентрацією вуглецю в точці В (0,53%С);

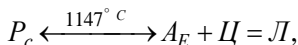
Φ_n - ферит $Fe_3(C)$ з концентрацією вуглецю в точці Н (0,09%С);

A_f - аустеніт з концентрацією вуглецю в точці J (0,16%С), відповідно при охолодженні і нагріванні сплаву. Перитектичне перетворення у сплавах, розміщених зліва від точки J (С=0,09...0,53%С), відбувається до зникнення фериту.

- *ECF* - лінія температури евтектичного перетворення.

Евтектичне перетворення відбувається за температури 1147°C і характеризується кристалізацією з рідкої фази суміші двох твердих фаз при охолодженні, а при

нагріванні процес іде у зворотному напрямку і для залізовуглецевих сплавів має такий вид:



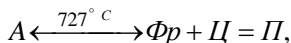
де: P_c - рідкий сплав з концентрацією вуглецю у точці С (4,3%С);

A_E - аустеніт з концентрацією вуглецю у точці Е (2,14%С);

L - ледебурит (4,3%С); C -цементит (6,67%С).

PSK – лінія *евтектоїдного (перлітного) перетворення*.

Евтектоїдне перетворення характеризується утворенням двох фаз (фериту і цементиту) з однієї фази аустеніту у твердому стані при охолодженні, а при нагріванні процес іде у зворотному напрямку.



де: A_s - аустеніт з концентрацією вуглецю в т. S (С=0,76%);

Φ_p - ферит з концентрацією вуглецю в т. P (С=0,022%).

Причиною евтектоїдної реакції є поліморфне перетворення $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$ і різка зміна розчинності вуглецю з 0,76% у Fe_γ до 0,022% у Fe_α . Перлітне (евтектоїдне) перетворення відбувається аналогічно евтектичному і відрізняється тим, що перліт утворюється з твердої, а не з рідкої фази (при охолодженні).

Правило фаз

Загальні закономірності співіснування стійких фаз в умовах рівноваги описуються правилом фаз (законом Гіббса) у вигляді:

$$C = K - \Phi + n, \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

де: С – кількість ступенів вільності (варіантність) системи;

К – кількість компонентів; n - кількість зовнішніх факторів, що впливають на рівновагу систему- це температура й тиск (n=2);

Ф- кількість фаз.

При розгляді металевих систем тиск практично є сталим, то із зовнішніх факторів враховується лише температура і правило фаз матиме вигляд:

$$C = K - \Phi + 1, \quad (5.2)$$

Кількість ступенів вільності системи – це кількість зовнішніх і внутрішніх факторів (температури, тиск, концентрація), які можна змінювати, не порушуючи фазової рівноваги системи, тобто кількості фаз. Якщо С = 0- система *нон-варіантна*, то не можна змінити жодного фактора, не порушуючи її рівноваги. При С = 1- система *моноваріантна* (одноваріантна), тобто можна змінити, в певних межах, один із факторів – температуру, не порушуючи рівновагу системи. При С = 2 – система *двоваріантна* і рівновага не порушується при зміні двох факторів (температура, концентрація) в певних межах.

Таким чином, якщо кількість ступенів вільності С = 0 для двокомпонентних сплавів, то в рівновазі перебувають три фази, це лінії постійних температур,

Розділ 1

якими є горизонтальні лінії (*HJE*, *ECF* і *PSK* на рис. 5.1, *a*). При цих температурах кількість ступенів вільності $C = 2+1-3 = 0$, тобто перетворення відбувається при постійній температурі, а на кривих охолодження (нагрівання) буде горизонтальна ділянка (рис. 5.1, *б* - ділянка 4-4, а на рис. 5.1, *в* ділянка 7-7).

Якщо $C = 1$, то фазові перетворення супроводжуються зміною температури. На кривій охолодження (нагрівання) буде перегин зі зміною швидкості охолодження при зміні температури за рахунок виділення (поглинання) теплоти внаслідок перетворення.

При $C = 2$ фазові перетворення не відбуваються, сплав охолоджується (нагрівається) з певною швидкістю (більшою ніж при перетвореннях) без зміни фазового складу (рис. 5.1 *б*, ділянки 0-1 і 2-3).

Правило відрізків

Для аналізу перетворень і визначення фазового складу сплаву, концентрацію компонентів у кожній із двох фаз, кількісного співвідношення та вміст фаз у сплаві при заданій температурі використовують правила відрізків.

Наприклад, застосовуючи перше правило відрізків можна визначити концентрацію компонентів у відповідних фазах, з яких складається сплав з концентрацією K_2 , при заданій температурі в точці *b*

Для цього через точку *b* (див. рис. 5.2, *a*) проводять горизонтальну лінію «каноду» до перехрещення її з лініями *ABC* і *JE*, що обмежують зону діаграми $Fe - Fe_3C$, отримавши на них точки *a* і *c*. Проекція точки *b* на вісь концентрації покаже вміст вуглецю в сплаві K_2 , проекція точки *a* — вміст вуглецю в аустеніті, а проекція точки *c* — в рідкій фазі (*L*) при заданій температурі. Змінюючи температуру сплаву K_2 , зміниться концентрація вуглецю у відповідних фазах (аустеніті і рідкій фазі).

Щоб визначити кількісне співвідношення аустеніту і рідкої фази у точці *b* застосовують друге правило відрізків (важеля). Для цього потрібно взяти співвідношення відрізків *ab* і *bc*, співвідношення довжини цих відрізків зворотно пропорційно кількості відповідних фаз при заданій температурі у сплаві K_2 :

$$\frac{ab}{bc} = \frac{L}{A}, \quad (5.3)$$

або кількість аустеніту *A* за рівнянням:

$$A = \frac{bc}{ac}, \quad (5.4)$$

а кількість рідкої фази *L* за рівнянням:

$$L = \frac{ab}{ac}. \quad (5.5)$$

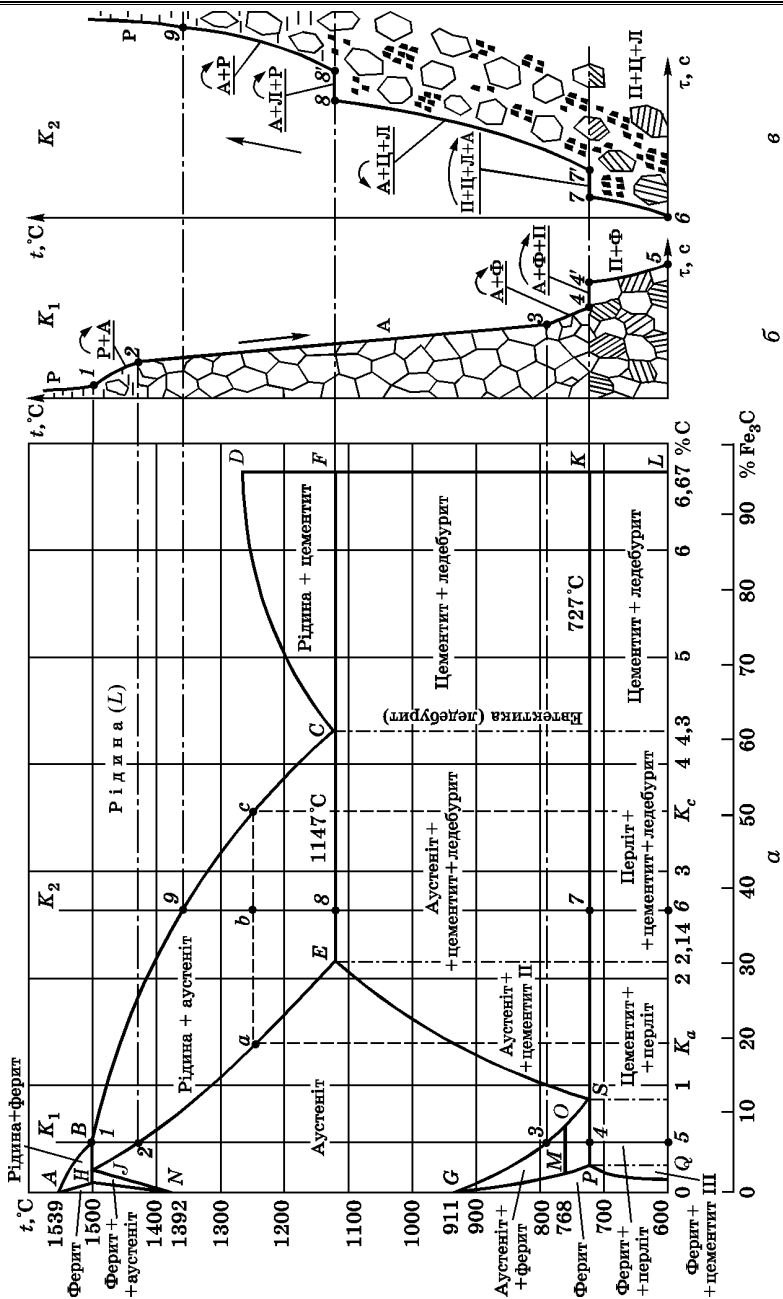


Рис. 5.2. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів (а); крива охолодження сплаву K_1 (б); крива нагрівання сплаву K_2 (б)

Розділ 1

Методичні рекомендації для аналізу перетворень у залізовуглецевих сплавах

1. Кожна лінія на діаграмі визначає початок або кінець перетворення, а горизонтальні (лінії характерних перетворень *HJB*, *ECF* і *PSK*) – початку і кінця перетворення яке відбувається при постійній температурі.

2. Наявність областей однофазного стану:

а) вище лінії *ABCD* – рідка фаза (P);

б) *HJNH* – область високотемпературного фериту $Fe_{\delta}(C)$;

в) *GPQG* – область низькотемпературного фериту $Fe_{\alpha}(C)$;

г) *DFKL* – лінія цементиту;

д) *NJESGN* – область аустеніту.

3. Визначення фаз у двофазних областях *AHBA*, *HNJ*, *BCEJB*, *CD*, *CPSG* здійснюють таким чином: береться будь-яка точка в даній області і через неї проводиться горизонтальна лінія. Фази які будуть у сусідніх однофазних областях і будуть у заданій двофазній області.

4. Трифазний стан сплавів буде лише на горизонтальних лініях, де перетворення відбувається при постійній температурі:

HJB – ферит (ф) + рідкий сплав (р) + аустеніт(A);

ECF – аустеніт + рідина + цементит;

PSK – ферит + аустеніт + цементит.

5. Двофазні структури будуть у таких частинах діаграми:

а) ледебурит – нижче лінії *ECF* евтектичного перетворення при концентраціях 2,14%...6,67%С. При температурах від 727 до 1147°C ледебурит являє механічну суміш аустеніту і цементиту, а нижче 727°C ледебурит – суміш перліту і цементиту.

б) перліт – нижче лінії *PSK* при концентраціях 0,76...6,67%С.

6. Будь-яке перетворення характеризується поглинанням зовнішньої теплоти при нагріванні і її виділення при охолодженні. Тобто температура при нагріванні і охолодженні при перетворенні однієї фази в іншу, змінюється повільніше ніж при відсутності перетворення. Криві охолодження і нагрівання при цьому матимуть менший кут нахилу до осі температури.

Якщо перетворення відбувається з переходом однієї фази в дві, або навпаки, тобто одночасно існує три фази, процес проходить при постійній температурі, а на кривій нагрівання чи охолодження буде горизонтальна площадка.

Приклади аналізу перетворень у залізовуглецевих сплавах.

Приклад 1. Проаналізувати перетворення у сплаві заліза з вуглецем концентрації K_1 з використанням правила фаз (рис.5.2). Побудувати криву охолодження сплаву, вказавши на ній позначення фаз і структур та напрям перетворень.

При охолодженні сплаву до т. 1 він знаходиться у рідкому стані ($\Phi=1$) і перетворення не відбувається. Крива охолодження 0-1 (див. рис. 5.2, б) йде круто вниз. Число ступенів вільності $C = 2 - 1 + 1 = 2$. Система має два ступені вільності. На цій ділянці можна змінювати температуру і концентрацію (у певних межах), не змінюючи стану сплаву (сталь буде у рідкій фазі).

На ділянці 1 - 2 з рідини виділяються кристали аустеніту, тобто є дві фази $\Phi=2$. Крива охолодження 1-2 йде більш похило, оскільки процес супроводжується виділенням внутрішньої теплоти. У т. 1 починається, а в т. 2 закінчується виділення аустеніту. Число ступенів вільності на ділянці 1-2 $C_{1,2} = 2-2 + 1 = 1$. Система одноваріантна, тобто перетворення рідкої фази в аустеніт відбуватиметься при зміні (зниженні) температури. Якщо температуру в цій області підтримувати постійною, то перетворення не відбуватиметься, тобто сталь буде в стані, відповідному цій температурі на ділянці 1 - 2. Спочатку виділяється аустеніт із вмістом вуглецю, меншим, ніж у вихідному сплаві. Ближче до т. 2 виділяється аустеніт з більшим вмістом вуглецю. У т. 2 закінчується перетворення рідкої сталі в аустеніт, з вихідною концентрацією вуглецю в сталі.

На ділянці 2 - 3 немає перетворень і відбувається охолодження аустеніту ($\Phi=1$). За правилом фаз $C_{2-3} = 2 - 1 + 1 = 2$, тобто система двоваріантна. На ділянці 2-3 можна змінювати (у певних межах) температуру і концентрацію, зберігаючи аустенітний стан.

На ділянці 3-4 відбувається перетворення частини аустеніту у ферит (починається в т. 3 і закінчується в т. 4). Існує дві фази ферит і аустеніт ($\Phi=2$). Число ступенів вільності для ділянки $C_{3,4} = 2 - 2 + 1 = 1$. Система одноваріантна, тобто перетворення аустеніту у ферит (наявність двох фаз) відбувається із зміною (пониженням) температури. На ділянці 3 - 4 кривої охолодження температура падає повільніше за рахунок перетворення.

У т. 4 на лінії PSK відбувається перетворення аустеніту в перліт. При цій температурі одночасно існують ферит, аустеніт і перліт (ферит + цементит), тобто є три фази (ферит, аустеніт, цементит). Число ступенів вільності $C_{4,4'} = 2 - 3 + 1 = 0$. Таким чином, система безваріантна, тобто не можна змінювати ні один параметр для збереження сплаву у трифазному стані. Отже, перетворення аустеніту в перліт відбуватиметься при постійних температурі (727°C) і концентрації елементів (0,76%С) у структурних складових. Тому на кривій охолодження сплаву концентрації K_1 ділянка 4 - 4' (рис. 5.2, б) горизонтальна ділянка. Перетворення аустеніту в перліт починається в т. 4 і закінчується в т. 4' (на кривій охолодження).

На ділянці 4' - 5 маємо ферит і перліт ($\Phi=2$). Число фаз -2 (ферит і цементит). Число ступенів вільності $C_{4',5} = 2-2 + 1 = 1$, тобто на ділянці 4' - 5 при охолодженні відбувається виділення цементиту (третинного) з фериту за рахунок зменшення розчинності вуглецю у фериті. Такий цементит дуже дрібний і невидимий в оптичному мікроскопі.

Розділ 1

Приклад 2. Проаналізувати перетворення при нагріванні чавуну з концентрацією K_2 (рис.5.2, а) з використанням правила фаз. Нарисувати криву нагрівання сплаву, вказавши фази і структури та напрями перетворень. Визначити концентрацію компонентів у фазах і вміст фаз при температурі t . б.

При температурі до лінії PSK структура чавуну перліт + цементит + ледебурит ($\Pi + \text{Ц} + \text{Л}$).

Перліт ($\Phi + \text{Ц}$) і ледебурит ($\Pi + \text{Ц}$) мають дві фази ($\Phi=2$)- ферит і цементит. Тому число ступенів вільності для ділянки кривої 6-7 (див. рис. 1, в) $C_{6,7} = 2 - 2 + 1 = 1$. Оскільки $C_{6,7} = 1$, то в інтервалі температур 6-7 буде перетворення. Тут відбувається часткове перетворення цементиту у ферит у зв'язку із збільшенням розчинності вуглецю у фериті при нагріванні до лінії PSK (727°C). Крива нагрівання на ділянці 6 - 7 (рис. 1, в) буде йти дещо похиліше.

У т. 7 (лінія PSK) відбувається перетворення перліту ($\Phi + \text{Ц}$) в аустеніт. У чавуні в т. 7 будуть структури перліт ($\Phi + \text{Ц}$), ледебурит ($\Pi + \text{Ц}$), цементит. Тобто маємо три фази ($\Phi=3$) - ферит, цементит і аустеніт. За правилом фаз на ділянці кривої 7-7' $C_{7,7} = 2 - 3 + 1 = 0$. При $C_{7,7} = 0$ перетворення перліту в аустеніт відбуватиметься при постійній температурі (727°C) і ділянка 7-7' кривої горизонтальна.

При нагріванні між лініями PSK (т. 7) і ECF (т. 8) (див. рис. 1, а) маємо структури аустеніт + ледебурит ($A + \text{Ц}$) + цементит. Фазами є аустеніт і цементит ($\Phi = 2$). Число ступенів вільності $C_{7,8} = 2 - 2 + 1 = 1$. Тобто при $C_{7,8} = 1$ із зміною температури відбувається перетворення частини цементиту в аустеніт за рахунок збільшення розчинності вуглецю в аустеніті до 2,14% C при температурі 1147°C . На ділянці 7-8 кривої K_2 (див. рис.5.1, в) температура буде підвищуватись повільно.

По лінії ECF (т.8) (див. рис. 5.2, а) у чавуні відбувається перетворення ледебуриту ($A + \text{Ц}$) в рідину (P). Тобто маємо аустеніт + ледебурит ($A + \text{Ц}$) + рідина. В т.8 маємо три фази ($\Phi = 3$) аустеніт, цементит і рідина. Число ступенів вільності $C_{8,8} = 2 - 3 + 1 = 0$. Ділянка 8-8' кривої нагрівання (див. рис. 5.2, в) буде горизонтальною лінією і перетворення ледебуриту в рідину відбувається при постійній температурі. В т.8' це перетворення закінчується.

При нагріванні чавуну від лінії ECF (т.8) до BC (т.9) маємо фази аустеніт і рідину ($\Phi=2$) (див. рис. 5.2, а). Число ступенів вільності $C_{8,9} = 2 - 2 + 1 = 1$. Тобто із підвищенням температури з т. 8 до т. 9 (див. рис.5. 2, в) відбувається перетворення аустеніту в рідину. Ділянка 8-9 кривої нагрівання буде дещо похилою.

У т. 9 (див. рис.5. 2, а) закінчується перетворення аустеніту в рідину. Тому при дальшому підвищенні температури маємо лише рідкий сплав ($\Phi = 1$) і число ступенів вільності $C_{9,10} = 2 - 1 + 1 = 2$. Нагрівання на ділянці 9-10 кривої (див. рис. 5.2, в) буде проходити швидше (ділянка 9-10 йде крутіше) тому, що немає ніякого перетворення.

Концентрацію заліза і вуглецю в аустеніті та рідкому сплаві для сплаву K_2 знаходимо спроектувавши $t.a$ і $t.c$ на шкалу концентрацій вуглецю. Концентрація вуглецю в аустеніті для заданої температури $\approx 1250^\circ\text{C}$ складає $K_a \approx 1,4\%C$, а в рідкій фазі $K_c \approx 3,6\%C$. Решта буде залізо. Вміст фаз аустеніту (А) і рідкого чавуну(Р) в сплаві K_2 при температурі $t.b \approx 1250^\circ\text{C}$ визначаємо користуючись рис. 5.2,а. Об'єм всього сплаву 100%. Тоді аустеніт займає $Q_A = \frac{bc}{ac} \cdot 100 = \frac{13}{30} \cdot 100 \approx 43,3\%$, а рідкий сплав (Р) займає $Q_P = \frac{ab}{ac} \cdot 100 = \frac{17}{30} \cdot 100 \approx 56,7\%$.

За допомогою діаграми залізо-вуглець можна побудувати криві охолодження і нагрівання сплаву певної концентрації. Для цього точки перетину вертикалі (лінії постійної концентрації) з лініями діаграми проєктують на шкалу температур системи координат "температура-час" (див. рис. 5.2, б, в) і будують криву нагрівання чи охолодження сплаву. Точки перетину з похилими лініями діаграми відповідають згинам на кривих охолодження і нагрівання, а точки перетину з горизонтальними лініями відповідають площадкам на тих же кривих.

Крім цього, при побудові кривих нагрівання та охолодження потрібно врахувати правило фаз Гіббса. Якщо на ділянці нема перетворень і число ступенів вільності $C = 2$, то крива буде йти більш круто. При наявності перетворень при $C = 1$ крива йде більш похило. Наявність перетворення при $C = 0$ свідчить, що ділянка кривої охолодження або нагрівання являє собою горизонтальну лінію.

Послідовність виконання роботи

1. Вивчити структурні складові в залізобуглецевих сплавах.
2. Намалювати (у масштабі) діаграму "залізо-вуглець".
3. Вивчити, які перетворення відбуваються на лініях і в областях діаграми.
4. Для заданої концентрації вуглецю у двох сплавах намалювати (користуючись діаграмою) криву охолодження і нагрівання з аналізом перетворень і використанням правила фаз.
5. За діаграмою для певної концентрації вуглецю і температури визначити фази та їх кількість за правилом відрізків.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Застосовуючи правило фаз і правила відрізків, визначити концентрацію і кількість фаз для заданого сплаву.
4. Визначити ступінь вільності заданої системи.
5. Висновки.

Розділ 1

Контрольні запитання і завдання. 1. Що називають аустенітом? 2. Який евтектичний сплав у системі залізвуглецевих сплавів? 3. Що визначають на діаграмі стану, застосовуючи правило відрізків? 4. За якої температури відбувається евтектоїдне перетворення? 5. Які фазові перетворення відбуваються по лінії *SE* (див. рис. 5.2) при нагріванні?

Лабораторна робота 6 Мікроструктура вуглецевих сталей

Мета роботи: ознайомитись із структурою вуглецевих сталей у рівноважному стані (після відпалювання), навчитися визначати вуглець у сталі за структурою.

Матеріали та обладнання: металографічні мікроскопи, хімічні реактиви для травлення мікрошліфів, набір мікрошліфів сталей з різним вмістом вуглецю, альбоми фотографій мікроструктур, діаграми стану залізвуглецевих сплавів.

Теоретичні відомості

Мікроструктура вуглецевих сталей в рівноважному стані, отримана після повільного охолодження (відпалу), може бути визначена з діаграми стану “залізо-вуглець”. Сплав, що вміщує вуглецю до 0,02 % називають технічним залізом.

Його структура складається зі світлих зерен фериту з добре помітними темними границями (рис. 6.1, *а, б*), на яких виділяється третинний цементит.

Для того, щоб відрізнити ферит від цементиту, шліфи протравлюють реактивом – пікратом натрію, який забарвлює цементит в темний колір і не діє на ферит, залишаючи світлими феритні зерна.

Сплави з вмістом вуглецю 0,02...2,14% називаються сталями. Вони поділяються на доевтектоїдні (0,02...0,8% C), евтектоїдні (0,8% C) і заевтектоїдні (0,8...2,14% C).

Евтектоїдна сталь має найнижчу серед сталей температуру поліморфного перетворення, при цьому перетворення аустеніту в перліт (який має сталий вміст вуглецю 0,8%), починається і закінчується при незмінній температурі 727°C.

Структура доевтектоїдних сталей складається з фериту (рис. 6.2, *а*), або суміші фериту та перліту (рис. 6.2, *б*), евтектоїдних – тільки з перліту (рис. 6.2, *в*), заевтектоїдних – перліту і вторинного цементиту (Ц_{II}), який при повільному

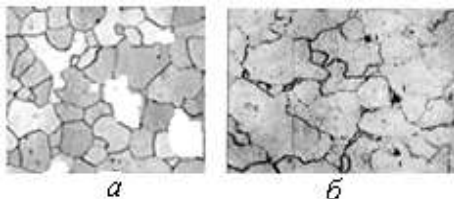


Рис. 6.1. Мікроструктура технічного заліза: *а* — вміст вуглецю 0,01%;
б — вміст вуглецю 0,025 %

оохолодженні виділяється по границях зерен перліту і спостерігається під мікроскопом у вигляді сітки білого кольору при травленні шліфа спиртовим розчином нітратної кислоти (рис. 6.2, з).

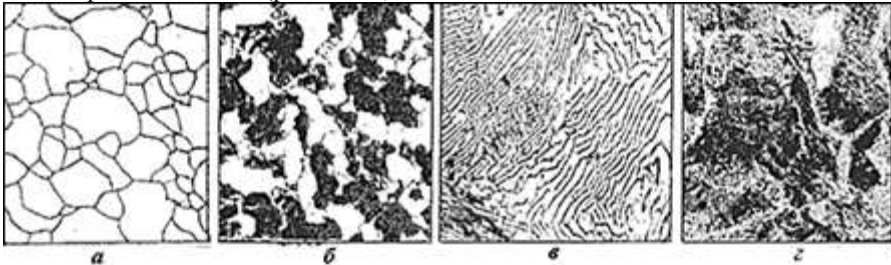


Рис. 6.2. Мікроструктура сталей:

a - ферит (вміст вуглецю 0,01%); *б* – доевтектоїдної (вміст вуглецю 0,45%); *в* – евтектоїдної (вміст вуглецю 0,8%); *г* – заевтектоїдної (вміст вуглецю 1,2%)

Послідовність виконання роботи

1. Користуючись альбомами мікроструктур і світловими мікроскопами, замалювати мікроструктури вуглецевих сталей і описати їхні властивості та призначення.

2. Для доевтектоїдних і заевтектоїдних сталей визначити кількість вуглецю, вважаючи на їхню структуру.

Мікроструктура доевтектоїдних сталей. Мікроструктура доевтектоїдних сталей (< 0,8 % C) складається із зерен фериту і перліту (див. рис. 2.27).

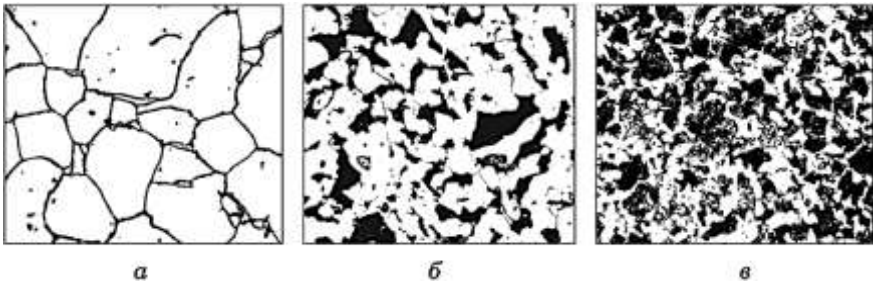


Рис. 6.3. Мікроструктура доевтектоїдної сталі:

a — ферит; *б* — сталь з 0,25 % C; *в* — сталь з 0,45 % C

Перлітом називають механічну суміш фериту і цементиту. Перліт містить 0,8% вуглецю. Залежно від форми включень цементиту розрізняють *пластинчатий* і *зернистий* перліт. Зі збільшенням вмісту вуглецю кількість фериту в доевтектоїдних сталях зменшується, а перліту збільшується (рис. 6.3, б, в).

Розділ 1

На практиці за мікроструктурою з достатньою точністю можна визначити кількість вуглецю в доєвтектоїдних вуглецевих сталях, враховуючи, що весь вуглець міститься в перлітних зернах. Для цього потрібно візуально визначити площу (y відсотках), яку займають зерна перліту в мікроструктурі і визначити кількість вуглецю в сталі, %:

$$C = \frac{S_{\text{п}} \cdot 0,8}{100}, \quad (6.1)$$

де: $S_{\text{п}}$ — площа, яку займають перлітні зерна, %;

0,8 — масова частка вуглецю в перліті, %.

Вважатимемо, що $S_{\text{п}} = 60\%$, тоді

$$C = \frac{60 \cdot 0,8}{100} = 0,48 \% \approx 50 \%. \quad (6.2)$$

Отже, за вмістом вуглецю мікроструктура відповідає сталі 50.

Доєвтектоїдні низьковуглецеві (до 0,25%С) сталі використовують для виготовлення деталей машин, що піддаються цементації, нітроцементації. Середньовуглецеві (0,30...0,60%С) сталі застосовують для виготовлення деталей машин, що зміцнюються гартуванням з високим відпуском (покращені сталі).

Евтектоїдна і заєвтектоїдна сталі. Мікроструктура евтектоїдної сталі (рис. 6.4) складається із чистого перліту (умовна назва від слова *перл*), що є евтектоїдною сумішшю фериту і цементиту. Зерна пластинчастого перліту складаються із пластинок фериту і цементиту. В процесі травлення мікрошліфа перлітної сталі 4%-м розчином нітратної кислоти в спирті на поверхні шліфа виникає мікрорельєф. Це пояснюється тим, що ферит з меншим електрохімічним потенціалом інтенсивніше розчиняється в розчині кислоти порівняно з цементитом, що має більший електрохімічний потенціал. Крім того, межі між пластинками цементиту і фериту інтенсивніше розчиняються (протравлюються).

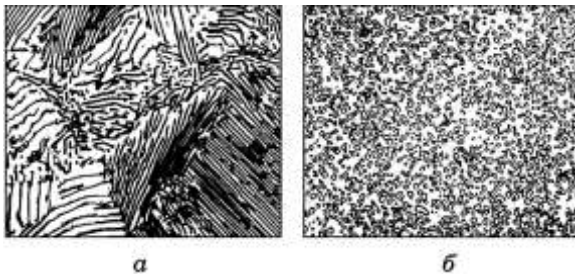


Рис. 6.4. Мікроструктура перліту евтектоїдної сталі:

a — пластинчастий перліт; *б* — зернистий перліт

При вивченні цієї мікроструктури в оптичному мікроскопі світлові промені, що потрапляють на поверхню шліфа, відбиваються від різних елементів структури з різною інтенсивністю, утворюючи тіні на більш витравлених феритних пластинках від пластинок цементиту, що виступають.

Така поверхня в оптичному мікроскопі створює уявлення перламутрового переливання (блиску), ефект якого зростає з укрупненням пластинок фериту і цементиту.

Крім пластинчастого перліту (рис. 6.4, *a*) в евтектоїдній сталі можна отримати зернистий перліт (рис. 6.4, *б*), якщо таку сталь піддати спеціальному термічному обробленню - покращенню. В структурі такої сталі в металевій феритній основі цементит перебуває у вигляді окремих дисперсних зерен, тому що він має іншу, ніж пластинчастий перліт, кінетику утворення.

Сталі з масовою часткою вуглецю від 0,80 до 2,14% називають *заевтектоїдними*. Їх структура складається з перліту і вторинного цементиту.

У заевтектоїдних сталях з пластинчастим перлітом цементит розміщується на межах зерен перліту, утворюючи цементитну сітку. Щоб у мікроструктурі сталі відрізнити цементит від фериту, її протравлюють пікратом натрію замість 4%-го розчину HNO_3 . У цьому разі пікрат натрію зафарбовує цементит у темний колір.

Якщо заевтектоїдну сталь нагріти до 900°C (вище від A_{c_m}), а після цього перенести в піч з температурою 710°C і витримати до кінця розпаду аустеніту, то отримаємо структуру пластинчастого перліту з цементитною сіткою (рис.6.5).

Щоб визначити масову частку вуглецю в заевтектоїдній сталі за мікроструктурою, потрібно врахувати, яку площу займе перліт і цементит, в яких міститься вуглець, %:

$$C = \frac{(S_{\text{п}} \cdot 0,80) + (S_{\text{ц}} \cdot 6,67)}{100}, \quad (6.3)$$

де: $S_{\text{п}}$ — площа, яку займає перліт, %;

$S_{\text{ц}}$ — площа, яку займає цементит, %.

Беремо відповідно 97%, 3%, тоді масова частка вуглецю в сталі становить:

$$C = \frac{(97 \cdot 0,80) + (3 \cdot 6,67)}{100} = 0,976 \approx 1,0 \%. \quad (6.4)$$

Евтектоїдні і заевтектоїдні сталі належать до високовуглецевих сталей. Із них виготовляють різний інструмент.

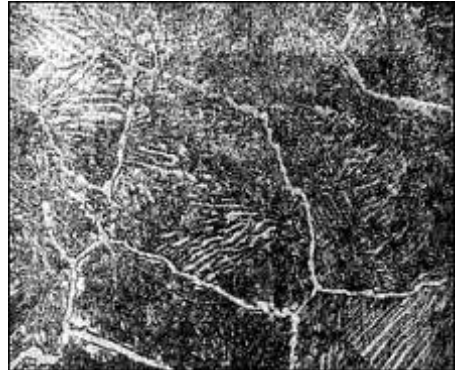


Рис. 6.5. Мікроструктура заевтектоїдної сталі (сталь 1,2 % C)

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Навести замальовані мікроструктури сталей (у кругах діаметром 40-60 мм або в квадратах розміром 50 × 50 мм).
4. Під кожним рисунком мікроструктури написати назву сталі, вказати її структурні складові, хімічний склад і її використання.
5. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Мікроструктура сталі з масовою часткою вуглецю 0,8% за кімнатної температури. 2. Як визначити вміст вуглецю в доєвтектоїдній сталі за мікроструктурою? 3. Який вміст вуглецю в цементиті? 4. З якої сталі виготовляють зубило? 5. Мікроструктура заєвтектоїдної сталі за температури 750 °С.

Лабораторна робота 7 Мікроструктура чавунів

Мета роботи: ознайомитися з мікроструктурою чавунів, які використовують у машинобудуванні.

Для виконання роботи потрібні: металографічні оптичні мікроскопи, хімічні реактиви, набір мікрошліфів машинобудівних чавунів, альбоми фотографій мікроструктур, діаграма стану залізвуглецевих сплавів, циркуль, лінійка, олівець.

Теоретичні відомості

Серед залізвуглецевих сплавів, крім сталей, розрізняють білі та машинобудівні чавуни, в яких вуглець перебуває у вільному або зв'язаному стані.

Є два чинники, які впливають на стан вуглецю в чавунах. Перший це вміст таких легуючих елементів - як кремній та марганець, Якщо кремній витісняє вуглець з металевої основи чавуну і, таким чином, сприяє процесу графітизації, то марганець навпаки сприяє відбілу. Другий фактор - це швидкість охолодження, чим повільніше проходить процес охолодження чавуну, тим більше вуглецю виділяється у вигляді вільного графіту.

Білі чавуни отримали свою назву через світлі зломи. Подібно до вуглецевих сталей за структурою їх поділяють на доєвтектичні (> 2,14 < 4,30% С), евтектичні (4,30% С), заєвтектичні (> 4,30% С).

У таких чавунах вуглець перебуває у хімічній сполуці Fe₃C (цементит — 6,67% С) і твердому розчині. Тому ці чавуни мають високу твердість і підвищену крихкість та не зазнають механічного оброблення різанням. Їх використовую-

ють для отримання (відпалюванням) ковких чавунів або для виготовлення валків прокатних станів холодного прокатування листа, а також куль для кульових млинів.

В усіх інших чавунах вуглець перебуває як у зв'язаному, так і у вільному (у вигляді графіту) станах.

Структуру машинобудівних чавунів можна розглядати, як металеву матрицю, що має структуру сталі – ферит, перліт, або ферито-перлітну суміш, в якій розміщені включення графіту, форма яких визначає вид чавуну – сірий, ковкий, високоміцний.

Послідовність виконання роботи

Користуючись металографічними мікроскопами, а також альбомами мікроструктур, замалювати відповідні структури чавунів і описати їхні властивості та призначення.

Мікроструктура білих чавунів. Структура доевтектичного білого чавуну (рис. 7.1, *а*) складається із зерен перліту (темні вкраплення), ледебуриту (на білому фоні цементиту дисперсні вкраплення перліту), вторинного цементиту у вигляді світлих довгастих вкраплень між перлітними зернами.

Евтектичний чавун (рис. 7.1, *б*) містить 100 % ледебуриту (суміш перліту і цементиту). Такий чавун є евтектикою, яка містить 4,3% С.

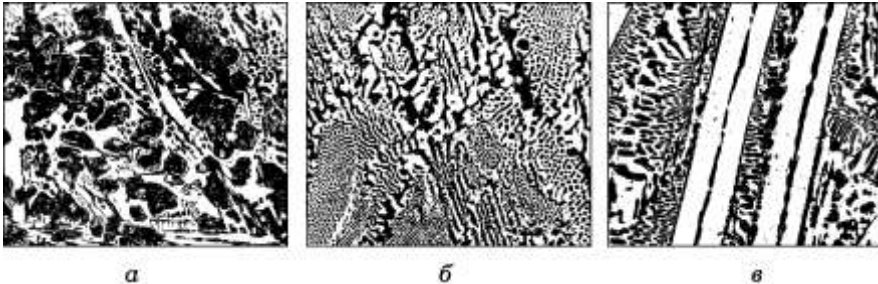


Рис. 7.1. Мікроструктура білих чавунів:
а — доевтектичний; *б* — евтектичний; *в* — заевтектичний

Заевтектичний чавун (рис. 7.1, *в*) складається із первинного цементиту (світлі смуги), що виділилися із розплаву при кристалізації, і між кристалами цементиту розміщується ледебурит.

Мікроструктура сірих чавунів. У сірих чавунах, на відміну від білих, крім зв'язаного вуглецю, частина його перебуває у вільному стані у вигляді пластинчастого графіту. На кількість і розмір графітових вкраплень впливає хімічний склад чавуну, швидкість охолодження, температура і час витримання розпла-

вленого чавуну перед розливанням у форми. Наприклад, чим менша швидкість охолодження чавуну, тим крупніші графітові вкраплення.

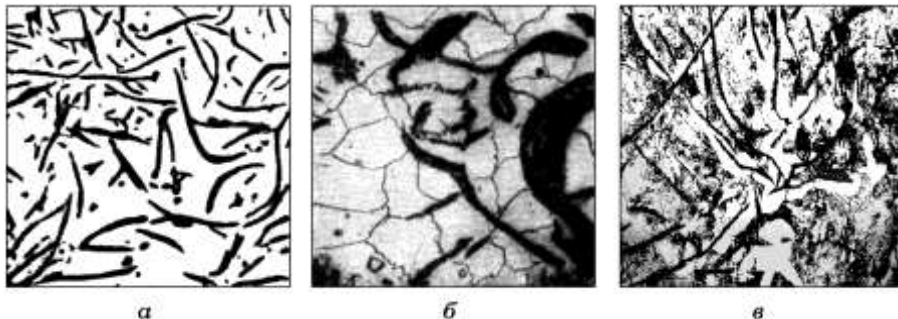


Рис. 7.2. Мікроструктура сірих чавунів:

а — до травлення; *б* — феритний; *в* — феритно-перлітний

Якщо поверхню нетравленого сірого чавуну розглянути під мікроскопом, то на світлій металевій поверхні мікрошліфа чітко виявляються вкраплення пластинчастого графіту (рис. 7.2, *а*). Форма вкраплень пластинчастого графіту залежить від хімічного складу чавуну.

Оскільки литі чавунні деталі в земляних формах охолоджуються з невеликою швидкістю, то це сприяє розпаду цементиту (нестійкої хімічної сполуки) з утворенням графіту: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\gamma(\text{C}) + \text{C}$ (графіт) за температур вищих 727°C і $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\alpha(\text{C}) + \text{C}$ (графіт) за температур, нижчих від 727°C (лінії *PSK*).

Графітізації чавуну сприяють елементи Al, Ni, Cu і особливо Si, якого в сірих чавунах має бути 1,5...3,5%. Силіцій, зменшуючи розчинність вуглецю в рідкому і твердому чавуні і підвищуючи критичні точки, відіграє таку саму роль, як і зменшення швидкості охолодження.

За ступенем графітізації розрізняють такі сірі чавуни: феритний, феритно-перлітний і перлітний (див. рис. 7.2). Тобто металева основа в сірих чавунах така сама, як і у вуглецевих сталях.

На рис. 7.2, *а* зображено структури сірого чавуну до травлення, на якій видно темні вкраплення графіту. Структуру феритного чавуну, в якого весь вуглець міститься в графіті, розміщеному у фериті (світле поле з межами зерен), показано на рис. 7.2, *б*. Мікроструктуру феритно-перлітного чавуну наведено на рис. 7.2, *в*. Темні довгасті вкраплення — графіт, сірий фон — пластинчастий перліт, а світлий фон — ферит.

Мікроструктура ковкого чавуну. Ковкі чавуни отримують відпалюванням білих чавунів, у результаті чого одержують графіт (вуглець) у вигляді пластівчастих вкраплень (рис. 7.3). Металева основа ковких чавунів, як в сірих, може

бути феритною, феритно-перлітною і перлітною. Це залежить від температурного режиму відпалювання та охолодження білого чавуну впродовж 3...5 діб і від кількості вуглецю в чавуні.

Для отримання феритного чавуну беруть білий чавун із масовою часткою вуглецю близько 2,5%, а для перлітного — 3,3% С.

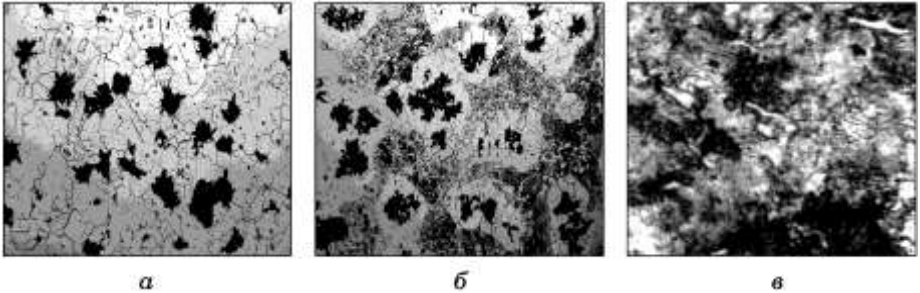


Рис. 7.3. Мікроструктура ковких чавунів:

а — феритний; *б* — феритно-перлітний; *в* — перлітний

Температурний режим відпалювання на феритний чавун полягає в тому, що чавунні вироби з білого чавуну нагрівають у печах до 900...950°C з відповідним витримуванням і повільним переохолодженням (~5 °С за годину) разом з піччю до температури 720...740°C і відповідним витримуванням з подальшим охолодженням з такою самою швидкістю до кімнатних температур. При відпалюванні на перлітний чавун деталі нагрівають до 900...950°C і після відповідного витримування повільно охолоджують до кімнатних температур.

Мікроструктуру феритного ковкого чавуну з графітовими темними вкрапленнями у феритній (світлій) основі наведено на рис. 7.3, *а*. Мікроструктуру феритно-перлітного ковкого чавуну з феритно-перлітною основою і вкрапленнями в ній графіту (темні вкраплення) показано на рис. 7.3, *б*.

Мікроструктуру перлітного ковкого чавуну з перлітною основою і темними вкрапленнями графіту зображено на рис. 7.3, *в*.

Мікроструктура високоміцних чавунів. Високоміцні чавуни отримують при їх виплавленні в електропечах. Порівняно з білими і сірими чавунами високоміцні виливають у форми за вищих температур (1380...1450°C) і модифікують магнієм або церієм. У результаті модифікування чавун із структурою графіту і механічними властивостями значно переважає сірий, а також ковкий чавун. У структурі (ферит, ферит-перліт, перліт) такого чавуну містяться графітні вкраплення кулеподібної (сферичної) форми (рис. 7.4), що сприяє підвищенню їх механічних властивостей порівняно із сірими, а також ковкими чавунами.

Розділ 1

Їх використовують для виготовлення тонкостінного литва і деталей, що працюють в умовах динамічного навантаження.

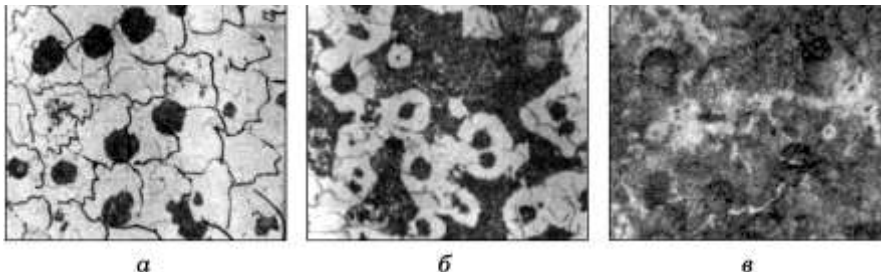


Рис. 7.4. Мікроструктура високоміцних чавунів:
а — феритний; б — феритно-перлітний; в — перлітний

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. У процесі вивчення мікроструктури відобразити її в рисунках з назвою структурних складових.
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Яка мікроструктура білого чавуну за кімнатної температури? 2. Дайте класифікацію машинобудівних чавунів. 3. Що називають ледебуритом? 4. Яка форма графітових вкраплень у ковких чавунах? 5. З якого чавуну виготовляють блок двигуна трактора?

Лабораторна робота 8

Термічна обробка вуглецевих сталей

Мета роботи: ознайомитися з обладнанням для термічної обробки сталей, освоїти технологію термічної обробки вуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю.

Обладнання та матеріали: набори зразків сталей з різним вмістом вуглецю, муфельні печі, твердоміри Роквелла, діаграма стану Fe — Fe₃C, світлові мікроскопи, водяні ванни, ковальські кліщі, ящик з піском, напилки, абразивні шкурки.

Теоретичні відомості

Термічна обробка застосовують з метою зміни властивостей сталей та інших сплавів нагріванням до певних температур, відповідною витримкою і охоло-

дженням з різними швидкостями. Це забезпечує отримання різних структур з певною зміною властивостей.

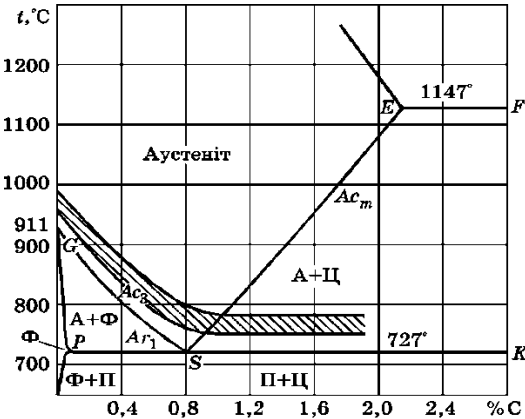


Рис. 8.1. Температурний інтервал нагрівання вуглецевих сталей при їх термічній обробці

Основою вибору нагрівання сплавів до потрібних температур при термічному обробленні є діаграми стану сплавів, за якими визначають їх фазовий стан залежно від температури і концентрації сплаву. Зважаючи на це, для визначення температури нагрівання вуглецевої сталі при термічній обробці застосовують діаграму стану залізо — цементит (рис. 8.1). При термічній обробці сталей вводять поняття «критичної точки»:

- Ac_1, Ac_3, Ac_m - при нагріванні і
- Ar_1, Ar_2, Ar_m - при охолодженні.

Як відомо, за температур, що відповідають цим точкам, у процесі нагрівання і охолодження починаються (Ac_1, Ar_1), або закінчуються (Ac_3, Ac_m) фазові перетворення. Основними елементами технологічного процесу термічної обробки сталі є нагрівання заготовки (деталі) до відповідної температури аустенітизації для отримання аустенітної структури, витримання за температури аустенітизації і охолодження з потрібною швидкістю залежно від виду термічної обробки. Тривалість нагрівання визначається масою деталі і швидкістю нагрівання в заданому нагрівальному агрегаті, що необхідно для завершення структурних перетворень (табл. 8.1).

Взагалі термічну обробку сплавів проводять з метою розміцнення (відпал, нормалізація, відпуск) або зміцнення (гартування).

Розміцнюючі види термічної обробки.

Відпалом називається процес термічної обробки, що полягає в нагріві сталі до визначеної температури, витримці і подальшому, як правило, повільному охолодженню (у печі) з метою отримання більш рівноважної структури.

Відпал першого роду. Це відпал, при якому, як правило, не відбувається фазових перетворень (перекристалізації), а якщо вони мають місце, то це не має визначального впливу на кінцеві результати. Розрізняють наступні різновиди відпалу першого роду: гомогенізація, рекристалізація і відпал для зменшення внутрішніх напружень.

Розділ 1

Гомогенізація застосовується для вирівнювання хімічної неоднорідності зерен твердого розчину (за рахунок дифузії), тобто зменшення мікроліквації. В процесі гомогенізації злитки нагрівають до 1100-1200°C, витримують при цій температурі 8-15 годин, а потім повільно охолоджують.

Рекристалізації піддають сталь, деформовану в холодному стані. Наклеп в процесі обробки тиском може виявитися таким великим, що сталь стає недостатньо пластичною і подальша деформація стає неможливою. Для повернення сталі пластичності і можливості подальшої її деформації проводять рекристалізаційний відпал.

Під температурою рекристалізації розуміють температура, при якій в металах підданих деформації в холодному стані, починається утворення нових зерен. А.А. Бочвар встановив залежність між температурою рекристалізація температурою плавлення чистих металів:

$$T_{\text{рекр}} = 0,4 T_{\text{пл}} \quad (8.1)$$

де: $T_{\text{рекр}}$ і $T_{\text{пл}}$ – відповідно, температури рекристалізації і плавлення в кельвінах за термодинамічною шкалою (температури рекристалізації для деяких металів: Fe - 450°C; Mo - 900°C; Cu - 270°C).

У зв'язку з тим, що при температурі рекристалізації процес утворення нових зерен відбувається дуже повільно, то для прискорення процесу метали і сплави нагрівають до вищої температури, наприклад вуглецеву сталь до 600 - 700 °С, мідь до 500-700 °С.

Відпал, для зменшення напружень після технологічних операцій (литво, зварювання, обробка різанням та ін.) проводять при температурі 200-700 °С (частіше до 350-600 °С) з подальшим повільним охолодженням.

Відпал другого роду. Це відпал, при якому фазові перетворення (перекристалізація) визначають його цільове призначення. Розрізняють наступні різновиди відпалу другого роду: повний, неповний, ізотермічний, нормалізаційний (нормалізація).

Повному відпалу піддають доевтектоїдну сталь з метою створення дрібнозернистої структури, зниження твердості і підвищення пластичності.

При повному відпалі доевтектоїдну сталь нагрівають до температури на 20-30 °С вище за критичну точку A_{c3} , в результаті початкова крупнозерниста ферито-перлітна структура перетворюється на дрібнодисперсну структуру аустеніту. При подальшому повільному охолодженні (у печі зі швидкістю 100-200°C на годину до 500°C, а далі на повітрі) з дрібнозернистого аустеніту утворюється дрібна ферито-перлітна суміш.

Заевтектоїдну сталь повному відпалу з нагрівом вище критичної точки A_{cm} не піддають, оскільки при повільному охолодженні цементит розташовується у вигляді сітки на межах зерен перліту, погіршуючи її механічні властивості.

Неповному відпалу піддають доевтектоїдну і заевтектоїдну сталь з метою перетворення пластинчастого перліту і сітки цементиту на структуру зернистого перліту. Заевтектоїдна сталь із структурою зернистого перліту краще обробляється різанням завдяки нижчій в'язкості.

Для отримання зернистого перліту заевтектоїдну сталь нагрівають до температури 740- 780 °С. При нагріві до такої температури відбувається перетворення на аустеніт тільки перліту, а цементит залишається і утворюється структура цементит + аустеніт. При подальшому повільному охолодженні (у печі зі швидкістю 20-60 °С на годину до 700-650 °С з подальшим охолодженням на повітрі) з аустеніту утворюється структура з глобулярним цементитом - зернистий перліт.

Ізотермічний відпал застосовують для розміцнення легованих сталей. На відміну від повного відпалу сталь циклічно нагрівають і охолоджують в інтервалі $\pm 20-30$ °С від температури $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перетворення. Потім сталь охолоджують на повітрі.

Нормалізаційний відпал (нормалізація) полягає в нагріванні до температури вище фазових перетворень, витримка 1-2 години з подальшим охолодженням на повітрі. Нормалізація в порівнянні з відпалом – більш економічна операція, оскільки не вимагає охолодження разом з піччю. Нормалізація також застосовується для усунення цементитної сітки в заевтектоїдних сталях.

Зміцнюючі види термічної обробки

Гартування і відпуск сталей. Існують такі способи гартування: безперервне, перервне, ступеневе й ізотермічне.

Гартуванню піддаються сталі, що містять 0,3 і більше відсотків вуглецю, який в рівноважному стані знаходиться в хімічному з'єднанні - цементиті, тому що максимальна розчинність вуглецю в α – залізі 0,02%. В процесі нагрівання відбувається $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення, об'ємноцентрована кристалічна ґратка перебудовується в гра-нецентровану, в якій в центрі куба є вільне місце. В результаті розчинність вуглецю збільшується і він весь переходить в твердий розчин – аустеніт.

Суть зміцнення сталі в процесі гартування заключається в тому, що вуглець не встигає залишити кристалічну ґратку і утворити хімічне з'єднання з залізом. Тобто, при значних швидкостях охолодження у випадку придушення дифузійних процесів аустеніт переохолоджується до більш низьких температур і зазнає бездифузійного перетворення з утворенням мартенситу — перенасиченого твердого розчину вуглецю в α -залізі з такою ж концентрацією вуглецю, як і у початковому аустеніті. Внаслідок цього кристалічна решітка твердого розчину викривлюється (спотворюється), а утворений мартенсит називається тетрагональ-

Розділ 1

ним. В результаті деформації кристалічної ґратки порушується рівновага міжатомних сил, структура насичується дислокаціями, виникають внутрішні напруження, які і зміцнюють сталь.

Чим вищий вміст вуглецю в аустеніті, тим більша тетрагональність кристалічної ґратки, рівень внутрішніх напружень і, як наслідок, твердість мартенситу. При цьому, достатньо висока твердість мартенситу, досягається вже в сталях з вмістом вуглецю 0,3...0,45% і зростає при його збільшенні.

Починаючи з концентрації 0,7...0,8 % вуглецю твердість загартованої сталі практично не змінюється. Це пов'язано з тим, що в загартованій сталі з вмістом вуглецю понад 0,5 % внаслідок великих структурних і термічних напружень не весь аустеніт перетворюється в мартенсит, а частина його залишається у вигляді залишкового аустеніту між голками мартенситу. При цьому кількість залишкового аустеніту в структурі загартованої сталі збільшується при збільшенні вмісту в ній вуглецю. Залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит при подальшому нагріванні загартованої сталі при відпуску, або при обробці холодом.

Для нагрівання виробів до 900°C використовують електричні камери або муфельні печі (рис. 8.2) з фехралевиими, або ніхромовими нагрівальними елементами 3, їх найчастіше застосовують у лабораторіях навчальних закладів. Щоб нагріти вироби, їх завантажують на черен 4 муфеля 2, який ізолюваний від корпусу печі 1. Температуру в муфелі регулюють реостатом 6, пересовуючи ручки реостата 7. Для контролю температури в отвір 12 встановлюють термомпару.

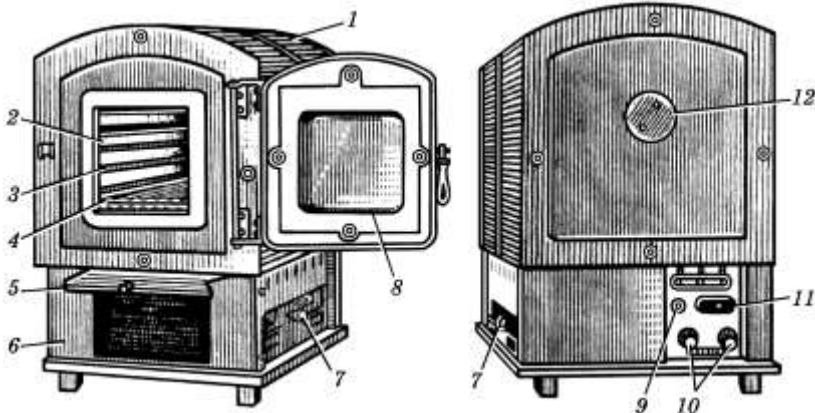


Рис. 8.2. Муфельна піч:

- 1 — корпус; 2 — муфель; 3 — нагрівальний елемент; 4 — черен печі; 5 — висувний стіл;
6 — реостат; 7 — ручки реостата; 8 — дверцята; 9, 10, 11 — клеми для електрошнура;
12 — отвір для термомпару

Металознавство і термічна обробка металів

Для нагрівання вище ніж 900°C використовують електропечі з карборундовими або вугільними нагрівальними елементами.

Тривалість нагрівання і витримки залежить від геометричних параметрів деталей та умов нагрівання (табл.8.1).

Приблизні норми часу нагрівання і витримування заготовок із вуглецевих сталей при гартуванні

Таблиця 8.1.

Умови і методи нагрівання	Тривалість нагрівання, с/мм, поперечного перерізу заготовки		
	круглого	квадратного	прямокутного
Муфельна піч (600...650 °С)	55...60	80...90	100...110
Муфельна піч (800...900 °С)	45...50	65...70	85...95
Полумєнева піч (800...900 °С)	40...45	55...80	80...90
Соляна ванна (800...950 °С)	12...15	15...18	18...22
Соляна ванна (1300 °С)	6...8	8...10	10...12
Електроіндукційне нагрівання	0,5...0,8	0,6...0,9	0,6...1,0

Щоб уникнути утворення окалини на поверхні заготовки, використовують соляні ванни, в яких досягають температур до 1350°C (табл. 8.2). Також застосовують швидкісне нагрівання в індукторі струмами високої частоти.

Щоб запобігти зневуглецьовування поверхневого шару нагрів деталей проводять в захисних атмосферах екзо- ендогазу, або твердому карбюризаторі.

Склад соляних нагрівальних ванн для гартування і відпускання сталевих виробів

Таблиця 8.2.

Складові ванн	Хімічна формула	Масова частка, %	Температура плавлення, °С	Температура нагрівання, °С
Селітра калієва + селітра натрієва	$KNO_3 + NaNO_2$	50 + 50	220	245...500
Селітра натрієва	$NaNO_2$	100	317	325...600
Сіль + кальцинована сода	$NaCl + Na_2CO_3$	50 + 50	560	590...900
Кухонна сіль	$NaCl$	100	801	830...1100
Хлорид барію	$BaCl_2$	100	962	1100...1350

Розділ 1

Температура нагрівання заготовки визначається кількістю вуглецю в сталі. Тому при гартуванні доєвтектоїдні сталі ($< 0,8\%C$) нагрівають вище від температур A_{c3} для отримання аустенітної структури (див. рис. 8.1), тобто вище від лінії GS на $30...50^{\circ}C$.

Евтектоїдні і заєвтектоїдні сталі потрібно нагрівати вище від критичної точки A_{c1} на $30...50^{\circ}C$, тобто вище від лінії PSK (рис. 8.1).

Нагрівання заєвтектоїдної сталі при гартуванні вище від точки A_{cm} не потрібне і шкідливе, оскільки після такого гартування сталь стає крихкою в результаті того, що при підвищенні температури росте розмір вихідного аустенітного зерна. Крім того знижується твердість за рахунок збільшення кількості залишкового аустеніту.

Нагрівати доєвтектоїдну сталь до температури, нижчої від A_{c3} , також не рекомендується, оскільки в структурі сталі залишається певна кількість фериту, що зменшує твердість загартованої сталі. Оптимальні режими термообробки деталей з вуглецевих сталей, а також значення твердості деталей після гартування з різними видами відпуску наведені в табл.8.3.

Орієнтовні режими термічної обробки і твердість вуглецевих сталей

Таблиця 8.3.

Марка сталі	Температура нагрівання під гартування, $^{\circ}C$	Охолоджувальне середовище	Температура відпуску, $^{\circ}C$	Твердість після гартування і відпуску, HRC
35	840...880	Вода	300...400	50...40
			400...500	40...30
			500...600	30...23
45	810...840	Вода	200...300	54...50
			300...400	50...41
			400...500	41...33
			500...600	33...24
			600...700	24...15
60	785...820	Вода — олива	400	40...35
			550...620	24...18
70	770...815	Вода — олива	400	46...39
			610...670	27...22
У8	750...760	«	160...200	64...60
			200...300	65...60
			300...400	55...45
			500...600	35...27
У12	760...780	Олива	160...200	65...62
			200...300	62...57

Залежно від призначення деталей охолодження при гартуванні із аустенітного стану проводять з різними швидкостями. Для цього використовують різні середовища, що мають неоднакову охолоджувальну здатність (табл. 8.4).

В якості гартівних середовищ найчастіше використовують воду, водні розчини солей, лугів, мінеральні оливи. Вибір гартівних середовищ проводиться виходячи з інтенсивності їх охолодження в інтервалах найменшої стійкості переохолодженого аустеніту і мартенситного перетворення.

Для гартування деталей машин й інструменту, виготовлених із вуглецевих сталей, як охолоджувальне середовище використовують воду, а для дрібних виробів завтовшки або діаметром 3...5мм — мінеральну оливу.

Швидкість охолодження сталі в різних середовищах

Таблиця 8.4.

Гартівне середовище	Швидкість охолодження v , °C/с, в інтервалі температур t , °C		Гартівне середовище	Швидкість охолодження v , °C/с, в інтервалі температур t , °C	
	650...550	300...200		650...550	300...200
Вода при 18°C	600	270	10%-й розчин Na ₂ CO ₃ при 18°C	800	270
Вода при 28°C	500	270			
Вода при 50°C	100	270	Мінеральна олива	150	30
Вода при 75°C	30	200			
10%-й розчин NaCl у воді при 18°C	1200	300	Емульсія оливи у воді	200	70
			Мильна вода	200	30
10%-й розчин NaOH при 18°C	1100	300	Спокійне повітря	≈8	

Для зняття внутрішніх напружень, підвищення ударної в'язкості і пластичності загартовану сталь потрібно піддавати відпуску (повторному нагріванню до температур, нижчих точки A_{c1}).

Залежно від температури нагрівання розрізняють такі види відпуску: низький, середній і високий.

При низькому відпуску загартовану деталь нагрівають до температур 150...250°C, у результаті чого знімаються внутрішні напруження, за рахунок дифузії атомів вуглецю із тетрагональних ґраток мартенситу з утворенням високодисперсної карбідної фази. При цьому відпущений мартенсит зі зниженою

Розділ 1

тетрагональністю має підвищену в'язкість і пластичність зі збереженою високою твердістю. Низькому відпуску піддають інструмент (різальний, вимірювальний), поверхнево загартовані деталі, а також деталі після цементації і нітроцементації.

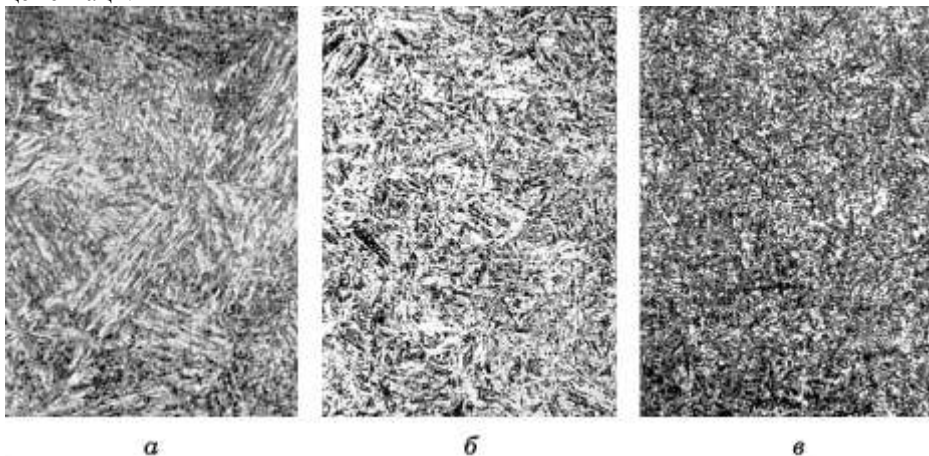


Рис. 8.3. Мікроструктура сталі 45:
а — після гартування; *б* — після середнього відпуску;
в — після високого відпуску

При середньому відпуску деталі нагрівають до температур 300...480°C. За цих температур завершується дифузія атомів вуглецю із мартенситу, перетворення залишкового аустеніту на мартенсит відпуску з утворенням карбідно-феритної суміші (трооститу) (див. рис. 8.3, *б*) зі зниженою твердістю (40...45HRC) і підвищеною в'язкістю. Такому відпуску піддають пружини, ресори, ударний інструмент (зубила, штампи тощо).

Високий відпуск полягає в нагріванні деталей до температур 500...650°C. У результаті цього відпуску відбувається укрупнення і глобуляризація цементитних включень у феритній основі (сорбіт) (рис. 8.3, *в*), що приводить до зниження твердості (30...38 HRC), але пластичність і в'язкість значно зростають. Такого відпуску зазнають деталі, що піддаються значним ударним і знакозмінним навантаженням (шатуни, осі, півосі автомобілів і тракторів, вали, пальці тощо).

Тривалість нагрівання при відпуску залежить від його температури та розмірів деталі і зазвичай більша, ніж при нагріванні для гартування. Охолодження проводять на повітрі.

Послідовність виконання роботи

1. Заміряти твердість зразків зі сталей з вмістом вуглецю 0,25; 0,50; 0,8; 1,2% на твердомірі Роквелла (HRB) і перевести за таблицею в одиниці за шкалою HB.
2. Розглянути під світловим мікроскопом мікроструктури зразків зі сталей в рівноважному стані і замалювати їх.
3. Застосовуючи діаграму стану залізо — цементит, визначити режими термічної обробки сталі (відпалювання, нормалізація, гартування).
4. Завантажити зразки в муфельну піч при заданій температурі аустенітизації і після заданого витримування їх послідовно, по одному, охолодити у воді, оліві та на повітрі. Відпалювання не потрібно проводити, оскільки зразки попередньо були відпалені.
5. Заміряти твердість зразків після гартування на твердомірі Роквелла, користуючись відповідними шкалами.
6. Зразки, що пройшли гартування, завантажити в муфельні печі для відпуску при температурах – 200; 350; 480, 650°C, витримати на протязі 40хв.
7. Після відпуску заміряти твердість на твердомірі Роквелла, користуючись відповідною шкалою.
8. Побудувати графічні залежності твердості сталі від вмісту вуглецю та температури відпуску.
9. У звіті потрібно описати структури і твердість після різних видів термічної обробки та вплив швидкості охолодження на твердість сталі.

Протокол термічної обробки вуглецевих сталей

Таблиця 8.5.

Вміст вуглецю	Твердість сталі до термічної обробки		Температура аустенітизації, °C	Твердість сталі після гартування, HRC	Твердість сталі після відпуску, HRC			
	HRB	HB			200, °C	350, °C	480, °C	650, °C

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Замалювати ліву частину діаграми Fe — Fe₃C, вказавши інтервали температур нагрівання сталей з різним вмістом вуглецю.
4. Навести таблицю зміни швидкості охолодження сталей у різних середовищах.

Розділ 1

5. Занести в протокол (табл. 8.5) результати дослідження термічного оброблення сталей.

6. За отриманими даними протоколу дослідів побудувати графічні залежності.

Контрольні запитання і завдання. 1. Види термічного оброблення сталей і їх призначення. 2. Що розуміють під гартуванням, нормалізацією, відпалюванням і відпусканням? 3. Температури нагрівання сталей для різних видів термічного оброблення. 4. Що таке повне і неповне гартування? 5. Види відпускання загартованих сталей.

Лабораторна робота 9

Поверхнєве гартування сталей

Мета роботи: ознайомитися з технологією поверхнєвого гартування різними методами швидкого нагрівання поверхні деталей, основним з яких є індукційний (струмами високої частоти).

Для виконання роботи потрібні: заготовки із середньовуглецевих сталей, твердомір Роквелла, установка СВЧ, металографічні мікроскопи, штангенциркулі, шліфувальний папір, реактиви, полірувальні верстати.

Теоретичні відомості

Метою поверхнєвого гартування є отримання високої міцності і зносостійкості тільки на поверхню деталі, а серцевина при цьому повинна залишатись в'язкою. Ця технологія зміцнення застосовується для деталей які працюють в умовах високих контактних і динамічних навантажень. Поверхнєвому гартуванню піддають сталі з середнім та високим вмістом вуглецю.

Поверхнєве гартування полягає в швидкому нагріванні поверхнєвого шару заготовок або деталей до температур аустенітизації з наступним охолодженням у гартівних середовищах залежно від хімічного складу сталі.

Загальним для всіх способів поверхнєвого гартування є нагрів тільки поверхнєвого шару деталі до температури гартування. Ці способи розрізняються методами нагріву виробів. Товщина загартованого шару при поверхнєвому гартуванні визначається глибиною нагріву, Прогартуваність відіграє другорядну роль або взагалі не має значення.

Існує кілька способів швидкісного нагрівання поверхні - це нагріванням струмами високої частоти, газополум'яневе нагрівання, гартування в електроліті та ін..

Спосіб поверхнєвого гартування в електроліті полягає в тому, що деталь, занурена у ванну з електролітом, при пропущенні через неї постійного струму нагрівається, в той час як сам електроліт залишається холодним (електролітом

може бути розчин солі або іншої речовини, який при проходженні струму розкладається). При виключенні струму електроліт виконує роль гартівної рідини. Якщо для гартування потрібно інша охолоджуюча речовина, наприклад олива, то нагрів виробляють таким же чином, а охолодження в окремому баку.

Газополум'яневий спосіб базується на тому, що ацетилено-кисневе полум'я має температуру 3100 - 3200°C і завдяки надзвичайно великим тепловому тиску нагріває поверхню виробу до температури гартування за дуже короткий проміжок часу, протягом якого серцевина деталі не встигають прогрітися до критичної точки і тому не загартуються.

Високу швидкість нагрівання забезпечує також метод розігріву деталей у розплавах металів та солей, цей метод застосовується для деталей, що мають складну геометрію.

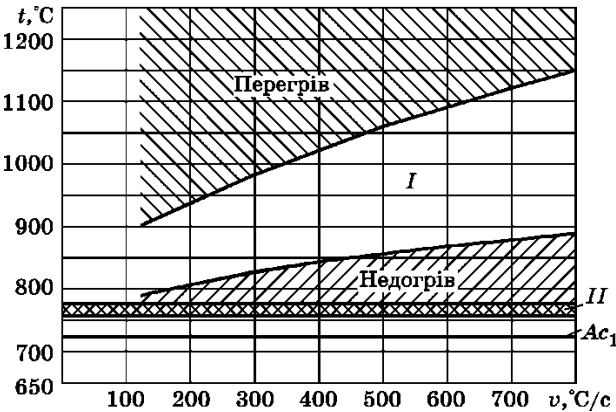


Рис. 9.1. Термокінетична діаграма для вибору температури нагрівання при нагріванні деталі струмами високої частоти:

I — інтервал температур нагрівання сталі струмами високої частоти; *II* — те саме, при нагріванні в камерних печах

У машинобудуванні найбільше використовують метод індукційного нагрівання поверхонь деталей. Цей метод вперше у 1935 р. запропонував академік В.П. Вологдін. Суть індукційного нагрівання полягає в тому, що при розміщенні деталі в змінному електромагнітному полі високої частоти в поверхневому шарі деталі індукуються вихрові струми (струми Фуко), що зумовлює розігрівання цих шарів поверхні за рахунок теплоти Джоуля — Ленца, кДж:

$$Q = 0,24I^2Rt. \tag{9.1}$$

При швидкісному нагріванні потрібне значне перегрівання поверхні сталі, яке тим більше, чим більша швидкість нагрівання, оскільки при великих швидкостях нагрівання перетворення перліту на аустеніт зміщується в зону вищих температур.

Як видно із термокінетичної діаграми (рис. 9.1), для кожної швидкості нагрівання існує відповідний інтервал температур нагрівання, який зростає зі збільшенням швидкості нагрівання.

Розділ 1

Особливістю струмів високої частоти є те, що вони проходять у поверхневих шарах, а не по всьому перерізу деталі. Це явище називають *поверхневим ефектом* (*скін-ефектом*). Ступінь нерівномірності розподілення змінного електроструму по перерізу виробу зростає зі збільшенням частоти струму, тобто зі збільшенням частоти струму зменшується глибина його проникнення в поверхневий шар деталі (табл. 9.1).

Між глибиною проникнення і частотою струму існує така залежність, см:

$$\delta = 5 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (9.2)$$

де: δ — глибина проникнення струму високої частоти, см;

ρ — електроопір металу, що нагрівається, Ом·см;

μ — магнітна проникність металу, гс/е;

f — частота змінного струму, Гц.

Залежність між частотою струму і глибиною його проникнення в сталь

Таблиця 9.1.

Частота струму, Гц	Глибина проникнення струму в сталь при 800°C , мм ($\mu = 1$)	Частота струму, Гц	Глибина проникнення струму в сталь при 800°C , мм ($\mu = 1$)
$0,5 \cdot 10^2$	91,0	10^5	2,10
$1,0 \cdot 10^3$	65,0	10^6	0,65
10^4	6,5	10^8	0,065

Отже, глибина гартування струмами високої частоти дорівнює глибині нагрівання поверхні до температури, вищої за критичну точку на $80\text{--}100^\circ\text{C}$.

Вибір глибини гартування визначається умовами роботи деталі й становить $1,0 \dots 10$ мм (при нагріванні СВЧ).

Джерелами струмів високої частоти є машинні або лампові генератори. Машинні генератори забезпечують частоту струму $f = 0,5 \cdot 10^3 \dots 1,5 \cdot 10^4$ Гц, тому їх використовують для поверхневого гартування деталей на значну глибину понад 4,5 мм.

Лампові генератори забезпечують більш високу частоту струму ($f = 10^5 \dots 10^8$ Гц) і тому їх використовують у високочастотних установках для поверхневого гартування деталей на глибину до 4,5 мм.

При поверхневому гартуванні струмами високої частоти на практиці вибирають температуру нагрівання сталі, користуючись табл. 9.2, з урахуванням сумарного часу аустенітизації в секундах.

Температура нагрівання сталей при гартуванні

Таблиця 9.2.

Марка сталі	Попередня термічна обробка	Температура нагрівання, °С			
		у печі (охолодження у воді - в; в оливі - о; на повітрі - п)	при нагріванні СВЧ (охолодження в спреєрі) і сумарному часі аустенітизації, с		
			10	3	1
35	Нормалізація	840...860 в	860...880	880...920	920...960
40	Нормалізація	820...840 в	840...860	860...900	900...940
45, 50	Нормалізація	810...830 в	830...850	850...890	890...930
45Г2, 50Г	Нормалізація	820...840 о	820...840	830...870	860...900
65Г	Нормалізація	790...820 о	800...820	810...850	850...890
40Х, , 40ХНМ	Відпалювання	830...850 о	880...920	920...960	90...980
40ХН, 45ХН	Відпалювання	810...830 о	860...880	900...940	920...960
40ХС, 30ХГС	Відпалювання	880...900 о	920...940	940...980	960...1000
ШХ15,	Відпалювання	830...850 о	890...930	920...960	940...980
9Х	Відпалювання	830...850 п	890...930	920...950	940...980
У8, У9, У10, У11, У12	Відпалювання	760...780 п	780...800	820...860	840...880

Основними параметрами при нагріванні струмом високої частоти є температура, швидкість нагрівання і глибина проникнення струму. Змінюючи силу струму, отримують потрібну температуру нагрівання, а отже, швидкість нагрівання поверхневого шару виробу, яка може становити 30...1000°С/с. Регулюючи частоту струму, можна отримати загартований шар будь-якої глибини (рівняння (9.2)). При цьому слід пам'ятати, що витримування після нагрівання СВЧ небажане, оскільки внаслідок високої теплопровідності металу втрачається ефект поверхневого нагрівання.

Послідовність виконання роботи

1. Для проведення експерименту поверхневого нагрівання бажано взяти циліндричну сталеву заготовку діаметром 40...50 мм і завдовжки 60...70 мм з плоско-паралельними торцями, один з яких підготовлений під мікрошліф і протравлений.

2. Спочатку під мікроскопом слід вивчати мікроструктуру від краю до серцевини і в такій самій послідовності вимірюють на твердомірі Роквелла твердість.

3. Вибравши температуру нагрівання сталі (див. табл. 9.2), разом із викладачем перейти в лабораторію високочастотного термічного оброблення і загартувати сталеву заготовку з охолодженням спреером (водяним душем). При цьому потрібно записати марку генератора високочастотних струмів, їх частоту, значення напруги і струму, визначені на приладах генератора під час його роботи (нагрівання заготовки).

4. Після гартування заготовки визначити глибину загартованого шару, вимірявши твердість від поверхні до серцевини через кожні 0,5 мм. Протравивши торець заготовки, визначити загартований шар у вигляді темної зони по поверхні торця заготовки.

Для точнішого визначення глибини загартованого шару виміряти відстань від поверхні до зони зі структурою, що містить 50% мартенситу і 50% трооститу (напівмартенситна структура), попередньо протравивши торець заготовки на мікроструктуру. Побудувати криву зміни твердості в координатах твердість — відстань від поверхні заготовки до серцевини.

5. У мікроструктурі, крім мартенситу, можна виявити зони, в яких не відбулося фазових перетворень (наявність фериту, карбідних вкраплень, залишкового аустеніту).

6. Чим крупніше зерно у вихідній структурі сталі, тим важче добитися при гартуванні СВЧ мартенситу рівномірного складу.

Після високочастотного гартування максимальна твердість більша на 2 – 3 одиниці за шкалою HRC, ніж після звичайного гартування.

Протокол проведення поверхневого гартування

Таблиця 9.3.

Марка сталі	Тип генератора СВЧ	Параметри роботи генератора			Твердість поверхні заготовки, HRC		Глибина загартованого шару, мм	Час нагрівання, с
		<i>I</i> , А	<i>U</i> , В	<i>f</i> , Гц	До гартування	Після гартування		

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Побудувати криву зміни твердості в координатах HRC — h .
4. Заповнити протокол результатів дослідження (табл. 9.3).
5. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Методи нагрівання для поверхневого гартування деталей. 2. Джерела струму для гартування струмами високої частоти. 3. Мікроструктура поверхневого шару і серцевини після гартування СВЧ. 4. Для яких деталей і чому застосовують гартування СВЧ? 5. Як визначають глибину загартованого шару?

Лабораторна робота 10
Хіміко-термічна обробка сталей

Мета роботи: ознайомитися з технологіями зміцнення сталей хіміко-термічною обробкою та вивчити, як при цьому змінюються мікроструктура і властивості сталі.

Для виконання роботи потрібні: плакати, ящик для цементації з карбюратором, муфельна піч, мікроскопи, твердомір Роквелла, мікрошліфи цементованих поверхонь деталей до гартування і після гартування, циліндричні зразки $l=20\dots30$ мм, діаметром 15...29 мм із низьковуглецевої сталі.

Теоретичні відомості

Для зміцнення поверхні деталей крім поверхневого гартування високочастотними струмами використовують різні види хіміко-термічної обробки (ХТО) (цементация, азотування, ціанування, металізація).

Хіміко-термічна обробка деталей передбачає не тільки протікання фазових перетворень, а й зміну хімічного складу в поверхні виробів. Під час ХТО відбуваються три процеси: дисоціація молекул на атоми ($2NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2$; $2CO \rightarrow C + CO_2$); адсорбція — поглинання поверхнею металевго виробу атомів дифундуючого елемента (вуглецю, азоту та ін.); дифузія — переміщення атомів дифундуючого елемента в глибину поверхні металевго виробу. Глибина проникнення дифундуючих атомів і буде товщиною насиченого шару з різною концентрацією атомів по глибині шару.

Цементация — процес насичення поверхні низьковуглецевої сталі атомами вуглецю при нагріванні її до аустенітного стану (900...950°C) у твердому, газовому або рідкому карбюраторі. При цьому використовуються як вуглецеві так і леговані сталі з вмістом вуглецю менше 0,25% (табл. 10.1). При цементації

Розділ 1

атоми вуглецю проникають (дифундують) у кристалічні ґратки γ - заліза, яке здатне розчинити в собі, залежно від температури аустенітизації, до 2,0% С.

При цементації в твердому карбюризаторі деталі 1, 3 з контрольним зразком 2 завантажують у сталевий ящик 5 (рис. 10.1) і засипають карбюризатором. Карбюризатор складається із 75...90% деревного вугілля, 10...25% вуглекислих солей $BaCO_3$ або Na_2CO_3 . Ящик закривають кришкою 4 і його краї під кришкою замазують вогнетривкою глиною.

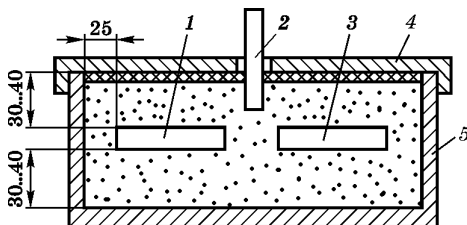


Рис. 10.1. Цементацийний ящик з деталями: 1, 3 — деталі; 2 — контрольний зразок; 4 — кришка; 5 — ящик

Для контролю перебігу процесу цементації в ящик крізь отвори в кришці вставляють контрольні зразки 2 (свідки), які виготовлені із тієї самої сталі, що й деталі і мають поперечний переріз 10×10 мм, довжину до 100 мм.

Всі щілини в ящику затирають вогнетривкою глиною і зібраний ящик після просушування поміщають у піч, нагріту до $900 \dots 950^\circ C$, і витримують упродовж до 8...20 год. Час витримування визначається заданою глибиною зміщеного шару деталі. В середньому за одну годину глибина проникнення вуглецю складає 0,1 мм. У процесі цементації відбувається неповне окиснення вуглецю з утворенням закису вуглецю за реакцією:



При контакті з поверхнею сталеві деталі закис вуглецю розпадається на карбонатну кислоту і атомарний вуглець:



Атомарний вуглець адсорбується (захоплюється) поверхнею деталі і, розчинившись у γ -залізі, дифундує в глибші шари поверхні деталі. Для прискорення процесу цементації до деревного вугілля додають каталізатори - вуглекислі солі ($BaCO_3$ і Na_2CO_3), які за високої температури розпадаються за реакцією



Вуглекислий газ, вступаючи в реакцію з вугіллям, утворює оксид вуглецю, і так процес продовжується в процесі цементації:



Сталі, що використовують для цементації

Таблиця 10.1

Марка сталі	Глибина цементованого шару, мм	Твердість після цементації і гартування з відпуском, HRC	Температура цементації $t_{цем}, ^\circ\text{C}$	Температура гартування $t_{гарт}, ^\circ\text{C}$	Температура відпуску $t_{відп}, ^\circ\text{C}$	Деталі
20	0,2...1,5	58	920...950	800...820	180...200	Втулки, муфти
20Г	1,6	56...63	920...950	810...830	180...200	Стакани, вали
20Х	0,7...1,1	56...63	920...950	780...820	180...200	Вали, шестерні
20ХН3А	0,6...1,8	56...63	920...950	780...820	180...200	Шестерні, вали
12ХН3А				790...810	180...200	Черв'яки, пальці, осі
18ХГТ	0,6...1,7	56...63	920...950	820...860	180...200	Шестерні, вали
25ХГТ				840...860	190...210	Черв'яки, муфти, хрестовини
20ХНР 20ХГНР	0,6...1,7	56...63	930	820...840	180...200	Черв'яки пальці, втулки, осі
18ХН4ВА	0,3...0,9	56	920...950	780...820	150...200	Корпуси розпилувачів

Глибина науглецьовування становить 0,8...2,5 мм і залежить від температури і тривалості процесу.

Безпосередньо після цементації структура поверхневого шару деталі складається із перліту і цементиту, яка переходить у перліт у глибших шарах, а в серцевині — ферит + перліт (рис. 10.2).

Глибина цементованого шару дорівнює відстані від поверхні деталі до середини перехідного шару з масовою часткою вуглецю 0,4...0,5%. Оптимальний рівень властивостей має цементований шар з вмістом вуглецю 0,8%, але при необхідності отримання значної товщини цементації (> 1,0 мм), концентрація вуглецю може перевищити 1,0%, в результаті ми отримаємо структуру заевтек-

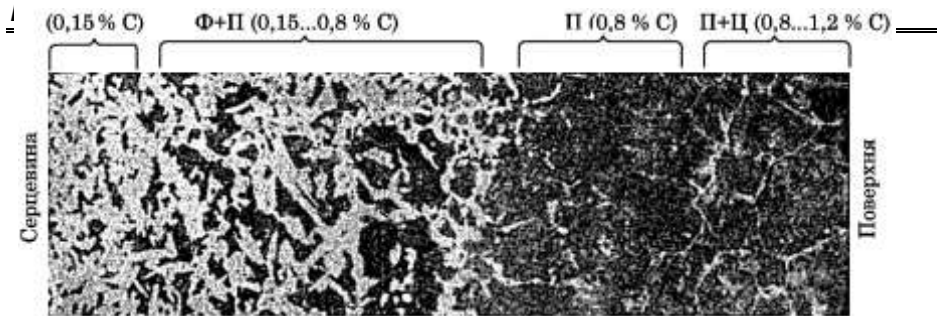


Рис. 10.2. Мікроструктура цементованої поверхні сталеві деталі

тоїдної сталі, в якій по границям зерен може виділятися карбідна фаза у вигляді цементитної сітки, що може бути причиною крихкого руйнування поверхні.

У сталях, легованих кремнієм, хромом, вольфрамом, процеси дифузії в аустеніті гальмуються, що збільшує концентрацію вуглецю на поверхні (поверхнева зона зі структурою заевтектної сталі, див. рис. 10.2), зменшуючи товщину цементованого шару. В сталях, легованих нікелем, навпаки, зростають процеси дифузії, що зменшують концентрацію вуглецю на поверхні.

Для кінцевого формування властивостей цементованої деталі її піддають гартуванню з низьким відпуском.

Щоб виправити перегрівання сталі при цементациї й отримати серцевину підвищеної в'язкості, деталі після цементациї піддають нормалізації або гартуванню з високим відпуском. У результаті такої обробки сталь стає дрібнозернистою, крім того, в поверхневому шарі усувається цементитна сітка. Після цього деталь повторно піддається гартуванню за температури 760...780°C, як заевтектної сталі з подальшим відпуском за 160...220°C.

Азотування сталі. Процес поверхневого насичення сталі азотом називають *азотуванням*. Його використовують з метою отримання високої твердості, великої зносостійкості, втомної міцності і підвищення корозійної стійкості.

За призначенням азотування має три основних різновиди: підвищення зносостійкості деталей; збільшення втомної міцності; підвищення корозійної стійкості. Важливим у процесі азотування є збереження високої твердості поверхні при нагріванні до 500...650°C сталевих деталей, що працюють на спрацювання в умовах підвищених температур.

З метою підвищення зносостійкості азотування здійснюють за температури 500...550°C. Глибина шару азотування за такої температури через 35...60 год становить 0,5...0,6 мм, а твердість 1100...1200 HV. З метою інтенсифікації процесу азотування проводять за дві стадії. Спочатку процес ведуть за температури

500...520°C упродовж 12...15 год, а потім підвищують температуру до 540...600°C з витримуванням 40...50 год.

Залежно від складу сталі й призначення деталей азотування здійснюють в інтервалі заданих температур в середовищі аміаку (див. табл. 10.2). Атомарний азот ($2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$), проникаючи у результаті дифузії в ґратки заліза, утворює кілька фаз (нітриди заліза, алюмінію, молібдену, ванадію та ін.). Тому для азотування використовують переважно леговані сталі 38ХМЮА, 35ХМФЮА, 4Х882, 40Х14Н2В2А (табл. 10.2). Ці сталі після азотування не піддаються гартуванню, оскільки внаслідок наявності спеціальних дисперсних нітридів (AlN , CrN , MoN) вони мають високу твердість без термічного оброблення. Твердість азотованого шару в 1,5...2,0 рази вища за твердість після цементації.

Щоб підвищити втомну міцність деталей, процес проводять за температури 600...650°C з витримуванням 5...6 год. Зростання втомної міцності під час такого оброблення пояснюється тим, що в азотованому шарі за рахунок утворення нітридів збільшується об'єм і виникають напруження стиску. В результаті цього границя витривалості сталі підвищується на 30...40%. Товщина азотованого шару становить лише 0,2 мм. Для забезпечення достатньої твердості підповерхневого шару деталі перед азотуванням піддають покращенню.

Сталі, які використовують для азотування

Таблиця 10.2.

Марка сталі	Глибина азотованого шару, мм	Твердість, НV	Режим азотування		Деталі
			t , °C	τ , год	
38ХМЮА	0,5...0,8	1000...1150	510...540	90...95	Гільзи циліндрів, деталі паливних насосів, шпинделі
38ХВФЮА 18Х2Н4ВА	0,5...0,8 0,5...0,8	850...950 600...700	510...540 510...540	40...30 30...35	Колінчасті вали, шестерні, шпинделі, деталі паливних насосів
X18H10T 25X5MA	0,2...0,4 0,1...0,4	900 800...1000	600 510	75 35	Лопатки газових турбін, плунжери

Антикорозійне азотування здійснюють за температури 600...750°C упродовж 1...10 год. Основним завданням при цьому є отримання на поверхні деталі суцільного шару ϵ -фази Fe_2N (41,2% N), який має високу корозійну стійкість у повітрі і воді. Азотування завершують швидким охолодженням в оліві.

Розділ 1

Твердість і глибина азотованого шару залежать від чинників, основними з яких є температура і тривалість азотування, а також хімічний склад сталей.

Менш леговані сталі азотуються краще, тобто заданої глибини досягають при заданій температурі за менший проміжок часу, а більш леговані — азотуються гірше. У деяких високолегованих сталях максимальна глибина азотованого шару становить 0,20...0,25 мм.

Азотування вуглецевих сталей неефективне, тому що воно не забезпечує достатньої твердості, оскільки не утворюються спеціальні нітриди, а нітриди заліза мають низьку термостійкість і за температур понад 500°C коагулюють, на відміну від дисперсних нітридів алюмінію, хрому, молібдену та ін.

Ціанування сталі (нітроцементация). Процес одночасного насичення поверхні сталевих виробів вуглецем і азотом називають *ціануванням*. Ціанування може бути рідким або газовим (нітроцементация), а залежно від температури — високо- (750...900°C) або низькотемпературним (530...560°C). Рідке ціанування проводять у розплавлених солях ($NaCN$, KCN , Na_2CO_3 , $Ca(CN)_2$, $NaCl$). Основною складовою в цих солях є група ціану (CN), за рахунок якої поверхня деталей насичується вуглецем і азотом.

При ціануванні деталі занурюють у розплавлену соляну ванну за температури 800...900°C і витримують у ній 30...90 хв. При цьому атомарний вуглець і азот дифундують у поверхню деталі. Ціановані деталі піддають гартуванню безпосередньо з ціанистої ванни. Після гартування деталі відпускають за температури 180...200°C. Такого ціанування зазнають шестерні, вали, черв'яки тощо (табл. 10.3).

Сталі, які використовують для нітроцементації

Таблиця 10.3.

Марка сталі	Глибина шару S , мм	Твердість, HRC	$t_{\text{нитр}}$, °C	$t_{\text{гарт}}$, °C	$t_{\text{відп}}$, °C	Деталі
20X 20Г 20ХНР 20ХГА	0,3...1,2	54...62	920...950	780...820 810...830 820...840 840...860	200	Пальці, осі, шестерні, втулки, муфти, стакани
40X 20ХГНР 20ХНР	0,3...0,5 0,6...1,1 0,6...1,7	56...63	930	840...860 820...840 820...840	200	Шестерні, пальці, осі, вали, черв'яки, штовхачі
18ХГТ 25ХНТЦ 25ХГМ	0,6...1,7	56...63	920...950	820...860 840...860 840...860	200	Осі, штовхачі, пальці, шестерні
08кп	0,1...0,3	56...60	860...880	860...880	200	Втулки, коромисла, болти

Ціанування в рідких ваннах має багато недоліків, зокрема отруйність ціаністих солей, висока вартість процесу. Тому в сучасному машинобудуванні використовують газове високотемпературне ціанування (нітроцементация), яке продуктивніше з відсутністю отруйних солей.

При нітроцементатії вироби нагрівають у камерних електропечах або в шахтних печах упродовж 2...10 год за температури 850...860°C у газовій суміші, що складається з 3...15% природного газу і 2...10% аміаку.

Для нітроцементатії в камерних (безмуфельних) печах використовують нейтральний ендогаз з додаванням природного газу (5...15%) і аміаку (2...10%). Вміст азоту і вуглецю в нітроцементованому шарі залежить від температури процесу. У разі зменшення температури вміст азоту в шарі збільшується, а при збільшенні, навпаки, зростає кількість вуглецю.

Зі збільшенням температури процесу ціанування глибина нітроцементованого шару зростає (рис. 10.3).

У шахтних печах як ціанізатор використовують тристаноламін $(C_2H_5O)_3N$, який при нагріванні понад 500°C розкладається з утворенням атомарного азоту і вуглецю за реакціями



Тривалість процесу зумовлює структуру і властивості нітроцементованого шару. Зайве насичення поверхні азотом підвищує крихкість шару і знижує контактну міцність сталі.

Після ціанування деталі піддаються гартуванню з низьким відпусканням і мають такі самі твердість і мікроструктуру, як цементовані.

Проте в ціанованому шарі утворюється азотистий мартенсит, що має підвищену зносостійкість, втомну міцність і корозійну стійкість.

Ціаністі ванни часто використовують для отримання декоративної матової поверхні сталевих виробів. Для цього потрібно нагріти до температури гартування сталевий виріб у ціаністій ванні без витримування.

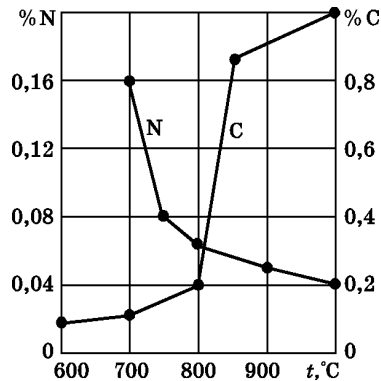


Рис. 10.3. Залежність концентрацій азоту і вуглецю в нітроцементованому шарі від температури процесу

Розділ 1

Послідовність виконання роботи

1. Загрузити отримані зразки з низьковуглецевої сталі 10 разом зі зразком свідком в цементацийний ящик.
2. Ящик помістити в муфельну піч при температурі 930 °С на 5 годин.
3. Дістати зразки з охолодженого ящика після попередньо проведеної цементації .
4. Нанести концентратор на поверхню зразка свідка, який був попередньо загартований та зламати його в лещатах. Дослідивши отриманий злом визначити глибину цементованого шару.
5. Отримавши зразки з цементованими поверхнями, виміряти їх твердість (на поверхні і в серцевині), вивчити мікроструктуру цементованого шару від поверхні до серцевини безпосередньо після цементації і кінцевого гартування з відпуском сталі (вказати марку).
6. Структуру замальовати в лабораторному зошиті (журналі), вказавши відповідні зони і визначивши глибину цементованого шару. Вказати вміст вуглецю
7. Результати вивчення структури і властивостей цементованих сталей занести в протокол (табл. 10.4).

Протокол вивчення цементованого шару

Таблиця 10.4.

Марка сталі	Твердість поверхні до цементації, HRB(HRC)	Вид карбуризатора	Температура цементації, °С	Час цементації, год	Термічне оброблення після цементації	Твердість поверхні після цементації, HRC

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати дослідження занести в протокол (табл. 10.4).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Види хіміко-термічної обробки, їх суть і призначення. 2. Які сталі піддають цементації, азотуванню, нітроцементації і ціануванню? 3. Структура і властивості сталей після цементації і азотування. 4. Які деталі тракторів і сільськогосподарських машин піддають цементації і нітроцементації?

Лабораторна робота 11

**Визначення прогартовуваності сталей
методом торцевого гартування**

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення прогартовуваності сталі методом торцевого гартування; навчитися визначати критичні діаметри для сталей при гартуванні в різних середовищах.

Для виконання роботи потрібні: стандартні круглі зразки вуглецевих і легированих сталей (40, У8А, 40Х, 40ХН, 30ХН3А; 38Х2Н2МА або ін.), муфельна піч, пірометр, установка для торцевого гартування зразків, твердомір Роквелла, годинник, кліщі, номограми для визначення прогартовуваності сталі.

Теоретичні відомості

Прогартовуваність — здатність сталі загартовуватися на певну глибину, тобто в результаті гартування отримувати мартенситну або трооститно-мартенситну структуру. Це одна з найважливіших характеристик сталі, яка визначає зміну механічних властивостей за перерізом виробу.

Нескрізна прогартовуваність пояснюється тим, що при гартуванні на певній глибині деталь охолоджується зі швидкістю, меншою за критичну швидкість охолодження.

Для конструкційних сталей зручно визначати прогартовуваність за товщиною шару, який має мартенситну і напівмартенситну структуру, тобто структуру з 50 % мартенситу і 50 % трооститу. Твердість мартенситу і трооститу залежить переважно від вмісту вуглецю, а також від наявності легуючих елементів. Отже, твердість напівмартенситної зони буде відомою, якщо відома масова частка вуглецю в досліджуваній сталі (табл. 11.1).

Твердість шару з напівмартенситною структурою загартованої сталі

Таблиця 11.1.

Масова частка вуглецю в сталі, %	Твердість сталі, НРС	
	вуглецевої	легованої
0,28...0,32	35	40
0,33...0,42	40	45
0,43...0,52	45	50
0,53...0,62	50	55
0,80	53	53
0,90	55	56

Розділ 1

Для інструментальних заевтектоїдних сталей у загартованому стані твердість напівмартенситного шару не можна визначити вмістом вуглецю, оскільки в структурі є м'яка складова (залишковий аустеніт). Тому прогартовуваність інструментальних сталей визначають за товщиною загартованого шару з мартенситною структурою, твердість якої становить ≈ 60 HRC.

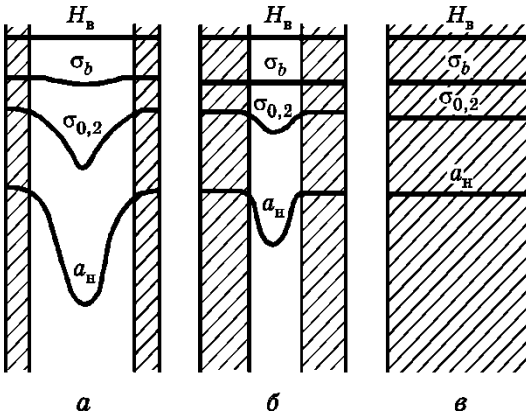


Рис. 11.1. Вплив глибини гартування на механічні властивості загартованих сталей різної прогартовуваності: *a, б* — нескрізна прогартовуваність; *в* — наскрізна прогартовуваність

Прогартовуваність сталі збільшується з підвищенням температури гартування, яка зумовлює ріст зерна аустеніту. Для заевтектоїдних сталей, прогартовуваність підвищується, ще й за рахунок більш повного розчинення карбідів і насичення аустеніту вуглецем і легуючими елементами за винятком кобальту.

Прогартовуваність сталі залежить і від охолоджувальної здатності середовища, в якому проводять гартування. Зі збільшенням інтенсивності охолодження прогартовуваність сталі зростає.

Існує міжнародний стандартний спосіб характеристики прогартовуваності за пробою, ця проба виконується шляхом торцевого охолодження водою зразка сталі довжиною 100 мм і діаметром 25 мм після його нагрівання до температури аустенітизації. Зрозуміло, що найвища швидкість охолодження буде на охолоджуваному торці, по мірі віддалення від торця швидкість охолодження буде поступово знижуватись, відповідно буде зменшуватись і твердість. Структура також буде змінюватись - від мартенситної на торці до змішаної: мартенситу з троститом трохи далі і, нарешті, до звичайної ферито-карбідної суміші на протилежному від торця кінці.

Для сталей із наскрізною прогартовуваністю механічні властивості (рис. 11.1, *в*) після гартування і відпуску будуть однаковими по всьому перерізу виробу, тоді як для сталей з неповною прогартовуваністю ці властивості будуть різними (рис. 11.1, *a, б*).

Для деталей, які працюють в умовах підвищених напружень і значних динамічних навантажень, потрібно підбирати сталі з високою прогартовуваністю.

Вона залежить від хімічного складу сталі, розмірів аустенітного зерна і деталі та умов гартування.

Показником прогартовуваності слугує відстань від торця до напівмартенситної зони, тобто зони, що містить 50% мартенситу і 50% троститу. Твердість цієї зони залежить від вмісту вуглецю в сталі.

Прогартуваність сталі визначають методом торцевого гартування, охолоджуючи водою торець відповідного зразка (рис. 11.2). Структура сталі зразків перед випробуванням має відповідати структурі після нормалізації.

Температури аустенізації зразків із сталей різних груп залежно від масової частки вуглецю наведено в табл. 11.2. Зразки нагрівають у соляній ванні або в муфельній печі. Час витримування зразка при досягненні температури аустенізації становить 30 хв. Зразки гартують у спеціальній установці (рис. 11.2), розміщеній на такій відстані від печі (ванни), щоб час їх перенесення до початку охолодження не перевищував 5 секунд.

Температури аустенізації вуглецевих і деяких низьколегованих сталей

Таблиця 11.2.

Сталі	Масова частка вуглецю, %	Температура аустенізації, °C
Вуглецеві, манганові, хромисті, хромомолібденові, хромонікелеві (з масовою часткою хрому до 1,25 і нікелю до 2%), нікелемолібденові	0,26	870
	0,37	840
	0,55	820
Силіцієві, силіцієманганові, хромосиліцієманганові та хромомолібденованадієві	0,15	900
	0,25	880
	0,45	870

Перед проведенням експерименту попередньо налагоджують установку (див. рис. 11.2, а) на холодному зразку. При цьому регулюють висоту стовпа води, що подається із бака 2 через сопло 5 на торець зразка 4, який підвишений на штативі 3 з відповідною точністю його потрапляння на торець зразка. Струмінь води має

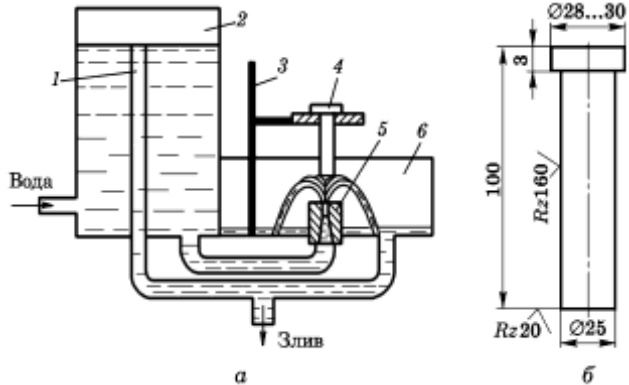


Рис. 11.2. Установка для торцевого гартування:
 а — при визначенні прогартуваності сталі; б — сталевий зразок; 1 — вимірвальна трубка для утворення постійного напору води; 2 — бак; 3 — штатив; 4 — зразок; 5 — сопло; 6 — зливний резервуар

охолоджувати тільки торець зразка і не змочувати його циліндричну поверхню. Зразок 4 витримують під струменем води до повного охолодження (не менше, ніж 10 *хв*). Вимірювання твердості загартованих зразків на твердомірі Роквелла починають від торця в осьовому напрямку через кожні 1,5 мм (16 вимірювань), а потім через 3 мм. Закінчують вимірювання, якщо твердість не змінюється.

Прогартовуваність визначають відстанню (у міліметрах) від торця до напів-мартенситної зони. Для практичного оцінювання прогартовуваності сталей застосовують критичний діаметр D_k .

Критичний діаметр сталі — це максимальний діаметр прутка, який прогартовується наскрізь у певному охолоджувальному середовищі (рис. 11.4).

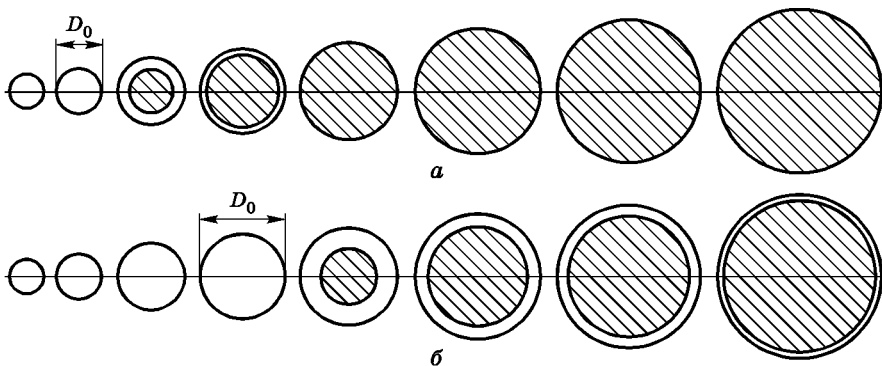


Рис. 11.4. Прогартовуваність круглого прокату різних розмірів при охолодженні в оливі - *а* і воді - *б* (заштрихована зона — незагартована)

Вуглецеві сталі при гартуванні з нагріванням до прийнятих температур і при охолодженні у воді прогартовуються наскрізь у деталях перерізом до 15 мм.

Леговані сталі з високим вмістом легуючих елементів можуть прогартовуватися в перерізі до 200...300 мм при менш інтенсивному охолодженні (олива, повітря).

Щоб критичний діаметр не залежав від охолоджувального середовища, вводять поняття «ідеальний критичний діаметр» D_∞ . Він відповідає максимальному перерізу прутка, який прогартовується наскрізь в ідеальному охолоджувальному середовищі з нескінченно великою швидкістю охолодження ($\alpha = \infty$).

Користуючись номограмою (див. рис. 11.4), з досить високою точністю можна визначити прогартовуваність для виробів простої геометричної форми (циліндр, куля, квадрат, паралелепіпед), якщо відомий один із критичних діаметрів залежно від охолоджувального середовища.

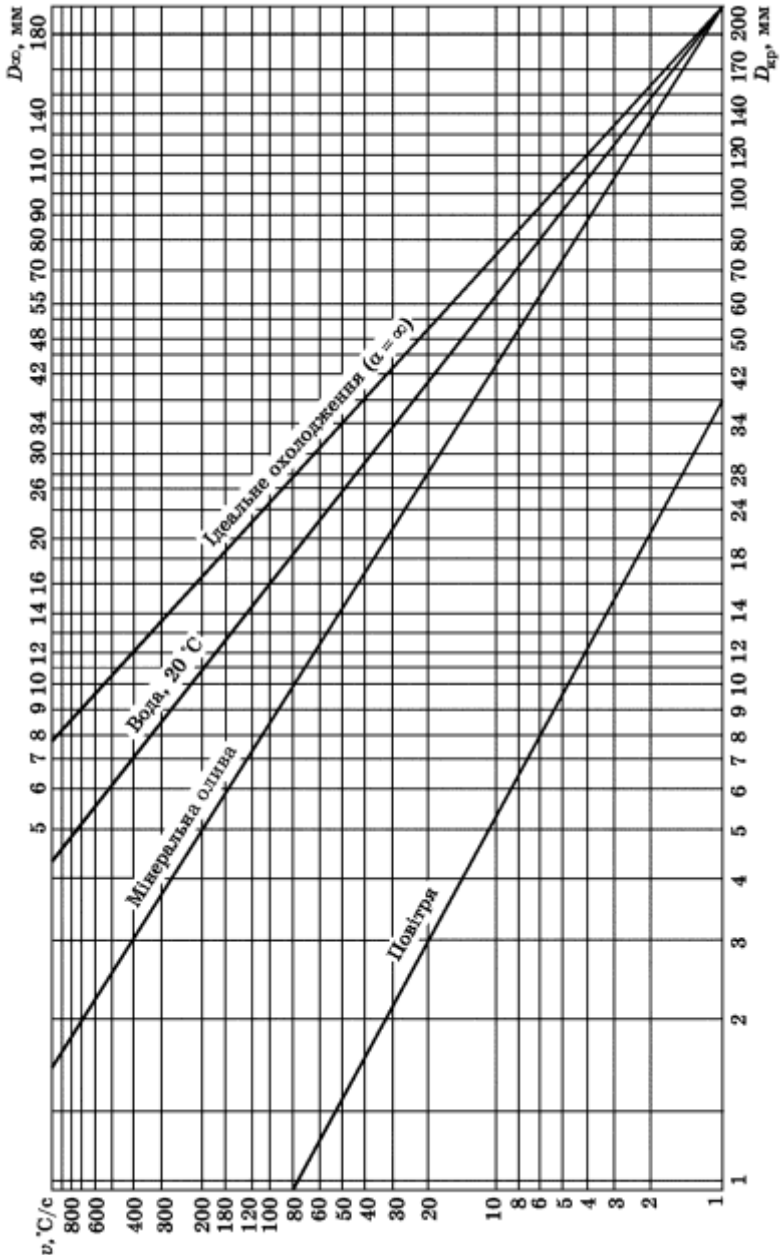


Рис. 11.4. Номограма для визначення прогартованості сталі

Розділ 1

Наприклад, нам відомий ідеальний критичний діаметр, який становить 100 мм. Для визначення реальних критичних діаметрів при охолодженні у воді $D_{кр.в}$, в оливі $D_{кр.о}$ чи на повітрі $D_{кр.п}$ із точки 100 мм, що лежить на верхній шкалі абсцис, спочатку опустити перпендикуляр на лінію ідеального охолодження ($\alpha = \infty$), а потім із точки перетину провести вліво горизонтальну пряму до перетину з нахиленими лініями «вода, 20°C», «мінеральна олива» і «повітря». Опустивши із точок перетину перпендикуляр на нижню шкалу абсцис, знайти значення критичних діаметрів сталі залежно від охолоджувального середовища. У цьому разі вони матимуть такі значення: $D_{кр.в} = 90$ мм; $D_{кр.о} = 70$ мм; $D_{кр.п} = 10$ мм.

Послідовність виконання роботи

1. Зашліфувати зразки для дослідження з двох діаметрально-протилежних сторін і заміряти їх твердість.

2. Нагріти зразки до температур аустенізації з подальшим гартуванням стандартних зразків із сталей 40, 40X і У8А.

3. Користуючись табл. 11.1, визначити твердість напівмартенситної зони для заданих марок сталей.

4. Визначити прогартуваність досліджуваних сталей, побудувавши криву прогартуваності, як це показано на рис. 11.5.

5. Користуючись номограмою (рис. 11.4), визначити критичні діаметри при охолодженні сталі у воді $D_{кр.в}$, оливі $D_{кр.о}$ і на повітрі $D_{кр.п}$.

6. Результати досліджень занести в протокол (табл. 11.3).

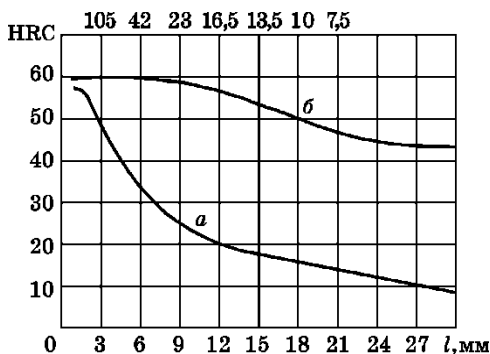


Рис. 11.5. Зміна твердості зразка після трієвого гартування сталей:

а — з низькою прогартуваністю;

б — з високою прогартуваністю

Протокол визначення прогартуваності сталей

Таблиця 11.3.

Марка сталі	Відстань від загартованого торця, мм	Середнє значення твердості, HRC	Твердість напівмартенситної зони, HRC	Прогартуваність сталі, мм	Критичний діаметр при гартуванні, мм		
					$D_{кр.в}$	$D_{кр.о}$	$D_{кр.п}$

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Провести експеримент з різними сталями для визначення їх прогартовуваності.
4. Результати експерименту занести в протокол (табл. 11.26).
5. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Що таке загартованість і прогартовуваність сталей? 2. Що розуміють під глибиною загартованості сталі? 3. Чинники, які визначають прогартовуваність сталі. 4. Як визначають прогартовуваність сталей методом торцевого гартування? 5. Що таке критичний діаметр сталі? Його значення для різних сталей.

Лабораторна робота 12

Мікроструктура легованих сталей

Мета роботи: вивчити системи класифікації та маркування легованих сталей; вивчити мікроструктури легованих сталей феритного, перлітного, карбідного, аустенітного та мартенситного класів; установити взаємозв'язок між їх структурою і властивостями залежно від виду термічної обробки.

Для виконання роботи потрібні: металографічні мікроскопи, колекція мікрошліфів, альбоми та стенди з фотографіями мікроструктур легованих сталей, олівці, лінійки.

Теоретичні відомості

Легованими (від латинського слова «legos»-складний) називають сталі, в які з метою отримання заданого рівня експлуатаційних і технологічних властивостей спеціально вводять легуючі елементи. Леговані сталі можна класифікувати за такими основними ознаками: хімічним складом; кількістю легуючих елементів; структурою після відпалювання і нормалізації; призначенням.

Залежно від виду легуючих елементів сталі називають хромистими, хромо-нікелевими, кремнієві тощо, тобто такими, які містять відповідно хром, хром і нікель або кремній. Крім того леговані сталі класифікуються, як і вуглецеві за якістю, призначенням та за такими основними ознаками: кількістю легуючих елементів, структурою в рівноважному стані та після охолодження на повітрі,

За якістю легованих сталі поділяються на:

- якісні з вмістом сірки та фосфору $\leq 0,40\%$ кожного;
- високоякісні з вмістом S та $P \leq 0,30\%$ (в кінці марки сталі ставиться літера А);

Розділ 1

- особливо високої якості з вмістом $P \leq 0,003$, а $S \leq 0,015\%$ (позначаються літерою «Ш», яку ставлять у кінці її марки).

За призначенням сталі поділяють на конструкційні, інструментальні та сталі з особливими властивостями.

До конструкційних сталей відносяться будівельні, машинобудівельні, цементувальні з малою масовою часткою вуглецю ($\leq 0,25\%C$) для проведення хіміко-термічної обробки, поліпшувальні, ресорно-пружинні, шарикопідшипникові та високоміцні.

Інструментальні сталі поділяють на вуглецеві, леговані, швидкорізальні та штампові.

До сталей з особливими властивостями належать нержавіючі, зносостійкі, жароміцні, жаростійкі, теплостійкі, з особливими магнітними властивостями та ін.

За вмістом легуючих елементів леговані сталі поділяють на низьколеговані, що містять до 2,5% легуючих елементів, середньолеговані - вміст легуючих елементів від 2,5 до 10%, високолеговані з масовою часткою легуючих елементів понад 10%.

За структурою у рівноважному стані на:

- доевтектоїдні з вмістом вуглецю від 0,02 до 0,8%, структура яких складається із надлишкового фериту і перліту;

- евтектоїдні з вмістом вуглецю 0,8%;

- заевтектоїдні з вмістом вуглецю більше 0,8%, у структурі яких крім перліту є надлишкові (вторинні) карбіди;

- ледебуритні, що мають у структурі надлишкові карбіди, які виділяються безпосередньо із рідкої фази під час кристалізації сталі; при цьому надлишкові карбіди утворюють з аустенітом механічну суміш (евтектику), що носить назву «ледебурит».

За структурою після аустенітизації та охолодження на спокійному повітрі леговані сталі поділяються:

- феритні, що містять феритоутворюючі елементи - Cr , Si , Al до 25% (з вмістом вуглецю до 0,4%);

- перлітні (сорбітні, трооститні) з вмістом вуглецю від 0,12 до 0,60% та сумарної частки легуючих елементів в межах до 5-7%;

- мартенситні з сумарною кількістю легуючих елементів у межах 10-15%;

- аустенітні з вмістом вуглецю від 0,1 до 1% та високою сумарною кількістю легуючих елементів у межах від 10 до 40%.

Легуючі елементи можуть міститися у сталі у вільному стані, розчинятися у фериті й цементиті, утворювати з залізом інтерметалідні сполуки, а з вуглецем — карбіди.

Легуючі елементи, які розчиняються у фериті, впливають на алотропні перетворення заліза, підвищуючи або знижуючи критичні точки A_3 і A_4 (рис. 12.1), таким чином розширюючи або звужуючи зони існування аустеніту і фериту. Зокрема, Mn, Ni, Pt знижують критичну точку A_3 і підвищують точку A_4 , розширюючи γ -зону від кімнатної до температури плавлення за певної масової частки цих елементів у сталі (рис. 12.1, а). Такі сталі називають *аустенітними*. Сталі цього класу містять до 20...30% легуючих елементів. Це зносостійкі, немагнітні, деякі види нержавіючих, жаростійких сталей (110Г13Л, 08Х18Н10Т, 03Х13АГ19, 08Х23Н18).

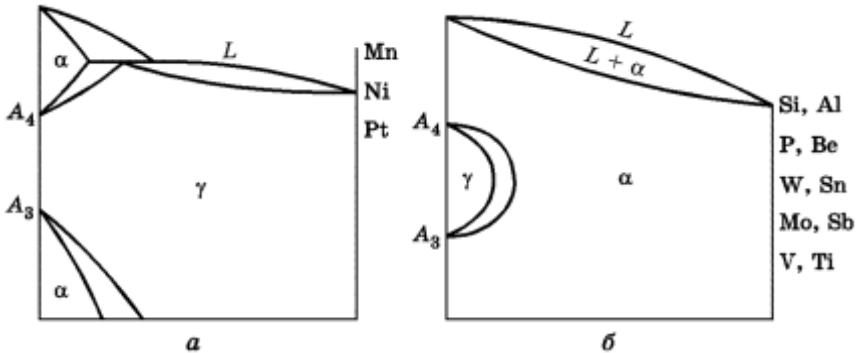


Рис. 12.1. Вплив легуючих елементів на фазові перетворення сталей:
а — аустенітних; б — феритних

Усі інші елементи Si, Al, P, Be, W, Sn, Mo, Sb, V, Ti, навпаки, знижують критичну точку A_4 і підвищують точку A_3 , розширюючи α -зону (рис. 12.1, б). Сталі такої структури називають *феритними*.

Ці сталі не загартовуються, оскільки при нагріванні й охолодженні не відбувається перетворення $\alpha \leftrightarrow \gamma$. Це сталі марок 12Х17, 08Х17Т, 15Х25Т, 15Х28. Вони є корозійностійкими. У відпаленому стані структура цих сталей складається з легованого фериту і невеликої кількості карбідів.

Маркування легованих сталей

Леговані сталі маркують літерами, що вказують на вид легуючих елементів та цифрами, які визначають їх кількість у сплаві. При цьому цифра, що стоїть на початку марки легової сталі вказує на вміст вуглецю у сплаві у сотих частках відсотка для конструкційних і в десятих частках відсотка – для інструментальних сталей.

Цифри, що стоять після літер, вказують на вміст даного легуючого елементу в сплаві в цілих частках відсотка. Якщо після літери цифра відсутня, то вміст цього легуючого елементу в сплаві становить 1%, або навіть менше.

Розділ 1

Позначення легуючих елементів в марках сталі:

А-азот (N ₂)	П – фосфор (P)
Б-ніобій (Nb)	Р- бор (B)
В-вольфрам (W)	С-кремній (Si)
Г-марганець (Mn)	Т- титан (Ti)
Д – мідь (Cu)	Х- хром (Cr)
Є-селен (Se)	Ф- ванадій (V)
К-кобальт (Co)	Ц- цирконій (Zr)
Л-берилій (Be)	Ю- алюміній (Al)
М-молібден (Mo)	Ч- рідкоземельні метали (РЗМ)
Н- нікель (Ni)	

Приклади розшифрування марок сталі.

Конструкційна сталь **12ХНЗА**. Цифра, що стоїть на початку марки сталі, вказує на вміст вуглецю в сплаві, який становить 0,12%. Літери «Х» і «Н» вказують на те, що сталь легована хромом(в межах 1%) та нікелем(цифра 3 вказує на те, що нікелю в сталі 3%) і носить назву хромонікелевої.

Інструментальна сталь **9ХС** - містить $C=0,9\%$, $Cr\approx 1\%$ та $Si\approx 1\%$.

Сталі, що мають спеціальне призначення мають особливості маркування.

Автоматні сталі виробляють спеціально на верстатах автоматах і тому мають покращену оброблюваність різанням. З цієї метою їх спеціально легують сіркою (0,15-0,30%) і фосфором (0,05-0,15%). Крім цього, ці сталі можуть містити свинець або селен.

Автоматні сталі маркують літерою «А», яку ставлять на початку марки, та цифрами, що вказують на вміст вуглецю у сплаві в сотих частках відсотка. Це сталі **A11, A12, A20, AC30, A30Г, A35E**. Літери «Г», «С» та «Е» - це відповідно види легуючих елементів, тобто марганець, свинець та селен. Із автоматних сталей виготовляють невідповідальні деталі.

Приклад. Сталь **A35E**. Літера «А» свідчить, що сталь належить до автоматних. Цифра «35» означає, що вміст вуглецю у сплаві становить 0,35%, літера «Е» вказує, що легуючим елементом сталі є селен.

Швидкорізальні сталі маркують літерою «Р», що означає «швидкий» від французького «rapid». Цифра, що стоїть після літери «Р», вказує на вміст вольфраму у сплаві в цілих частках відсотка. Якщо сталь містить молібден, ванадій і кобальт, то ці елементи відповідно позначаються літерами «М», «Ф» і «К». Їх кількість у сплаві в цілих частках відсотків відповідає цифрам, що стоять після цих літер.

Приклади. Сталь **P6M5**. Літера «Р» означає, що сталь швидкорізальна, цифра «6», що стоїть після літери «Р», вказує на вміст вольфраму в сталі, який становить 6%, літера «М» означає, що сталь легована молібденом, а його кількість у сплаві складає 5%. Сталь **P10K5Ф5**. Швидкорізальна сталь з вмістом вольф-

раму 10%, кобальту 5% і ванадію 5%. На початку марки сталі цифра не стоїть, це значить, що вміст в ній вуглецю в межах 1%.

Швидкорізальні сталі належать до інструментальних. Із них виготовляють свердла, фрези, розвертки, зенкери, прошивки, протяжки, різці, пили тощо.

Шарикопідшипникові сталі маркують літерами «ШХ», які розшифровуються як сталь шарикопідшипникова хромиста. Цифри, які знаходяться після літер «ШХ», визначають вміст хрому у сплаві у десятих частинах відсотка. Сталь **ШХ15**. Літери «ШХ» означають, що сталь є шарикопідшипниковою, цифра «15» вказує, що вміст хрому в сталі становить 1,5%, вміст вуглецю в межах 1%.

Електротехнічні магнітом'які і магнітотверді сталі

Розрізняють електротехнічні магнітом'які низьковуглецеві нелеговані і магнітом'які низьковуглецеві леговані сталі. Вони, в свою чергу, за видом обробки поділяються на гарячо- та холоднокатані.

Магнітом'які низьковуглецеві нелеговані електротехнічні сталі маркують п'ятьма цифрами.

Перша цифра «1» або «2» вказує на вид обробки сталі («1» означає, що сталь гарячекатана, цифра «2» свідчить, що сталь холоднокатана і калібрована. Друга цифра – це вміст кремнію в сталі («0» - кремнію до 0,4% ; «1» - кремнію до 0,8%. Третя цифра є основною нормативною характеристикою сталі (коерцитивна сила), яку умовно позначають цифрою «8»). Останні четверта і п'ята цифри – це числове значення коерцитивної сили в розімкнутому колі, *А/м*.

Приклад - **Сталь 11895**. (перша цифра «1» означає, що сталь є гарячекатаною, друга цифра «1» свідчить, що вміст кремнію в сталі не перевищує 0,8%, «8» - нормативна характеристика сталі, якою є коерцитивна сила, цифри «95» є числовим значенням коерцитивної сили, яка дорівнює 95 *А/м*).

Магнітом'які низьковуглецеві леговані електротехнічні сталі маркують чотирма цифрами.

Перша цифра – це вид прокатки і структурний стан сталі. За видом прокатки і структурним станом ці сталі поділяються на: «1»- гарячекатана ізотропна; «2» - холоднокатана ізотропна; «3» -холоднокатана з ребровою текстурою. Друга цифра – це масова частка кремнію в сталі. За вмістом кремнію розрізняють сталі : «1» - Si від 0,4 до 0,8%; «2» - Si від 0,8 до 1,8%; «3» - Si від 1,8 до 2,8%; «4» - Si від 2,8 до 4,8%. Третя цифра – це основна нормована характеристика, яка вказує на питомі втрати (Р) сталі залежно від величини магнітної індукції (*Tл*) і частоти струму (*Гц*). Четверта цифра – це порядковий номер сталі.

Приклад - **Сталь 1213** (перша цифра «1» свідчить, що сталь гарячекатана і є ізотропною, друга цифра «2» - це вміст кремнію в сталі, який знаходиться в межах від 0,8 до 1,8%, третя цифра «1» - це основна нормативна характеристика сталі, четверта цифра «3» - це порядковий номер сталі.

Розділ 1

Із електротехнічних магнітом'яких сталей виготовляють осердя реле, генераторів, трансформаторів, магнітопроводів електричних машин і апаратури змінного та постійного струму.

Магнітотверді сталі. Для їх маркування використовують літеру «Е». Із магнітотвердих сталей виготовляють постійні магніти, які повинні зберігати стан намагнічуваності довгий час.

Приклад. Сталь **ЕХ6К5**. Літера «Е» означає, що сталь магнітотверда. Літери «Х» і «К» та цифри відповідно після них «6» і «5» вказують на вид легуючих елементів та їх вміст у сплаві $Cr=6\%$ і $Co=5\%$.

Мікроструктура легованих сталей

Сталь **конструкційна (перлітного класу) поліпшена**, наприклад сталь 45ХН (0,41...0,49% C ; 0,50...0,80% Mn ; 0,17...0,37% Si ; 0,45...0,75% Cr ; 1,00...1,40% Ni), яка підлягає гартуванню за температури аустенізації 815...840°C з охолодженням в оліві й наступним відпуском за 480...530°C на сорбіт (рис. 12.2). Після поліпшення сталь 45ХН має такі механічні властивості: $\sigma_{0,2}=980$ МПа, $\sigma_g=1140$ МПа, $\delta=15\%$, $\psi=52\%$, 310 НВ. Із неї виготовляють колінчасті, розподільні вали, шатуни, шестерні, шпинделі, муфти, болти та інші відповідальні деталі, які працюють в умовах динамічних навантажень.

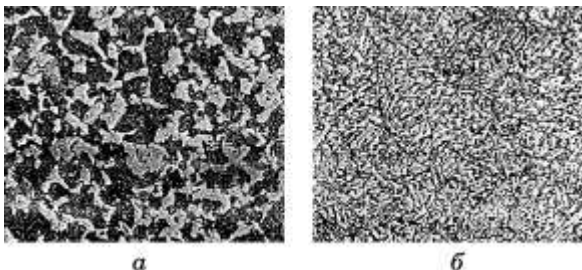


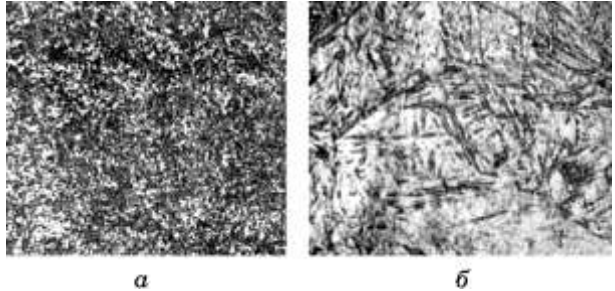
Рис. 12.1. Мікроструктура сталі 45ХН:

а — після відпалювання;
б — після гартування і високого відпуску

Сталь 60С2А (рис. 12.3, *а*) конструкційна ресорно-пружинна (0,58...0,63% C ; 0,60...0,90% Mn ; 1,6...2,0% Si), яка підлягає гартуванню за температури аустенізації 850...860°C при охолодженні в оліві і з наступним відпуском за 380...420°C. Після термічної обробки сталь 60С2А набуває таких механічних властивостей: $\sigma_{0,2}=1470$ МПа, $\sigma_g=1670$ МПа, $\delta=39\%$, $\psi=52\%$, 425 НВ.

Із такої сталі виготовляють важконавантажені пружини, торсійні вали, пружинні кільця, цанги, фрикційні диски, шайби, гровери та інші деталі, які впродовж експлуатації мають зберігати високі пружні властивості.

Рис. 12.3.
Мікроструктура
конструкційних сталей:
a — 60С2А; *б* — ШХ15СГ



Сталь ШХ15СГ (рис. 12.3, *б*) шарикопідшипникова (0,95...1,05% С; 0,2...0,4% Мn; 0,17...0,37% Si; 1,30...1,65% Cr). Термічна обробка: гартування від температури 830...840°C з охолодженням в оливі, відпуск 150°C. Структура — низьковідпущений мартенсит і карбіди хрому. Механічні властивості після термічної обробки: $\sigma_{0,2} = 1670$ МПа, $\sigma_b = 2160$ МПа, 58...64 HRC. Із цієї сталі виготовляють ролики та кульки діаметром більше 50 мм, кільця підшипників з товщиною стінки більше 20 мм.

Сталь Р18 (рис. 12.4) швидкорізальна, інструментальна, карбідного класу (0,8...0,9% С; $\leq 0,5\%$ Si, Мn; 3,8...4,4 % Cr; 17,0...18,5% W; 1,0...1,4% V). Мікроструктура литої сталі Р18 складається із ледебуритної евтектики (рис. 12.4, *а*).

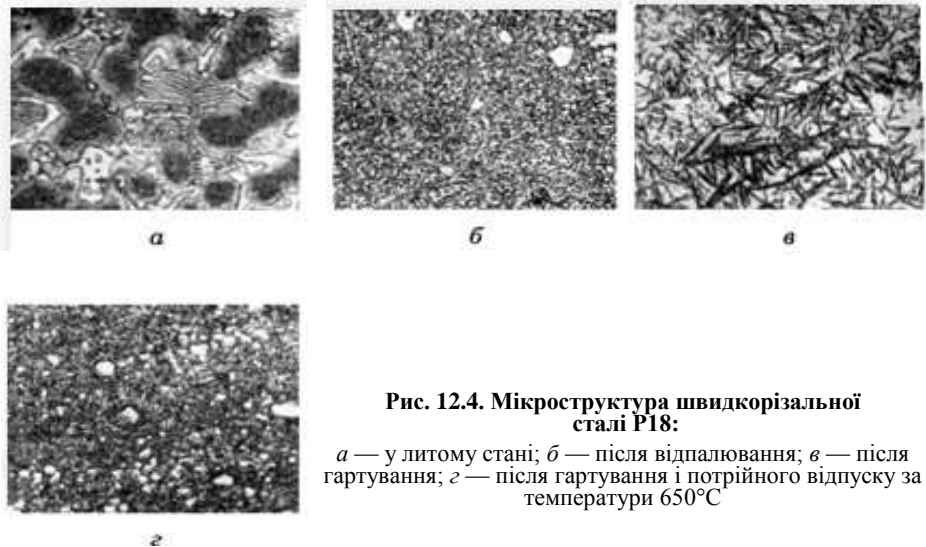


Рис. 12.4. Мікроструктура швидкорізальної сталі Р18:

a — у литому стані; *б* — після відпалювання; *в* — після гартування; *г* — після гартування і потрійного відпуску за температури 650°C

Розділ 1

У процесі пластичної деформації зливка із сталі P18 руйнується дендритна структура, в результаті чого мікроструктура сталі P18 складається із сорбіту, аустеніту і карбідів (рис. 12.4, б). Після гартування утворюється мартенситно-аустенітна структура (рис. 12.4, в). Після гартування з відпуском структура сталі P18 складається з голчастого мартенситу, карбідів і 2...5% залишкового аустеніту (рис. 12.4, з).

Механічні властивості після термічної обробки: $\sigma_g = 1670$ МПа, 64...66HRC; червоностійкість 620°C. Цю сталь використовують для виготовлення різців, свердл, фрез, розверток, зенкерів, мітчиків, протяжок для оброблення конструкційних сталей.

Сталь 110Г13Л (рис. 12.5, а) зносостійка, аустенітного класу (0,9...1,4% С; 0,8...1,0% Si; 11,5...15,0% Mn). Використовують її в литому стані. Термічна обробка полягає у нагріванні до температури аустенітизації 1050...1100°C з охолодженням у воді. Структура загартованої сталі — аустеніт і карбіди, які утворюються на межі зерен аустеніту.

За низької твердості 180...200 НВ сталь 110Г13Л має високу зносостійкість при терті в умовах високого контактного навантаження. Це пояснюється підвищеною здатністю сталі до наклепування. Із цієї сталі виготовляють щочки і конуси каменедробарок, ланки гусениць тракторів, зуби ковшів екскаваторів, молотки кормодробарок та інші деталі, які повинні мати високу зносостійкість в умовах експлуатації під дією статичних і високих динамічних навантажень.

Сталь X18H9T (рис. 12.5, б) аустенітного класу (0,12% С; 17,0...19,0% Cr; 8,5...9,5% Ni; 0,5...0,8% Ti), має високу корозійну стійкість, жароміцність. У рівноважному стані ця сталь має структуру аустеніту і карбідів хрому.

Термічна обробка сталі X18H9T полягає в гартуванні від температури аустенітизації 1050...1100°C з охолодженням у воді. Таку температуру нагрівання сталі при гартуванні беруть з метою повного розчинення карбідів хрому в аустеніті та збереженні однофазної гомогенної структури після термічного оброблення. Після гартування така сталь має структуру аустеніту з лініями зсуву.

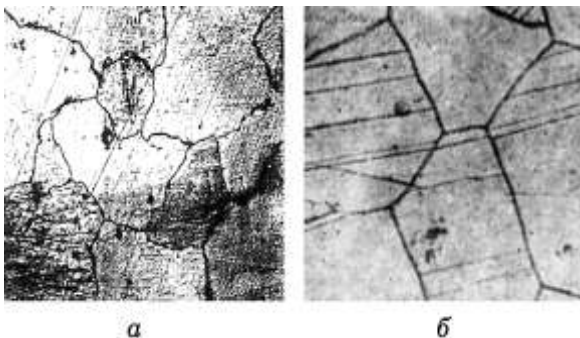


Рис. 12.5. Мікроструктура сталей:
а — 110Г13Л; б — X18H9Т

При випробуваннях на тривалу міцність за температури 600°C і тривалості випробувань 10000 год сталь X18H9T має такі механічні властивості: границя повзучості 74...78 МПа, границя міцності 132...167 МПа.

Із цієї сталі виготовляють труби, теплообмінники, деталі апаратів, які працюють за температур -196...+600°C під тиском, лопатки газових турбін, реактивних двигунів тощо.

Сталь 40X13 (рис. 12.6) корозійностійка мартенситного класу (0,36...0,45% C; $\leq 0,8\%$ Mn; 12,0...14,0% Cr). Термічна обробка - гартування від температури аустенітизації 1000...1050°C з охолодженням на повітрі або в оливі. Механічні властивості залежать від температури відпуску. Наприклад, за температури відпускання 530°C з витриманням 2 год і температури випробування 20°C: $\sigma_{0,2} = 1420$ МПа, $\sigma_{\delta} = 1670$ МПа, $\delta = 6\%$, $\psi = 34\%$, а при температурі випробувань 470°C: $\sigma_{0,2} = 960$ МПа, $\sigma_{\delta} = 1130$ МПа, $\delta = 12\%$, $\psi = 45\%$.

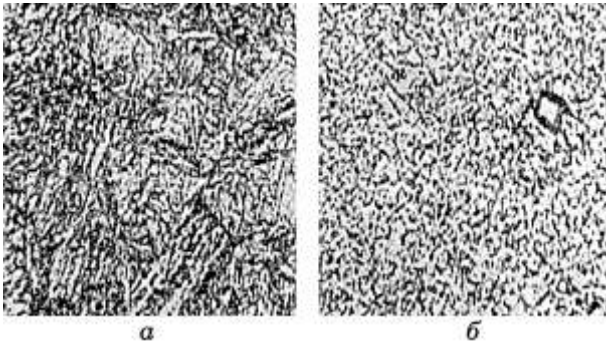


Рис. 12.6. Мікροструктура сталі 40X13:
а — після гартування;
б — після гартування і високого відпуску

Після аустенітизації і охолодження на повітрі або в оливі сталь 40X13 має структуру мартенситу (рис. 12.6, а), а після відпуску при 600...650°C — сорбіту (рис. 12.6, б). Із сталі 40X13 виготовляють різальний, вимірювальний інструмент, пружини, деталі, які працюють в агресивних середовищах за температури до 400...450°C, а також хірургічний інструмент.

Електротехнічну магнітом'яку сталь 1511 (0,01...0,02% C; 4,9...5,0% Si) випускають листами завтовшки від 0,1 до 1,0 мм зі структурою фериту (рис. 12.6, а). Сталь має високу магнітну проникність μ , низьку коерцитивну силу H_c , малі втрати на гістерезис при перемагнічуванні.

Щоб отримати високу магнітну проникність та мінімальну коерцитивну силу, сталь повинна бути чистою від домішок і краплень та мати гомогенну структуру (метал або твердий розчин). Магнітна проникність збільшується, якщо зерно фериту зростає.

Розділ 1

Як магнітом'який матеріал використовують низьковуглецеві (0,005...0,05% C) сталі, які легують кремнієм (0,8...4,8% Si), який утворює з залізом твердий розчин і збільшує розмір зерна фериту, внаслідок чого зростає магнітна проникність, знижується коерцитивна сила і втрачає гістерезис.

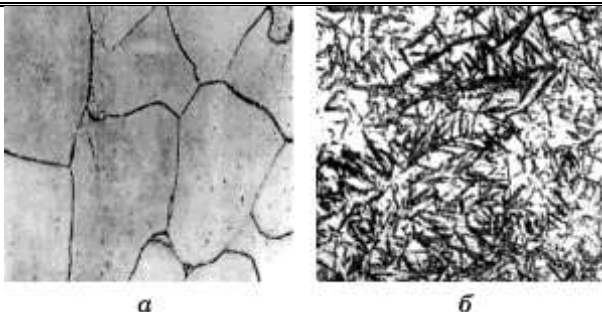


Рис. 12.7. Мікроструктура магнітних сталей:
a — магнітом'якої 1511; *б* — магнітотвердої EX3

Із магнітом'якої сталі виготовляють осердя динамо-машин, які працюють в умовах постійного магнітного потоку, магнітопроводи електричних генераторів, електродвигунів і силових трансформарів.

Електротехнічна магнітотверда сталь EX3 (0,9...1,1% C; 2,8...3,6% Cr). Термічна обробка сталі полягає в гартуванні з низьким відпуском, щоб забезпечити високу коерцитивну силу і залишкову магнітну індукцію B , тобто великі витрати на гістерезис (перемагнічування). Після гартування така сталь має коерцитивну силу $H = 5570...6366$ А/м і магнітну індукцію $B = 8,0...8,5$ Тл.

Хром у цій сталі збільшує її прогартуваність, що дає змогу виготовляти постійні магніти більших розмірів порівняно з магнітами із вуглецевих сталей. Їх структура — мартенсит (рис. 12.7, б). Таку сталь використовують для виготовлення постійних магнітів.

Послідовність виконання роботи

1. Замалювати, розглядаючи під мікроскопом, мікроструктуру легованих сталей.
2. Визначити, до якого класу належить досліджувана сталь.
3. Для кожної сталі вказати хімічний склад, режим термічної обробки, структурні складові, механічні властивості та призначення.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Вивчити та зобразити мікроструктуру легованих конструкційних сталей.
4. Визначити, до якого класу належить досліджувана сталь.
5. Для кожної сталі вказати масову частку хімічних елементів (у відсотках), режим термічної обробки, структурні складові, механічні властивості та призначення.
6. Результати досліджень занести в протокол (табл. 12.1).

Протокол вивчення мікроструктури легованих сталей

Таблиця 12.1.

Марка сталі	Клас сталі	Масова частка сталі, %	Режим термічної обробки	Збільшення	Рисунок мікроструктури сталі та її опис	Механічні властивості	Призначення

Контрольні запитання і завдання. 1. Які сталі називають легованими? 2. Класифікація легованих сталей за вмістом легуючих елементів, за структурою після відпалювання і нормалізації, за призначенням. 3. Як легуючі елементи впливають на фазові перетворення в сталях? 4. Розшифрувати марки сталей 45XH, 60C2A, ШХ15СГ, 9ХС, Р6М5. 5. Якими елементами легують магнітом'які, магнітотверді сталі?

Лабораторна робота 13

Розроблення технологічного процесу термічної обробки деталі

Мета роботи: опанувати методику розроблення технології термічної обробки деталі машини, враховуючи матеріал та умови її експлуатації.

Обладнання та матеріали: довідникова література з металознавства та машинобудування.

Теоретичні відомості

Надійність роботи машин визначається досконалістю їх конструкції та технології виготовлення, що передбачає використання відповідних конструкційних матеріалів, прогресивних технологічних процесів виготовлення і методів зміцнення деталей машин.

При цьому потрібно враховувати різноманітність умов експлуатації окремих деталей машин, основними з яких є процес спрацювання, дія хімічно активних середовищ, циклічних навантажень тощо.

Отже, розроблюваний технологічний процес має забезпечувати високу якість термічного оброблення деталі не тільки на завершальному етапі, а й передбачати попередні операції (нормалізація, відпалювання), які забезпечують оброблюваність заготовки різальним інструментом і відповідну структуру перед термічним обробленням.

Розділ 1

Якщо для вуглецевих і низьковуглецевих сталей достатньо провести попередню нормалізацію заготовок, то для високовуглецевих і легованих сталей потрібно попереднє відпалювання (для деяких легованих сталей застосовують ізотермічний відпал).

Для найбільш відповідальних деталей двигунів та ходової частини автомобілів та автобусів проводять гомогенізаційний відпал, з метою забезпечення ізотропії властивостей металу заготовки.

При виборі матеріалу заготовки необхідно враховувати умови роботи деталі:

- наявність динамічних та знакозмінних навантажень;
- тертя кочення або ковзання;
- наявність змащуючого середовища (подача оливи під тиском);
- відкриті передачі, які працюють при наявності абразиву.
- наявність агресивних середовищ та високих температур.

Деталі, що працюють в умовах тертя за наявності мастил та дії ударних навантажень (поршневі пальці, шестерні КЗП) виготовляють із низьковуглецевих сталей марок 12ХНЗА, 15ХГТ, 20Х, 25ХГТ, 20ХГР, 20ХНЗА. Після хіміко-термічної обробки (цементація, нітроцементація) твердість на поверхні деталі досягає 56...58 HRC з в'язкою серцевиною.

Високомодульні шестерні, плунжери, гільзи, вали, втулки, штоки, що також працюють в умовах тертя за наявності мастил та знакозмінних навантажень виготовляють із середньовуглецевих легованих сталей марок 38ХМЮА, 60, 50Г2, 40ХН2МА, 45ХН, 30ХГТ, які після поверхневого гартування мають твердість поверхні 50...56 HRC з в'язкою серцевиною.

Для деталей з менш жорсткими навантаженнями використовують сталі 45, 38ХС, 50, 45ХН, які після термічної обробки – покращення мають твердість 38...45 HRC

До деталей, що працюють в умовах абразивного спрацювання належать лемеші плугів, сошники сівалок, лапи і диски культиваторів, зуби борін, ковші екскаваторів та ін.

Для забезпечення зносостійкості таких деталей потрібно максимально підняти їх твердість за рахунок гартування та низького відпуску. Для цих деталей використовують переважно середньовуглецеві (0,55...0,70% С), а також леговані (60С2, 65Г, 70Г) сталі. Після термічної обробки вони повинні мати твердість 50...56 HRC.

Для деталей, що працюють в умовах абразивного спрацювання та динамічних навантажень (ланки гусениць, зуби і ковші екскаваторів, залізничні стрілки), використовують леговану сталь аустенітного класу 110Г13Л. Таку сталь гартують з нагріванням до температури аустенітизації 1050...1100°С з наступним охолодженням у воді.

В умовах циклічних навантажень працюють пружини, ресори, для яких використовують середньовуглецеві сталі 65Г, 50ХФА, 60С2А, 70С2ХА, 60С2ХФА. Деталі з таких сталей піддають гартуванню з середнім відпуском (400...480°C) на твердість 35...45 HRC.

Шатуни, шатунні болти, гайки, вали, півосі автомобілів працюють в умовах знакозмінних навантажень. Такі деталі виготовляють із середньовуглецевих низьколегованих сталей 45Г, 40ХН, 45ХН, 38ХМА, які забезпечують підвищену міцність при втомі деталей. Вони підлягають гартуванню та високому відпуску (твердість 30...35 HRC).

Для деталей, що працюють в умовах сухого тертя ковзання (сегменти різального апарата, ножі і молотки подрібнювачів), використовують високовуглецеві сталі У7А, У8А, У9А та низьколеговані сталі (65Г, 60С2А). Після гартування з низьким відпуском вони мають твердість 55...61 HRC.

В умовах агресивних середовищ та високих температур працюють деталі сільськогосподарських машин (для внесення добрив, оприскувачів), клапани та колектори двигунів внутрішнього згорання. Для цього використовують корозійностійкі сталі (Х13, Х17 та ін.) і кольорові сплави (латуні, бронзи), сталі, леговані хромом, силіцієм, молібденом, ванадієм (40Х9С2, 40Х10С2М, 30ХН2МФА, 30Х3МФ).

Методика виконання роботи.

Використовуючи довідкову літературу, визначити умови роботи заданої деталі, що виготовлена з відповідної сталі і повинна мати потрібні властивості, які забезпечуються певним хімічним складом і структурою. Для цього слід обґрунтувати технологію термічного оброблення деталі з урахуванням дії легуючих елементів на критичні температури фазових перетворень.

Для вуглецевих сталей критичні точки A_{c1} , A_{c3} і A_{cm} визначають, користуючись діаграмами стану залізобуглецевих сплавів, а для легованих сталей — тільки довідниками. При цьому потрібно враховувати здатність сталі до гартування і прогартуваності, схильність до перегріву.

Вибираючи охолодну рідину при гартуванні, слід унеможливити підвищення внутрішніх напружень, які можуть спричинити жолоблення і тріщини в деталі.

Перед розробленням технологічного процесу зміцнення деталі студент отримує завдання, варіант якого наведено в табл. 13.1. У цій таблиці наведено назви деталей машин, марки сталей і технічні умови та твердість після кінцевого термічного оброблення.

Виходячи з технічних умов, студент користується довідковими матеріалами, визначає потрібні операції зміцнення.

Перелік варіантів завдань

Таблиця 13.1

Номер варіанта	Деталь	Марка сталі	Технічні умови на твердість
	Деталі автомобіля		
1 2	Колінчастий вал двигуна	40ХН2МА; 38ХГСА	52...58 HRC (поверхня) 200...280 HB (серцевина)
3 4	Пружина клапана двигуна	50ХФА; 60С2А	45...47 HRC 40...45 HRC
5 6	Ресора підвіски автомобіля	65Г; 60С2А	350...420 HB
7 8	Піввісь	50ХФА; 50	360...440 HB (серцевина) 50...55 HRC (поверхня)
9 10	Вал коробки передач	30ХГСА 25ХГНМ	360...410 HB 300...350 HB
11 12	Шестерня головної передачі	12ХН3А; 18ХГТ	55...58 HRC (поверхня) 210...260 HB (серцевина)
13 14	Шатун двигуна	38ХС; 40ХН2МА	310...380 HB 340...420 HB
15 16	Поршневий палець	12ХН3А 15Х	55...58 HRC (поверхня) 210...255 HB (серцевина)
17	Шатунний болт	45Г2	340...380 HB
18	Випускний клапан двигуна	40Х10С2М;	48...55 HRC
19	Кулька підшипника	ШХ9	62...64 HRC

Металознавство і термічна обробка металів

Продовження табл. 13.1

Номер варіанта	Деталь	Марка сталі	Технічні умови на твердість
	Деталі тракторів		
20	Вал заднього ведучого колеса	45ХН	340...380 НВ
21	Черв'як руля	20ХН3А	56...58 HRC (поверхня) 330...400 НВ (серцевина)
22	Шатун двигуна	40ХН	320...360 НВ
23	Поршневий палець	12ХН3А;	54...57 HRC (поверхня)
24		10	240...320 НВ (серцевина)
25	Ланка гусениці	110Г13Л	220...240 НВ
	Деталі сільськогосподарських машин		
26	Леміш	65Л	46...56 HRC (лезо) 240...300 НВ (тіло)
27	Стрілчаста лапа культиватора	65Г	46...52 HRC (лезо) 260...330 НВ (тіло)
28	Сегмент ножа різального апарата комбайна	У9А	50...55 HRC (лезо) 310...360 НВ (тіло)
29	Ніж кормодробарки	65Г	54...56 HRC
	Інструмент		
30	Зубило слюсарне	У7А	50...55 HRC
31	Напилек	У10А	52...58 HRC
32	Свердло	8Х3	52...55 HRC
33	Різець	Р9	56...60 HRC
34	Полотно ножівки	5ХНВ	46...52 HRC

При відпалюванні, нормалізації і гартуванні термін нагрівання визначають за емпіричною формулою:

$$\tau_{\text{н}} = K \frac{V}{F}, \quad (13.1)$$

де: $\tau_{\text{н}}$ — час нагрівання, хв;

V — об'єм деталі (заготовки), см³;

F — поверхня деталі (заготовки), см²;

K — коефіцієнт (сумарний фізичний чинник нагрівання) (табл. 13.2).

Значення коефіцієнта K для різних умов нагрівання

Таблиця 13.2.

Сталь	Температура нагрівання, °С	Нагрівальне середовище	K
Вуглецева	750...900	Повітря	40
Вуглецева, низьколегована	300...400	Повітря, соляна ванна	45 10
Середньолегована	750...900	Повітря, соляна ванна	45 13
Швидкорізальна	500...600	Повітря, соляна ванна	35 7
Швидкорізальна	800...900 1200...1300	Повітря, соляна ванна	10 5

Відношення V/F називають геометричним показником деталі (заготовки) W , який змінюється в межах 0,5...1,5 залежно від геометричної форми деталі (заготовки).

Різальний та вимірювальний інструмент при термічному обробленні бажано нагрівати в соляних ваннах, щоб уникнути окиснення і зневуглецювання їх поверхні.

У разі проведення цементації деталі потрібно враховувати вид цементації (в твердому, газоподібному, рідкому середовищі), що впливає на глибину і час цементації (табл. 13.3).

Тривалість цементації сталей залежно від глибини цементованого шару

Таблиця 13.3.

Карбюризатор					
Твердий		Газовий		Рідкий	
Глибина шару, мм	Тривалість процесу, год	Глибина шару, мм	Тривалість процесу, год	Глибина шару, мм	Тривалість процесу, год
0,4...0,7	4,5...5,5	0,4...0,7	0,4...0,7	0,5...0,6	2,0
0,6...0,9	5,5...6,5	0,6...0,9	1,5...3,0	1,0...1,5	6,0...7,0
0,8...1,2	6,2...10,0	0,8...1,2	2,0...4,0	1,3...1,6	10,0...12,0
1,0...1,4	8,0...11,5	1,0...1,4	3,0...5,0		
1,2...1,6	10,0...14,0	1,2...1,6	4,0...6,5		
1,4...1,8	11,5...16,0	1,4...1,8	5,0...8,0		
1,5...1,9	13,0...18,0	1,5...1,9	6,0...9,0		
1,6...2,0	14,0...19,0	1,6...2,0	7,0...10,0		

Після кінцевого зміцнення деталі описати її властивості і мікроструктуру.

Результати розроблення технологічного зміцнення деталі занести в протокол роботи (табл. 13.4).

Протокол розроблення технології зміцнення деталі

Таблиця 13.4.

Деталь	Марка сталі	Критичні точки сталі		Попередня термічна обробка	Кінцева термічна обробка	Структура сталі після зміцнення	Твердість деталі після зміцнення
		A_{c1}	A_{c3}				

Додаток 5. Типові режими термічної обробки сталей

Таблиця 13.5

Марка сталі	Термічна обробка виливків і поковок для покращення оброблення різанням		Зміцнююча термічна обробка	
	Вид	Твердість, HB	Вид	Твердість
20	Нормалізація 920...950°	<156	Цементація 930...950°C, гартування 790°C, вода, відпуск 200-220°C	HRC 56, HRC26(серц.)
15X	Нормалізація 940...980°	<156	Цементація 930...950°C, гартування 790°C, олива, відпуск 190°C	HRC 58, HRC28(серц.)
12ХН3А	Нормалізація 870...920°	<156	Цементація 930...950°C, гартування 820°C, олива, відпуск 160-200°C	HRC 57, HRC31(серц.)
18ХГТ	Нормалізація 900...950°	<174	Цементація 930...950°C, гартування 790°C, олива, відпуск 200°C	HRC 58, HRC34(серц.)
20ХН3А	Нормалізація 870...920°	<187	Цементація 930...950°C, гартування 800°C, олива, відпуск 200-220°C	HRC 57, HRC33(серц.)
20ХН2М	Відпал 900...950°	<187	Цементація 930...950°C, гартування 830°C, олива, відпуск 180-200°C	HRC 59, HRC34(серц.)
38ХГСА	Відпал 900...950°	~212	Гартування 880°C, олива, 400°C, 600°C	HB 412 HB 300
50	Нормалізація 850-870°	~223	Гартування 900°C, олива, відпуск 510...560°C, 560...600°C	HB 286-241 HB 235-192

38XC	Нормалізація 870-890°	~212	Гартування 880°C, олива, відпуск 400°C, 600°C,	HB 450 HB 320
38XMA	Відпал 900...950°	~228	Гартування 850°C, олива, відпуск 400°C, 600°C	HB 420 HB 300
40X	Відпал 890...910°C, Нормалізація 850°C	170 202	Гартування 850°C олива, відпуск 540°C, 650°C,	HB - 293 HB - 223
40XH	Нормалізація 840...860°C	<228	Гартування 840°C, олива, відпуск 480°C, 580...620°, 650°C ,	HB 302-341 HB 255-280 <HB 241
40XH2MA	Відпал 900...950°	~228	Гартування 850°C, олива, відпуск 400°C, 600°C,	HB 420 HB 275
40X10C2A	Ізотермічний відпал 1100°C, охолодження до 850°C, циклічна витримка в інте- рвалі 840-920°C на протязі 1,5-3 год., з подаль- шим охоло- дженням разом з піччю	~241	Гартування 850°C, олива, відпуск 400°C, 600°C, 800°C	HB 570 HB 400 HB 220
45Г	Нормалізація 820-840°C Відпал 775-800°C	~241 ~228	Гартування 780°C, олива, відпуск 450°C 550°C	HB 340 HB 302
50ХФА	Нормалізація 840-880°	~241	Гартування 860°C, олива, відпуск 480°C	HRC 44
45Г2	Відпал 770...800°C Відпал 830-850°C	~187 ~241	Гартування. 840°C, олива, відпуск 620°C	HB 302-228

65Г	Нормалізація 840-880°	~207	Гартування 840°C, олива, відпуск 400°C, 480°C, 520°C	HRC 46 HRC 44 HRC 42
60С2А	Нормалізація 840-880°	~207	Гартування 850°C, олива, відпуск 400°C, 480°C, 520°C	HRC 46 HRC 44 HRC 42
ШХ15	Ізотермічний відпал 900°C, охолодження до 700°C, циклічна витримка в інте- рвалі 680-740°C на протязі 1,5-2 год., охоло- дження з піччю.	<156	Гартування 840°C, олива, відпуск 160°C відпуск 200°C	HRC63-65 HRC61-63
110Г13Л	-		Гартування 1050°C, вода	HB 229
У7	Нормалізація 870...920°	~187	Гартування 800°C, вода, відпуск 200°C, 400°C	HRC61-63 HRC44-46
У8А	Нормалізація 850...880°	~200	Гартування 780°C, вода, відпуск 200°C, 400°C	HRC61-65 HRC44-48
У12А	Нормалізація 850...880°	~223	Гартування 790°C, вода, відпуск 200°C, 400°C	HRC62-64 HRC44-47
Р9	Відпал 900...950°	~205	Гартування 1230°C, олива, триразовий відпуск 540°C.	HRC66
Р6М5К5	Відпал 900...950°	~223	Гартування 1220°C, олива, триразовий відпуск 580°C	HRC68
Р18	Відпал 1000...1050°	~223	Гартування 1280°C, олива, триразовий відпуск 550°C.	HRC66

Послідовність виконання роботи

1. Описати умови роботи деталі (вид спрацювання, вплив високих температур, агресивність середовища, характер навантаження — динамічне, статичне чи циклічне тощо).
2. Обґрунтувати вибір сталі для виготовлення і зміцнення заданої деталі.
3. Охарактеризувати вплив легуючих елементів на фізико-механічні властивості сплаву, зазначивши для сталей критичні температури фазових перетворень.
4. Обґрунтувати та призначити послідовність проведення термічної обробки як заготовки, так і деталі з вибором потрібного технологічного обладнання.
5. Зобразити графічно розроблений технологічний процес в координатах «температура-час».
6. Описати і зобразити зміну структури сталі в процесі всіх видів термообробки.
7. Охарактеризувати отриману кінцеву мікроструктуру зміцненої деталі та проаналізувати отримані механічні властивості (твердість, міцність, ударну в'язкість).

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Графічно представити розроблений технологічний процес.
4. Зарисувати та описати структурні перетворення.
5. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. **1.** Послідовність розроблення технологічного процесу термічної обробки деталей. **2.** В яких умовах (навантаження, середовище, вид тертя) працюють деталі тракторів і сільськогосподарських машин? **3.** Які сталі та термообробку доцільно застосовувати для виготовлення робочих органів плугів, культиваторів, сівалок? **4.** Які сталі та термічну обробку доцільно використовувати для різального інструменту? **5.** Яку потрібно забезпечити мікроструктуру для деталей, що працюють в умовах втомних навантажень?

Лабораторна робота 14

Мікроструктура і властивості ливарних алюмінієвих сплавів

Мета роботи: Вивчити мікроструктуру, властивості та використання алюмінієвих ливарних сплавів. Встановити взаємозв'язок між хімічним складом, структурою і властивостями алюмінієвих ливарних сплавів.

Обладнання та матеріали: металографічні мікроскопи МИМ – 7, МИМ – 8, діаграми сплавів $Al - Si$, $Al - Cu$, $Al - Mn$, $Al - Mg$, стенди, альбоми, колекції мікрошліфів алюмінієвих ливарних сплавів, довідникова література.

Теоретичні відомості

Алюміній (лат. Aluminium) – хімічний елемент 3 групи періодичної системи Менделєєва. Метал сріблясто-білого кольору, легкий.

Датський вчений Х.К. Ерстед в 1925р., діючи амальгамою калія на безводний $AlCl_3$, а потім відганяючи ртуть, отримав відносно чистий алюміній. Перший промисловий спосіб виробництва алюмінію запропонував 1854 році французький хімік А.Є.Сент-Клер Девиль. Цей спосіб заключається у відновленні подвійного хлориду алюмінію і натрію Na_2AlCl_6 металевим натрієм. Подібним за кольором на срібло алюміній цінувався дуже дорого. З 1855 по 1890 роки було отримано лише 200 тон алюмінію. Сучасний спосіб отримання алюмінію електролізом криолітно-глиноземного розплаву був розроблений одночасно і незалежно один від одного Ч.Холлом у США і П.Еру у Франції.

По розповсюдженню алюміній займає третє місце після кисню і кремнію та перше місце серед металів. Його вміст в земній корі становить по масі 8,1%. Марки алюмінію наведені в табл.14.1

Марки алюмінію

Таблиця 14.1

Марка алюмінію	Al % (не менше)	Хімічний склад домішок % (не більше)			Марка алюмінію	Al % (не менше)	Хімічний склад домішок % (не більше)		
		Fe	Si	всього			Fe	Si	всього
Особливої чистоти					Технічної чистоти				
A999	99,999			0,001	A85	99,85	0,08	0,06	0,15
Високої чистоти					A8	99,8	0,12	0,10	0,20
A995	99,995	0,0015	0,0015	0,005	A7	99,7	0,16	0,16	0,30
A99	99,99	0,003	0,003	0,010	A6	99,6	0,25	0,20	0,40
A97	99,97	0,015	0,015	0,030	A5	99,5	0,30	0,30	0,50
A95	99,95	0,030	0,030	0,050	A0	99,0	0,50	0,50	1,0

Властивості алюмінію особливої чистоти:

- гратка - гранецентрований куб з параметром $a=4,0413 \text{ \AA}$;
- щільність при температурі 20°C – 2698,9 кг/м³;
- температура плавлення 660°C.

Алюміній має низьку міцністю ($\sigma_0 = 50-60 \text{ МПа}$) і твердістю (НВ=170МПа) та має високу пластичність ($\varphi = 50\%$).

При холодній деформації його міцність (σ_0) і твердість (НВ) відповідно зростають до 115 МПа і до 270 МПа, а пластичність (φ) знижується до 5%.

Розділ 1

Алюміній гарно полірується і має високу здатність відбиття променів (він відбиває до 90% падаючої світлової енергії). Маючи високу активність до кисню, алюміній на повітрі покривається тонкою, але дуже міцною плівкою окису Al_2O_3 , яка захищає метал від подальшого окислення і забезпечує його високі антикорозійні властивості.

Поєднання достатньо високого комплексу властивостей (мала щільність, висока тепло- і електропровідність, висока пластичність і корозійна стійкість) обумовлює його широке використання практично в усіх галузях техніки. Як конструкційний матеріал алюміній, особливо широко, використовується у вигляді сплавів з іншими металами.

Корозійна стійкість залежить від наявності домішок: чим чистіший алюміній, тим вища його корозійна стійкість.

До постійних домішок алюмінію належать залізо (в кількості 0,0015 - 1,1%), кремній (0,0015 - 1,0 %), мідь (0,001 - 0,05 %) і марганець.

Залізо практично не розчиняється в алюмінії. При малому вмісті заліза в структурі алюмінію з'являється евтектика $Al - Al_3Fe$. Вона містить лише 1,7 % заліза, тому типова структура евтектики не спостерігається. Структура складається з алюмінію і темних включень Al_3Fe у виді голок, що є надрізами в металі. Тому залізо знижує пластичність і корозійну стійкість алюмінію. У подвійних алюмінієвих сплавах залізо зустрічається у вигляді інтерметалідного з'єднання $FeAl_3$, яке погіршує корозійну стійкість, механічні властивості та оброблюваність алюмінію тиском. Тому залізо є шкідливою домішкою алюмінієвих сплавів, і тільки в деякі алюмінієві сплави спеціального призначення вводять підвищену кількість заліза (до 1,6%) як легуючого елементу.

Кремній з алюмінієм не утворює інтерметалідних з'єднань. Розчинність кремнію в алюмінії при нормальних умовах дуже мала, а тому в подвійних алюмінієвих сплавах кремній може зустрічатися в чистому вигляді.

Мідь у вказаних кількостях розчиняється в кристалічній ґратці алюмінію, утворюючи з ним твердий розчин заміщення. Розчиняючись в алюмінії, мідь підвищує міцність, не знижуючи корозійної стійкості.

Марганець - потрапляє в алюміній при його виплавленні з використанням відходів переробних цехів. Його вміст в первинному алюмінії мізерний. Марганець збільшує розмір зерна при відпалюванні алюмінію після деформації, що пояснюється його ліквідацією. Для зменшення цього дефекту в алюмінії вводять до 0,2 % титану. Вміст марганцю не повинен перевищувати 0,03%.

В електротехніці алюміній успішно замінює мідь при виробництві провідників, наприклад, у повітряних електролініях, високовольтних кабелях, в шинах розподільчих пристроїв, трансформаторах, тощо. Він у тричі легший за мідь. При поперечному перерізі, які забезпечує одну і ту ж електропровідність, маса дроту із алюмінію в два рази менша, ніж мідного.

Питома міцність, тобто відношення границі міцності до питомої ваги алюмінієвих сплавів, значно вище питомої міцності вуглецевих і легованих сталей.

В алюмінієвих резервуарах транспортують і зберігають рідкий азот, кисень, водень, азотну і оцтову кислоти, чисту воду, харчові олії.

В харчовій промисловості алюміній використовують для виготовлення установок, апаратів та для упаковки харчових продуктів у вигляді фольги.

Широко використовується алюміній в будівництві, транспорті, літакобудуванні, ракетобудуванні, кораблебудуванні, а також для виготовлення побутової техніки і спортивних знарядь.

В металургії алюміній (крім сплавів на його основі) одна із найбільш розповсюджених добавок у сплавах на основі *Cu, Mg, Ti, Ni, Zn* і *Fe*.

СПЛАВИ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ

Сплави на основі алюмінію з метою зміни структури і їх властивостей легують *Si, Cu, Mg, Mn, Zn, Ni, Ti, Sn, Zn, B, Be, Li*.

Ці елементи з алюмінієм утворюють обмежені α -тверді розчини та інтерметалідні сполуки типів Al_2Cu (Q – фаза), Mg_2Si (β – фаза), Al_3Mg_2 , Al_2CuMg (S – фаза), Al_2CuLi , $Al_2Mg_3Zn_3$ (T – фаза) та інші, які покращують механічні, фізичні, хімічні і технологічні властивості сплавів.

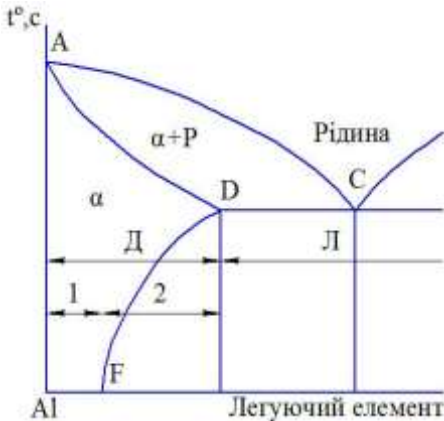


Рис.14.1 Діаграма стану сплавів “алюміній-легуючий елемент В”:

- Д-деформівні сплави; Л-ливарні сплави;
- 1- які не зміцнюються термообробкою;
- 2- які зміцнюються термообробкою

Всі алюмінієві сплави, залежно від технології виготовлення з них напівфабрикатів і деталей, діляться на три групи: ливарні; деформівні та спеціальні, які отримують методами порошкової металургії.

Згідно діаграми *Al – B* (рис. 14.1) сплави, які знаходяться лівіше точки *D*, при нагріванні переходять у однофазний твердий розчин α і є деформівними (область *D*).

В свою чергу, деформівні сплави поділяються на ті, які не зміцнюються (на діаграмі *Al – B* лежать лівіше точки *F*) і ті, що зміцнюються термічною обробкою (знаходяться між точками *F* і *D*). Сплави, що перебувають в області точок *D-C*, мають в структурі евтектику, яка покращує їх ливарні властивості, але в одночас погіршує пластичність.

Розділ 1

Ливарні сплави алюмінію маркують, ставлячи на початку марки літеру «А», що означає алюмінієвий сплав. Числа після літер К, М, Н, Мг вказують на середню масову частку (у %) відповідно кремнію, міді, нікелю і магнію. Якщо після літери число відсутнє, то масова частка цього легуючого елементу становить близько 1%.

Деформівні сплави, що не змінюються термічною обробкою отримують легуванням марганцем. Сплави алюмінію з марганцем маркують літерами АМц, а з магнієм – АМг. Цифри, що стоять в марці після цих літер вказують про середню масову частину легуючого елементу.

Для деформівних сплавів число у марці не вказує на вміст легуючих елементів, а є тільки його номером.

Поряд з цим використовують єдине числове маркування, що складається з чотирьох цифр. Перша цифра «1» в усіх марках сплавів вказує, що основою сплавів є алюміній. Друга цифра надає інформацію про головні легуючі елементи сплаву: «0» - технічний алюміній; «1» - система *Al- Cu- Mg*; «2» - системи *Al- Cu- Mn* та *Al- Li*; «3» - системи *Al- Mg- Si* та *Al- Mg- Si- Cu*; «4» - система *Al- Mn*; «5» - система *Al- Mg*; «9» - системи *Al- Mg- Zn* та *Al- Mg- Zn- Cu*.

Цифри 6, 7, і 8 призначені для маркування сплавів нових можливих систем.

Останні цифри у марках вказують на порядковий номер сплаву. Наприклад, 1510 - сплав системи *Al- Mg* за літеро-цифровим позначенням АМг1; 1160 – сплав системи *Al – Cu – Mg* (дуралюміній Д16).

Мікроструктура та використання ливарних алюмінієвих сплавів

Ливарні сплави, крім високих механічних характеристик, повинні мати певні технологічні властивості:

- достатню рідкотекучість, тобто добре заповнювати ливарні форми;
- не мати схильності до ліквіації (зональної, дендритної), тобто отримувати сплав однорідного хімічного складу за об'ємом всього зливку і перетином окремих дендритів;
- утворювати щільні безпористі відливки;
- не утворювати тріщин при кристалізації;
- мати малу усадку, тобто незначне зменшення об'єму при переході з рідкого стану в твердий і при подальшому охолодженні.

Ливарні властивості сплавів залежать від характеру кристалізації, яка визначається типом діаграми стану. Чим більший інтервал між температурами початку й кінця кристалізації, тим гірші ливарні властивості сплавів. Кращими ливарними властивостями володіють сплави евтектичного складу, а гіршими - тверді розчини, що кристалізуються в широкому інтервалі температур.

Ливарні алюмінієві сплави згідно ГОСТ 1583-89 поділяють на п'ять груп:

I - сплави на основі системи *Al-Si-Mg*;

Металознавство і термічна обробка металів

II - сплави на основі системи *Al-Si-Cu*;

III - сплави на основі системи *Al-Cu*;

IV - сплави на основі системи *Al- Mg*;

V - сплави на основі системи *Al* – інші компоненти.

За призначенням ливарні алюмінієві сплави умовно поділяють на три групи:

- сплави, які мають високу герметичність (АК8, АК12);

- жаростійкі сплави (АК5М, АМ5);

- корозійностійкі сплави (АМг10, АЦ4Мг).

В табл. 14.2 наведені деякі із ливарних алюмінієвих сплавів по групам.

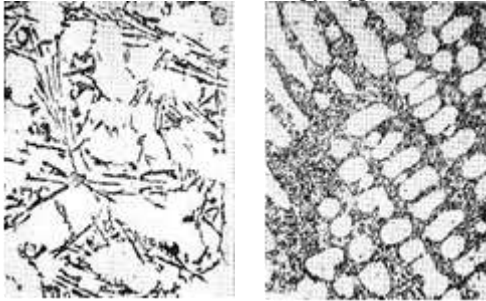
Ливарні алюмінієві сплави

Таблиця 14.2

Група сплаву	Марка сплаву	Масова частка компонентів, %					
		магнію	кремнію	марганцю	міді	титану	інші елементи
I	АК12	-	10-13	-	-	-	-
	АК7	0,20-0,55	6,0-8,0	0,2-0,6	-	-	-
	АК9	0,25-0,45	8-11	0,2-0,5	-	-	-
	АК10Су	0,15-0,55	9-11	0,6-0,6	-	-	Сурми 0,1-0,25
II	АК5М	0,4-0,65	4,5-5,5	-	1,0-1,5	-	-
	АК5М7	0,3-0,6	4,5-5,5	-	6,0-8,0	-	-
	АК8М	0,35-0,55	7,5-9	0,3-0,5	1,0-1,5	1,0-0,3	-
	АК12М	-	11-13	-	1,8-2,5	-	Заліза 0,6-0,9
III	АМ5	-	-	0,6-1,0	4,5-5,3	0,15-0,35	-
	АМ4,5Кд	-	-	0,35-0,8	4,5-5,1	0,15-0,35	Кадмію 0,07-0,25
IV	АМг10ч	9,5-10,5	-	-	Берилію 0,05-0,15	0,05-0,15	Цирконію 0,05-0,20
	АМг11	10,5-13	0,8-1,2	-	-	0,05-0,15	Берилію 0,03-0,07
	АМг7	6,0-8,0	0,5-1,0	0,25-0,60	-	-	-
V	АК9Ц6	0,35-0,55	8-10	0,1-0,6	0,3-1,5	Цинку 5,0-7,0	Заліза 0,3-1,0
	АЦ4Мг	1,55-2,05	-	0,2-0,5	-	Цинку 3,5-4,5	-

Розділ 1

Мікроструктура сплаву першої групи АК12. Алюмінієві ливарні сплави на основі системи $Al - Si$ з вмістом кремнію 6 -13 % називаються силумінами. Кремній не утворює хімічних з'єднань з алюмінієм. Розчинність алюмінію в кремнії дуже мала. Тому, можна вважати, що в системі $Al - Si$ присутній чистий кремній. Звичайний силумін містить 12-13% Si і за структурою є заевтектичним сплавом.



a

б

Рис.14.2 Мікроструктура силуміну АК12:

a - до модифікації; *б* – після модифікації.

Це приводить до подрібнення включень кремнію і структура складається зі світлих зерен α - твердого розчину і дрібнозернистої евтектики (рис 14.2, б).

Процес штучного регулювання розмірів і форми кристалів називається модифікація.

Отримана в процесі модифікації структура покращує механічні властивості сплавів.

Так, наприклад, межа міцності і відносне видовження сплаву АК12 (який містить 12% кремнію, решта алюміній) до модифікації становлять відповідно $\sigma_e = 140 \text{ МПа}$ і $\delta=3\%$, а після модифікації - $\sigma_e= 180 \text{ МПа}$ і $\delta=8\%$. Тобто міцність підвищилася на 30%, а пластичність підвищилася майже втричі.

Сплав АК12 термічний обробці не піддається.

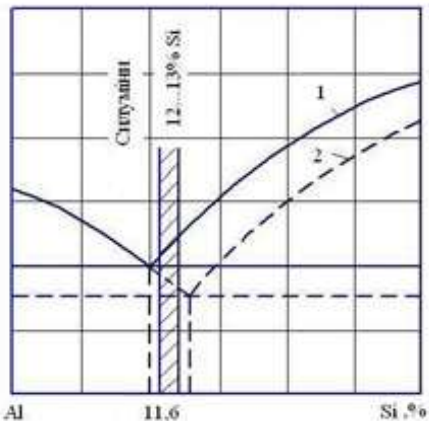


Рис.14.3 Діаграма стану сплавів $Al - Si$ та схема впливу модифікації на кристалізацію системи $Al - Si$:

1 – без модифікації; *2* з модифікацією

Мікроструктура сплаву другої групи АК5М. Основними структурними складовими в сплавах типу АК5М є кристали алюмінію і алюмінієво-кремніста евтектика, яка при наявності заліза може містити β -фазу (рис. 14.4).



Рис. 14.4 Мікроструктура сплаву АК5М

Із-за малої концентрації кремнію об'ємна доля кристалів алюмінію становить більше 70-80% від загального об'єму. Мідь і магній під час кристалізації сплаву утворюють фази Al_2Cu , Al_5Cu_2 , Mg_8Si_6 і Mg_2Si , які розміщуються на границі комірок у вигляді прожилок або сіток. Термічна обробка не викликає структурних змін, які можна виявити методами світлової мікроскопії, при цьому відбувається утворення зміцнюючих вторинних сполучень. Під час нагріву до температури гартування відбувається повне розчинення міді і магнію в алюмінію, а також подрібнення евтектичної сітки і сфероїдизація її ділянок.

Використовують сплав АК5М, в основному, в автотракторній промисловості і літакобудуванні для корпусних деталей, що працюють при температурах до 250°C, а також головки циліндрів двигунів повітряного охолодження, корпуси редукторів, деталі приладів, паливної апаратури.

Мікроструктура сплаву третьої групи АМ5. Мікроструктура сплаву АМ5 складається із світлих зерен α -фази (твердий обмежений розчин до 5,7% атомів міді у кристалічній ґратці алюмінію) і включень сполук Al_2Cu , $Al_{12}Mn_2Cu$, Al_3Ti (рис. 14.5).

В порівнянні з іншими ливарними сплавами, після гартування від температури 510-530°C та штучного старіння при температурі 150-175°C, вони досягають межі міцності до $\sigma_b = 330-430$ МПа. Крім того мають високу жаростійкість, добре обробляються різанням. Висока міцність сплаву обумовлена розчинністю міді в алюмінії.

До недоліку сплаву можна віднести крихкість, недостатню герметичність, схильність до утворення гарячих тріщин. Підвищена крихкість обумовлена виділенням на границях зерен грубих включень твердої і крихкої фази Al_2Cu .

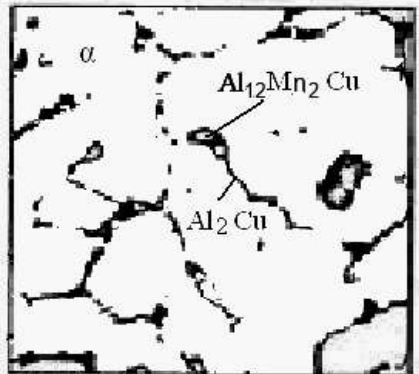


Рис. 14.5 Мікроструктура сплаву АМ5

Мікроструктура сплаву четвертої групи АМ_г10. Сплави алюмінію з магнієм називають магналіями. Вони, в порівнянні з іншими ливарними сплавами, володіють високою питомою міцністю та ударною в'язкістю, мають високу корозійну стійкість, гарно зварюються, добре обробляються різанням. Також ці сплави відрізняються високою вібростійкістю. Із збільшенням вмісту магнію в сплаві суттєво зростає його міцність. Так, кожен відсоток магнію підвищує межу міцності сплаву на 30МПа, а межу текучості на – 20МПа. Але при збільшенні вмісту магнію в сплаві понад 6% зменшується його корозійна стійкість. Крім того, для покращення характеристик міцності сплави системи Al-Mg легують хромом, марганцем, титаном, кремнієм, ванадієм.

При попаданні в сплави цієї системи міді і заліза зменшується їх корозійна стійкість і зварюваність. До недоліків сплавів цієї системи можна віднести малу герметичність і низькі ливарні властивості.

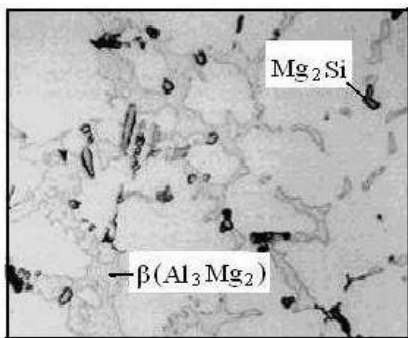


Рис. 14.6 Мікроструктура сплаву АМ_г10

Структура сплаву АМ_г10 складається із α -твердого розчину атомів магнію ($Al_{12}Mn_2Cu$, рис. 14.6) в кристалічній ґратці алюмінію (світлий фон) і незначної кількості β -фази (Al_3Mg_2), розташованої на границях твердого розчину (рис. 15.6). Фаза β (Al_3Mg_2) кришка і виділяється у формі великих скупчень, що утворюють суцільну сітку.

Для усунення гетерогенної структури сплав піддають гартуванню при температурі 430°C впродовж 15-20 год, а з метою зменшення залишкових напружень охолоджують в оливі, нагрітій до температури 40-100°C.

Старіє цей сплав при температурі більше 150°C. Старіння є шкідливим, оскільки після цього різко знижується пластичність і корозійна стійкість.

Зі сплаву АМ_г10 виготовляють деталі суден і літаків, які працюють в умовах підвищеної вологості.

Мікроструктура сплаву п'ятої групи АК7Ц9. Сплави п'ятої групи можуть містити кремнію до 6-10%, цинку до 0,1-12%. Структура сплаву АК7Ц9 мало відрізняється від структури звичайних силумінів. За аналогічного вмісту кремнію сплав АК7Ц9 володіє добрими технологічними властивостями, здатністю зберігати міцність, твердість і опір дії знакозмінних навантажень.

Зміцнюються сплави внаслідок легування твердого розчину цинком.

Деякі із сплавів із-за малої критичної швидкості гартування мають здатність самозагартуватися. Це дозволяє виготовляти із них великогабаритні деталі,

застосовувати зварювання, оскільки зварне з'єднання має такі ж властивості, як і литий виріб.

Виготовляють жароміцні деталі двигунів тракторів і автомобілів з робочою температурою до 300°C.

Порядок виконання роботи

1. Отримати мікрошліфи ливарних алюмінієвих сплавів п'яти груп.
2. Розглянути мікроструктуру мікрошліфів при збільшенні 100-500 раз.
3. Користуючись альбомами мікроструктур сплавів, визначити їх фазовий склад.
4. За марками сплавів вказати їх хімічний склад та класифікувати за групами.
5. Ознайомитись з властивостями та використанням ливарних алюмінієвих сплавів.
6. Результати досліджень занести в таблицю 14.3.

Результати проведених досліджень

Таблиця 14.3

Марка сплаву	Хімічний склад сплаву, %	Мікроструктура		Використання
		Схема	Назви складових	

Зміст звіту

1. Навести марки алюмінію і дати приклади його використання.
2. Вказати, на які групи поділяються алюмінієві сплави залежно від технології виготовлення із них виробів.
3. Описати правила маркування алюмінієвих ливарних сплавів.
4. Дати порівняльну характеристику властивостей та використання ливарних алюмінієвих сплавів за групами (1-2 приклади марок кожної із груп).
5. Замалювати мікроструктуру ливарних алюмінієвих сплавів з позначенням фазових складових.
6. Описати вплив особливостей структурної будови алюмінієвих ливарних сплавів на їх механічні, фізичні, хімічні і технологічні властивості.
9. Висновки по виконаній роботі.

Контрольні запитання

1. Як маркують алюміній високої і технічної чистоти? **2.** Якими властивостями володіє алюміній і де його використовують? **3.** Які постійні домішки містить алюміній і як вони впливають на його властивості? **4.** Як класифікують алюмінієві сплави залежно від технології виготовлення із них деталей? **5.** Якими влас-

Розділ 1

тивостями повинні володіти ливарні алюмінієві сплави? **6.** Як маркують ливарні алюмінієві сплави? **7.** На які групи за призначенням поділяють ливарні алюмінієві сплави? **8.** На які групи залежно від хімічного складу поділяють ливарні алюмінієві сплави? **9.** Які алюмінієві сплави називають силумінами? **10.** Які властивості і структура не модифікованого і модифікованого сплаву АК12? **11.** Які властивості та структура сплавів АК5М, АМ5, АМ_Г10 і АК7Ц9? **12.** Які деталі виготовляють із цих сплавів? **13.** На які групи поділяють спеціальні алюмінієві сплави?

Лабораторна робота 15

Мікроструктура і властивості деформівних алюмінієвих сплавів

Мета роботи: Ознайомитись із складом, властивостями та призначенням алюмінієвих деформівних сплавів. Встановити взаємозв'язок між хімічним складом, структурою і властивостями алюмінієвих деформівних сплавів.

Обладнання та матеріали: Металографічні мікроскопи, набори мікрошліфів і альбоми мікроструктур алюмінієвих деформівних сплавів, стенди, плакати, довідкова література.

Теоретичні відомості

За здатністю до зміцнення деформівні алюмінієві сплави поділяють на дві групи: ті, що не зміцнюються термічною обробкою, і ті, що зміцнюються.

До незміцнюваних термічною обробкою відносять сплави на основі систем *Al-Mn* (АМц) і *Al-Mg* (АМг), які наведені у табл. 15.1. При цьому марганець і магній збільшують міцність сплавів, але водночас зменшують їх пластичність. Значно кращий ефект можна досягнути шляхом деформування цих сплавів у холодному стані.

Залежно від ступеня деформації виробу із деформівних алюмінієвих сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою, поставляють у напівнагартованому (ступінь деформації $\varepsilon = 10-40\%$) або нагартованому (ступінь деформації $\varepsilon = 70-80\%$) станах.

На стан сплаву в готовому прокаті вказують літери, що стоять в кінці марки: М- м'який стан; П- напівнагартований стан (ступінь деформації 20-30%); Н- нагартований стан (ступінь деформації 60-70%). Цифри, що стоять за маркою, вказують на вміст магнію або марганцю у сплаві в цілих частках відсотку; додаткові літери, розташовані після цифр, вказують на додаткове легування сплаву: Т-титаном; В- ванадієм. Так, наприклад, сплав марки АМг6ТМ має такий склад: магнію близько 6%, титану – 0,1%, решта – алюміній. Постачається після відпа-

Металознавство і термічна обробка металів

лювання (М) – м'який стан. Але пластична деформація зменшує пластичність сплавів. Тому їх в подальшому піддають рекристалізаційному відпалу, після чого пластичність відновлюється та покращується здатність оброблюватись тиском. Міцність зварних з'єднань в нагартованих і відпалених сплавах практично однакова.

Із деформівних алюмінієвих сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою, виготовляють деталі, які працюють в умовах малих та середніх навантажень (ємності, трубопроводи, корпуси суден, ліфти, рами вагонів тощо).

Деформівні сплави алюмінію, які не зміцнюються термічною обробкою

Таблиця 15.1

Марки сплавів	Кремній	Залізо	Мідь	Марганець	Магній	Хром	Цинк	Титан	Інші елементи
ММ	0,6	0,7	0,30	1,0-1,5	0,20-0,6	0,10	0,25	0,10	-
АМц	0,6	0,7	0,05-0,20	1,0-1,5	-	-	0,10	-	-
АМцС	0,15-0,35	0,25-0,45	0,1	1,0-1,4	0,05	-	0,1	0,1	-
АМг1	0,30	0,7	0,20	0,20	0,50-1,1	0,10	0,25	-	-
АМг2	0,40	0,50	0,15	0,10-0,50	1,7-2,4	0,05	0,15	0,15	-
АМг2,5	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15-0,35	0,10	-	-
АМг3	0,5-0,8	0,50	0,1	0,3-0,6	3,2-3,8	0,05	0,20	0,1	-
АМг4,0	0,40	0,50	0,10	0,20-0,7	3,5-4,5	0,05-0,25	0,25	0,15	-
АМг4,5	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0,15	-
АМг5	0,5	0,5	0,1	0,3-0,8	4,8-5,8	-	0,2	0,02-0,10	Берилій 0,0002-0,0005
АМг6	0,4	0,4	0,1	0,5-0,8	5,8-6,8	-	0,2	0,02-0,10	Берилій 0,0002-0,0005

Розділ 1

Деформівні алюмінієві сплави, що зміцнюються термічною обробкою поділяються на дюралюміни, авіали, кувальні, високоміцні і жаростійкі сплави (табл. 15.2).

Деформівні сплави алюмінію, які зміцнюються термічною обробкою

Таблиця 15.2

Марки/сплавів	Кремній	Залізо	Мідь	Марганець	Магній	Хром	Цинк	Титан	Нікель	Інші елементи
Д1	0,20-0,8	0,7	3,5-4,5	0,40-1,0	0,40-0,8	0,10	0,25	0,15	-	Титан+цирконій: 0,20
Д16	0,50	0,50	3,8-4,9	0,30-0,9	1,2-1,8	0,10	0,25	0,15	-	Титан+цирконій: 0,20
В65	0,25	0,2	3,9-4,5	0,3-0,5	0,15-0,30	-	0,1	0,1	-	-
В95	0,5	0,5	1,4-2,0	0,2-0,6	1,8-2,8	0,10-0,25	5,0-7,0	0,05	-	Нікель: 0,1
Д18	0,8	0,7	2,2-3,0	0,20	0,20-0,50	0,10	0,25	-	-	-
Д19	0,5	0,5	3,8-4,3	0,5-1,0	1,7-2,3	-	0,1	0,1	-	Берилій 0,0002-0,0005
АВ	0,5-1,2	0,5	0,1-0,5	0,15-0,35	0,45-0,90	0,25	0,2	0,15	-	-
АК4	0,5-1,2	0,8-1,3	1,9-2,5	0,2	1,4-1,8	-	0,3	0,1	0,8-1,3	-
АК4-1	0,35	0,8-1,4	1,9-2,7	0,2	1,2-1,8	0,1	0,3	0,02-0,10	0,8-1,4	-
АК6	0,7-1,2	0,7	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	-	0,3	0,1	0,1	-
АК8	0,50-1,2	0,7	3,9-5,0	0,40-1,0	0,20-0,8	0,10	0,25	0,15	-	Титан+цирконій: 0,20

Головними легуючими елементами дюралюмінію є мідь і магній. До них додають марганець для підвищення опору корозії і усунення негативного впливу заліза і кремнію.

Дюралюміні нормальної міцності маркують літерою «Д» і умовним числовим номером сплавів. Дюралюміні, які зміцнюються термічною обробкою і є високоміцними, маркуються літерою «В» та умовним числовим номером.

Дюралюміні поставляють у вигляді простих та фігурних профілів, листів, дроту, плит, труб, напівфабрикатів для виготовлення різних деталей машин (машинобудування, літакобудування тощо).

У будівельній галузі, дюралюмін марок Д1, Д6, Д16 використовують для несучих клепаних конструкцій, споруд і будівель (арки, ферми, балки), покрівельні панелі, підвісні стелі.

Дюралюмін Д1 рекомендують застосовувати для елементів конструкції середньої міцності, а Д6 і Д16 - для силових елементів конструкцій.

Сплави потрійної системи $Al-Mg-Si$ з додаванням міді, марганцю, хрому називають **авіалями** (АВ, АК5). У авіалях головною зміцнюючою фазою є сполука Mg_2Si . Вони гарно зварюються, мають високу корозійну стійкість. За міцністю поступаються дюралюмінам. З авіалей виготовляють лопасті гвинтів гелікоптерів, деталі двигунів, напівфабрикати (простий і профільний прокат, труби).

Кувальні алюмінієві сплави володіють високою пластичністю у гарячому стані. З них виготовляють поковки, і штамповки складних профілів.

Основними зміцнюючими фазами кувальних алюмінієвих сплавів є сполуки Mg_2Si і Al_2Cu . Після гартування і штучного старіння кувальних алюмінієвих сплавів рівень механічних властивостей становить: $\sigma_e = 480 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 380 \text{ МПа}$, $\delta = 10\%$, $\varphi = 25\%$.

Сплави систем $Al-Zn-Mg$, $Al-Zn-Mg-Cu$ серед алюмінієвих сплавів є найбільш міцними. Вони носять назву **високоміцних алюмінієвих сплавів**. Їх механічні властивості можуть сягати міцності сталі: $\sigma_e = (650-670) \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2}$ до 630 МПа , $\delta = 8-12\%$. Крім того високоміцні алюмінієві сплави мають високий рівень ливарних властивостей. Їх рекомендують застосовувати для високонавантажених елементів конструкцій (обшивки крил літаків, шпангоути фюзеляжів, корпуси ракет тощо).

Жароміцні алюмінієві сплави є складнолегованими і на відміну від інших алюмінієвих сплавів мають більшу кількість заліза, нікелю, марганцю, титану. Залізо і нікель утворюють дисперсні сполуки Al_9FeNi , які забезпечують жароміцність сплаву.

Застосовуються жароміцні алюмінієві сплави для виготовлення поршнів, головок циліндрів, крильчаток, лопаток і дисків компресорів турбореактивних двигунів тощо.

Мікроструктура деформівного сплаву системи Al-Mn на прикладі сплаву марки АМц.

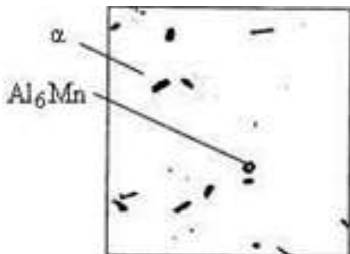


Рис. 15.1 Мікроструктура сплаву марки АМц у відпаленому стані

Марганець з алюмінієм утворює α - твердий розчин та інтерметалідні сполуки Al_6Mn (рис. 15.1).

Так, як сплав АМц є багатокомпонентним і містить постійні домішки заліза і кремнію, то додатково утворюються сполуки Al_6Fe , $Al_{10}MnSi$, які практично не розчиняються в твердому стані, мають форму кристалів, внаслідок чого зменшується міцність сплаву.

При деформації сплаву АМц спостерігається подрібнення інтерметалідних сполук, що покращує рівень механічних властивостей сплаву.

Мікроструктура деформівного сплаву системи Al-Mg на прикладі сплаву марки АМг5

Сплав АМг5 крім магнію містить кремній, залізо, мідь, марганець, хром, цинк, титан і берилій. Кожен із цих елементів впливає на формування структури сплаву і його властивостей.

Марганець з алюмінієм утворює дисперсні частинки Al_6Mn , які сповільнюють рекристалізацію сплаву. Титан подрібнює зерна α -твердого розчину, внаслідок чого зростає міцність і твердість сплаву і зменшується його схильність до утворення тріщин при зварюванні.

Берилій очищує сплав від оксидів і підвищує корозійну стійкість. Мікроструктура сплаву марки АМг5 у відпаленому стані складається із α - твердого розчину (світлий фон), інтерметалідних сполук Al_3Mg_2 , розміщених на границях зерен, та Al_6Mn у вигляді темних включень (рис. 15.2).

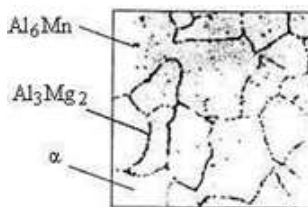
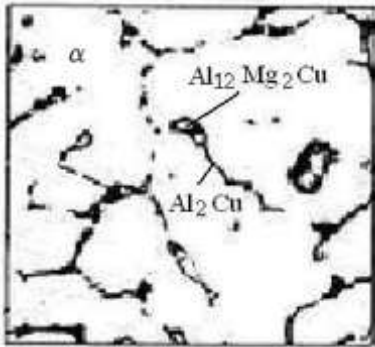


Рис. 15.2 Мікроструктура сплаву марки АМг5 у відпаленому стані

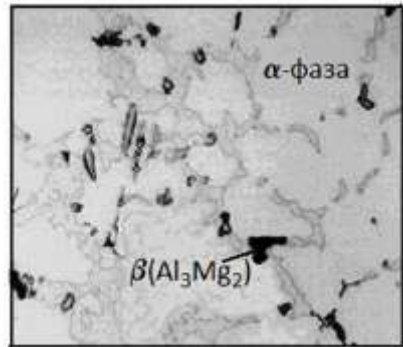
Мікроструктура сплаву системи Al-Cu-Mg на прикладі дюралюмінію марки Д16.

Дюралюмін марки Д16 містить міді (3,8-4,9)%, магнію (1,2-1,8)%, марганцю(0,3-0,9)% заліза до 0,50%, хрому 0,10% , цинку 0,25% і титану 0,15% . Мікроструктура чистого дюралюмінію представлена на рис. 15.3.a. Вона складається із світлих кристалів α -твердого розчину атомів магнію, сірих включень сполуки Al_2Cu та темних включень Al_2CuMg , які розміщені на границях зерен.

Після деформування і наступного відпалу структура дюралюмінію Д16 складається із α -твердого розчину, світлих вкраплень сполуки Al_2Cu (рис. 15.3, б). Обидві фази розміщуються на границях зерен α -твердого розчину білого фону. Фази інших елементів, що знаходяться у сплаві у невеликих кількостях, не виявляються на металографічних мікроскопах при малих збільшеннях.



а – литого



б – деформованого

Рис. 15.3 Мікроструктура дюралюмінію марки Д16

Мікроструктура сплаву марки АВ.

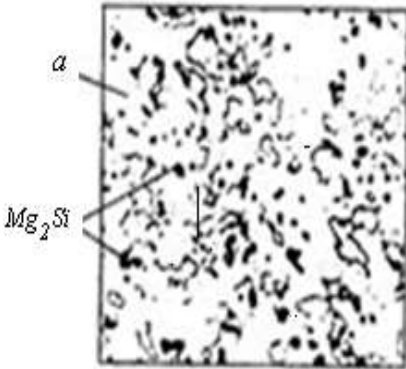


Рис. 15.4 Мікроструктура сплаву АВ після штучного старіння

Авіалі менш леговані ніж дюралюміні. За своїм хімічним складом характеризуються більшим вмістом кремнію порівняно з теоретично необхідним для утворення фази Mg_2Si , оскільки при надлишку кремнію досягається більш сприятливе поєднання міцності сплаву і його пластичності. Після охолодження в цьому сплаві відбувається розпад α -твердого розчину з утворенням основної зміцнюючої фази Mg_2Si та в невеликих кількостях Al_2Cu і Al_6Mn .

Авіалі піддаються загартуванню і штучному старінню. Структура сплаву після штучного старіння складається із α -твердого розчину, навколо якого розміщуються темні вclusions Mg_2Si (рис. 15.4).

Мікроструктура кувального сплаву марки АК8

Кувальні алюмінієві сплави відрізняються від авіаційних більшим вмістом міді (1,8-4,8%) і марганцю (1,8-4,8%). Мідь, як легуючий елемент, збільшує міцність, а марганець сприяє подрібненню зерен після деформування та рекристалізації. Мікроструктура кувального сплаву АК8 після термічної обробки, яка включає гартування від температури 510°C та штучного старіння при температурі 150°C на протяжні 12 годин представлена на рис. 15.5. Зміцнюючі фази на білому фоні α -твердого розчину розміщені відповідно у вигляді сіточок (Mg_2Si) та темних крапель (Al_2Cu).

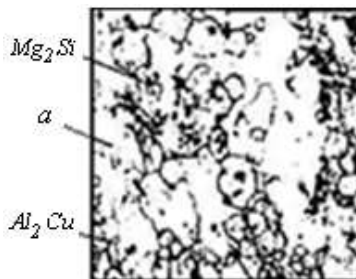


Рис. 15.5 Мікроструктура сплаву марки АК8

Мікроструктура високоміцного сплаву марки В95

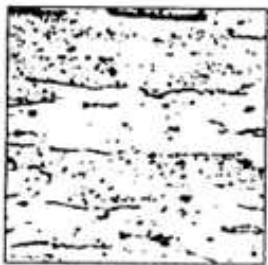


Рис 15.6 Мікроструктура марки В95

З високоміцних деформівних алюмінієвих сплавів найбільш використовуваним є В95. Сплав В95 не є аналогом дюралюмінів, тому що містить значну кількість цинку (5-7)% і має в порівнянні з ними значно високу міцність. Мікроструктура сплаву В95 після гартування від температури 480°C і штучного старіння при температурі 120°C на протяжні 24 годин складається із α - твердого розчину (білий фон) і частинок зміцнювальних інтерметалідних фаз Al_2CuMn , $Al_2Mn_2Zn_3$ та $MgZn_2$ у вигляді сірих включень, які на світлових мікроскопах металографічно відрізнити одна від одної не можливо (рис. 15.6).

Мікроструктура жаростійкого сплаву марки АК4-1

Жароміцні деформовані сплави є складнолегованими і відрізняються від інших алюмінієвих сплавів більшим вмістом магнію, нікелю і заліза, які утворюють фази, що майже не розчиняються у α -твердій основі при високих температурах, забезпечуючи високу теплову міцність і опір повзучості.

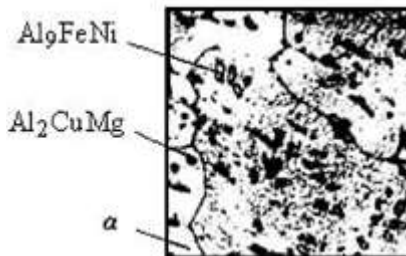


Рис. 15.7. Мікроструктура сплаву марки АК4-1

Мікроструктура жароміцного сплаву марки АК4-1 після гартування від температури 530°C з наступним старінням при температурі 190°C на протязі 12 годин складається із α -твердого розчину (світлий фон), темних частинок фази Al_2CuMg та сірих краплень Al_9FeNi (рис.15.7).

Спеціальні алюмінієві сплави

Спеціальні алюмінієві сплави поділяють на дві групи. Сплави першої групи називають спеченими алюмінієвими порошками - САП. У цих сплавах зміцнення алюмінієвої матриці досягається за рахунок оксиду Al_2O_3 у вигляді лусочок розміром 10-15 мкм і товщиною менше 1 мкм, які отримують в процесі подрібнення звичайного алюмінієвого порошку в кульових млинах.

Лусочки пудри алюмінію покриті дуже тонкою оксидною плівкою, яка під час пресування розтріскується і рівномірно розподіляється по об'єму матриці у вигляді дисперсних частинок діаметром 0,1-0,01 мкм, які не розчиняються в алюмінії і не коагулюють під час тривалого нагрівання до 500°C.

Деталі із спеченого алюмінієвого порошку можуть містити до 25% оксиду алюмінію.

Малі розміри оксидних частинок алюмінію запобігають руху дислокацій і таким чином збільшують механічну міцність матеріалу.

Міцність при розтягу САП досягає при кімнатній температурі до 400 – 450 МПа, а при температурах 300 – 350°C здатні зберігати стабільну структуру і значно переважають міцність кращих старіючих алюмінієвих сплавів.

Вироби із САП отримують шляхом холодного брикетування, вакуумної дегазації брикетів (відпалу), подальшого їх нагріву і спікання під тиском.

До спеціальних алюмінієвих сплавів другої групи відносять гранульовані алюмінієві сплави з мінімальною кількістю Al_2O_3 (до 0,5%), леговані:

- *W, Mo, Co, PЗМ, Pb, Sn* та ін. (підвищується міцність на 10-15%, збільшується корозійна стійкість, покращується зварюваність);

- *Cr, Zr, Mn, Ti, V, W, Sb, Mo, PЗМ, Pb, Sn* та ін. (жаростійкість в 1,5 більше, ніж у стандартних алюмінієвих сплавів, висока електропровідність, малий коефіцієнт лінійного розширення тощо).

Технологічна схема виготовлення деталей методом металургії гранул включає наступні операції:

- приготування розплаву відповідно до заданого хімічного складу сплаву;
- отримання гранул;
- компактування гранул у заготовки методом гарячого пресування або в контейнерах гідравлічних пресів.

Гранули отримують в умовах охолодження з швидкістю до 10 000 °C/с краплинок розплаву. Така швидкість кристалізації досягається, наприклад, за умов розпилення розплаву струменем чистого нейтрального газу. Залежно від тиску газу і умов кристалізації діаметр гранул знаходиться в межах від декількох мік-

Розділ 1

рометрів до декілька міліметрів. Гранули, а відповідно і готові вироби, мають надзвичайно дрібнозернисту структуру і мінімальну ліквацию.

При таких великих швидкостях охолодження під час кристалізації утворюються перенасичені тверді розчини з концентрацією в 2,5 – 5 раз, яка перевищує граничну розчинність компонентів у рівноважних умовах. Такі тверді сплави називають аномально перенасиченими. Ступінь перенасичення зростає з розміщенням металів в ряду Cr, V, Mn, Ti, Zr.

В процесі технологічних операцій гарячого пресування брикетів при температурі нагріву 400-450°C із аномально перенасиченого твердого розчину випадають дисперсні частинки інтерметалідних фаз, які збільшують межу міцності сплавів при розтягу до 700-800 МПа.

В порівнянні з литими спеціальні алюмінієві сплави більш щільні, мають дрібніші зерна. У них відсутні ливарні дефекти (пористість, шлакові включення, ліквация).

Поєднання високої міцності із жаро- і корозійною стійкістю дозволяє використовувати САП для виготовлення відповідальних виробів, які працюють при температурах до 300-500°C (деталі двигунів тракторів, автомобілів і літаків, суднобудівна, хімічна і нафтопереробна галузі промисловості тощо).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із властивостями та використанням деформівних алюмінієвих сплавів.
2. Отримати мікрошліфи деформівних алюмінієвих сплавів і розглянути їх мікроструктуру при збільшенні у 100-500 разів.
3. За марками сплавів вказати їх хімічний склад.
4. Користуючись альбомами мікроструктур сплавів, визначити їх фазовий склад.
5. Результати досліджень занести до таблиці 15.3.

Результати досліджень

Таблиця 15.3

Марка сплаву	Хімічний склад сплаву, %	Мікроструктура		Використання
		Схема	Назви складових	

Зміст звіту

1. Описати системи сплавів, за якими алюмінієві деформівні сплави поділяються на дві групи в залежності до здатності зміцнюватися термічною обробкою.

2. Описати вплив холодної пластичної деформації на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою та навести приклади їх використання.

3. Описати властивості та навести приклади використання дюралюмінів, авіалей, кувальних, високоміцних і жаростійких сплавів.

4. Замалювати мікроструктури алюмінієвих деформівних сплавів і вказати їх структурні складові.

5. Висновки по виконаній роботі.

Контрольні запитання

1. Які алюмінієві деформівні сплави не зміцнюються і зміцнюються термічною обробкою? 2. Як впливають марганець і магній на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів? 3. Як впливає холодна пластична деформація на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою? 4. Які вироби виготовляють із алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою? 5. Які алюмінієві деформівні сплави відносяться до тих, що зміцнюються термічною обробкою? 6. Яка структура алюмінієвих деформівних сплавів марок АМц і АМг5? 7. Яка структура алюмінієвих деформівних сплавів марок Д16, АВ, АК8, В95 і АК4-1? 8. Описати склад, технологію отримання та особливості будови спеціальних алюмінієвих сплавів. 9. На які групи поділяють спеціальні алюмінієві сплави? 10. Дати приклади використання спеціальних алюмінієвих сплавів.

Лабораторна робота №16

Термічна обробка алюмінієвих сплавів

Мета роботи: Вивчити вплив режимів нагріву і охолодження на структуру і властивості дюралюмінів при їх нагріванні в процесі термічної обробки, а також вплив температури і тривалості старіння на властивості дюралюмінію і силуміну.

Матеріали та обладнання: твердомір Роквелла, таблиці чисел твердості, зразки дюралюмінів і силумінів, ванни з розчином 55% KNO_3 + 45% $NaNO_2$, баки з водою, лабораторні електропечі, термометри, пірометри, хронометри, альбоми мікроструктур, довідникова література.

Короткі теоретичні відомості

Зміцнення алюмінієвих сплавів термічною обробкою досягається за рахунок легуючих елементів (Cu , Mg , Zn та інші), які утворюють інтерметалідні фази: Q (Al_2Cu), S (Al_2CuMg), M ($MgZn_2$), T ($Al_2Mg_3Zn_3$) і β (Mg_2Si).

Термічна обробка алюмінієвих сплавів включає їх гартування з подальшим старінням. Метою гартування є одержання перенасиченого α -твердого розчину легуючими елементами.

Розділ 1

Згідно діаграми стану $Al-Cu$ (рис. 16.1.) при звичайній температурі концентрація міді у сплаві становить 0,5%, а при евтектичній температурі $548^{\circ}C$ – 5,7%. При цьому вторинні кристали сполуки $CuAl_2$ розчиняються у сплаві і переходять у однофазний α -твердий стан, утворюючи перенасичений твердий розчин, який є метастабільним (нестійким) через схильність надлишкової фази до виділення.

Збереження отриманого метастабільного стану сплавів досягають гартуванням шляхом їх охолодження у воді із швидкістю більше критичної. За критичну приймають найменшу швидкість, при якій перенасичений твердий стан не зазнає зворотного виділення $CuAl_2$ із α -розчину при охолодженні до кімнатної температури.

Отриманий загартовуванням перенасичений твердий α -розчин буде прагнути перейти в стан з меншою внутрішньою енергією за рахунок його розпаду шляхом дифузійного перерозподілу атомів міді в певних кристалографічних площинах, утворюючи субмікроскопічні зони з концентрацією міді до 55,4%.

Ці зони носять назву зон Гінье-Престона від прізвищ вчених які вперше одночасно відкрили їх існування у 1938 р. Вони мають форму дисків.

Витримка загартованого сплаву навіть при кімнатній температурі на протязі 24 год забезпечує утворення зон Гінье-Престона і збільшення його межі міцності приблизно від $\sigma_s = 250 MPa$ (загартований стан) до $400 MPa$.

Такий «самовільний» процес зміцнення загартованого сплаву при кімнатній температурі називається природним старінням.

Слід відмітити, що міцність дюралюмінію при природному старінні починає помітно збільшуватися тільки після 3 год від моменту гартування. Цей період називається інкубаційним.

Під час інкубаційного періоду сплав зберігає високу пластичність, добре обробляється тиском, що використовують у практиці для проведення точних технологічних операцій як клепання, правка та інші види деформування.

Природне старіння довготривалий процес (4-6 діб). Щоб скоротити його час, загартовані сплави нагрівають до температури $150-250^{\circ}C$. Процеси дифузії при цьому прискорюються. Таке старіння називають *штучним*. В цьому разі міцність суттєво швидше (за декілька годин) зростає, але її максимальне значення тим менше, чим вище її температура старіння (рис. 16.2).

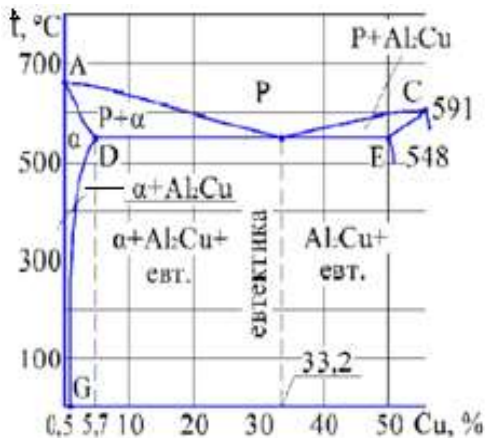


Рис. 16.1 Фрагмент діаграми стану сплавів $Al-Cu$



Рис. 16.2. Вплив температури і часу старіння на міцність алюмінієвих сплавів

Процеси старіння поділяють на три стадії. На першій стадії старіння в перенасиченому твердому α -розчині атоми міді, раніше стихійно розміщені в сплаві $Al-Cu$ після його гартування починають концентруватися у кристалічній ґратці із визначеною закономірністю, внаслідок чого утворюються зони Гінье-Престона (ГПІ) у вигляді дисків товщиною 2-3 нм і діаметром 3-8 нм.

На ділянках з підвищеною концентрацією міді параметр ґратки значно змінюється, що приводить до виникнення напружень в кристалах і збільшення міцності і твердості сплаву.

На другій стадії старіння при температурах 100-150°C рухливість атомів зростає і концентрація міді в зонах Гінье-Престона досягає рівня необхідного для утворення хімічної сполуки $CuAl_2$. В цих зонах кристалічна ґратка перебудовується і утворюються кристали проміжної фази Q'-фази Васермана (від прізвища вченого Г. Васермана) з ґраткою когерентно пов'язаною з ґраткою α -твердого розчину.

Третя стадія старіння заключається в тому, що при температурах більше 200°C кристалічна ґратка сполуки Q'-фази відривається від маточного α -твердого розчину і утворюється нова решітка сполуки $CuAl_2$, що відповідає Q-фазі.

При низьких температурах внаслідок незначної рухливості атомів старіння відбувається за першою стадією; при високих – за другою і третьою стадіями.

При достатньо високих температурах старіння може відбуватися за другою і третьою стадіями, мінаючи першу.

Найбільше зміцнення алюмінієвих сплавів досягається на першій і другій стадіях, а третя стадія пов'язана з їх розміцненням.

В промисловості окрім гартування і старіння дюралюмінію використовують обробку "*на повернення*". Вона заключається в короткочасному нагріві дюра-

Розділ 1

люмінію після природного старіння до температури 250°C і подальшому швидкому охолодженні. При такому нагріві зони Гіньє-Престона розсмоктовуються і сплав після охолодження набуває стану свіжозагартованого.

Дюралюмінію після такої обробки мають низьку міцність і твердість, але високу пластичність і можуть підлягати операціям штампування, кування, гнуття тощо. Після повернення дюралюмінію може бути зміцнений шляхом природного або штучного старіння.

Термічна обробка дюралюмінію Д16

Дюралюмінію Д16 містить (3,8-4,9)% міді. Як видно із діаграми стану системи $Al-Cu$ (рис. 16.1.) при кімнатній температурі у α -твердому розчині буде знаходитися 0,5% міді, а решта – у вигляді сполуки $CuAl_2$ (Q-фаза). При нагріванні дюралюмінію Д16 до 500°C і витримці при цій температурі (20-30 хв) мідь, Q-фаза та інші вторинні інтерметалідні сполуки $S(Al_2CuMg)$, $M(MgZn_2)$, $T(Al_2Mg_3Zn_3)$ і $\beta(Mg_2Si)$ розчиняються у α -твердому сплаві.

При швидкому охолодженні у воді з цієї температури мідь, інтерметалідні сполуки не встигнуть виділятися з твердого розчину. Завдяки цьому при кімнатній температурі отримана мікроструктура після гартування буде складатись із α -перенасиченого твердого розчину і Q-фаз, що не розчинилися в ньому під час нагріву (рис. 16.3, а).

Перегрів дюралюмінію Д16 до температури дещо більше вказаної викликає інтенсивний ріст зерен α -твердого розчину та окислення їх границь (перепал). Перепалений сплав володіє низькими механічними властивостями і непоправним браком термічної обробки.

В промисловості у більшості випадків використовують природне старіння, не звертаючи уваги на те, що зміцнення відбувається значно повільніше, ніж при штучному старінні. Це пояснюється не тільки технологічною простотою протікання природного старіння але і тим, що в цьому разі дюралюмінію Д16 має більшу корозійну стійкість і ударну в'язкість, внаслідок чого менше схильний до крихкого руйнування.



Рис. 16.3 Структура дюралюмінію: а - після гартування; б – після старіння

Штучне старіння дюралюмініу Д16 виконують при температурі 185-195°C на протязі 6-13 год. Структура дюралюмініу Д16 після гартування і штучного старіння із α -твердого розчину, пластинок або дисків фази Q діаметром 20-30 μm і частинок нерозчинних фаз (рис. 16.3,б). Структурні перетворення, які відбуваються при природному і штучному старінні, неможливо спостерігати в оптичному мікроскопі із-за малої роздільної здатності методу. Дисперсні частинки фази Q можна ідентифікувати методом електронної мікроскопії або виявити в процесі рентгеноструктурного аналізу. Після гартування і штучного старіння дюралюмін Д16 має наступні механічні властивості: $\sigma_{\text{в}} = 440-520 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2} = 290-380 \text{ МПа}$; $\delta = 11-18\%$, $\psi = 15\%$. Необхідно відмітити, що при температурі -5°C в загартованому дюралюміні затримується розпад α -твердого розчину. За цей період, приблизно 1-3 год, дюралюмін практично не зміцнюється, що надає можливість виконувати операції холодної деформації (штамповку, пресування, висадку, розклепування тощо). В подальшому в процесі природного старіння на протязі 4-5 діб відбувається їх самозміцнення.

При температурі -50°C і менше загартовані дюралюміни зберігають свою структуру і властивості на протязі тривалого часу. Це явище використовують у машинобудуванні. Готові вироби після гартування і холодної деформації тривалий час тримають у холодильних установках до моменту їх подальшої обробки.

Термічна обробка алюмінієвих ливарних сплавів

Режими термічної обробки алюмінієвих ливарних сплавів (силумінів) відрізняються від режимів термічної обробки дюралюмінів. Це обумовлено тим, що силуміни в звичайних умовах кристалізації набувають грубозернисту структуру з крупними включеннями зміцнюючої фази, які під час нагрівання при гартуванні дуже повільно переходять α -твердий розчин. Тому при гартуванні силуміни нагрівають до 520-540°C і витримують 5- 10 год для більш повного розчинення включень.

Тривалість витримки силумінів при температурі гартування в порівнянні із дюралюмінами збільшується у 4-8 разів. Наприклад, якщо для дюралюмініу достатньо витримки 20-30 хв, то для ливарного сплаву необхідно 2-4 год.

Охолодження силумінів при гартуванні можна виконувати у гарячій воді.

Зміцнюють ливарні сплави в процесі штучного старіння при температурі 150-180°C на протязі 10-20 год, що пов'язано з розчиненням інтерметалідних сполук CuAl_2 ; $\text{Mg}_2 \text{Si}$; Al_2CuMg ; Al_2Mg_2 та ін. і отриманням перенасиченого α -твердого сплаву.

Порядок виконання роботи

1. Заміряти твердість зразків дюралюмініу Д16 після відпалу на твердомірі Роквела.

Розділ 1

2. Виконати гартування зразків (температура нагріву - $500 \pm 5^\circ\text{C}$, витримка 15хв, охолодження у холодній воді).

3. Заміряти твердість зразків після гартування.

4. Виконати штучне старіння за режимами, наведеними у табл. 16.1

Таблиця 16.1

№ п/п	Температура нагріву, °С	Витримка, хв
1	100	15,30,45,60
2	150	5,15,30,45,60
3	200	3,5,10,15,30
4	250	1,3,5,10,15,30
5	300	1,3,5,10,15

Кожен студент виконує старіння зразків загартованого дюралюмінію при вказаній викладачем температурі і витримці, а за даними досліджень, отриманими іншими студентами, будує графік в координатах “Твердість – тривалість старіння”, в якому для кожної температури старіння наносить відповідно окрему криву.

Зміст звіту

1. Мета роботи.

2. Коротко описати теорію термічної обробки алюмінієвих сплавів, включаючи процеси, що відбуваються при їх гартуванні і старінні.

3. Визначити і описати вплив режимів гартування і старіння на твердість дюралюмінію Д16.

4. Зробити висновки за отриманими даними проведених досліджень.

Контрольні запитання і завдання:

1. Яка мета гартування дюралюмінію? 2. Як визначають температуру гартування? 3. Як змінюється розчинність міді в α -твердому розчині і в залежності від температури нагріву дюралюмінію при гартуванні? 4. Які структурні зміни дюралюмінію відбуваються при його нагріванні і чим вони обумовлені? 5. Яку швидкість охолодження при гартуванні дюралюмінію приймають за критичну? 6. Яка структура загартованого дюралюмінію? 7. Яка мета старіння дюралюмінію? 8. Які процеси відбуваються в будові дюралюмініїв під час їх старіння? 9. Яка структура дюралюмінію після старіння? 10. Чим відрізняються між собою природне і штучне старіння? 11. Чому в промисловості при термічній обробці дюралюмініїв надають перевагу штучному старінню? 12. Який вид термічної обробки дюралюмініїв носить назву “обробки на повернення” які режими її проведення? 13. Як змінюються

структурні властивості дюралюмінію після обробки на повернення? 14. Яка різниця між режимами термічної обробки дюралюмінів і силумінів і чим вона обумовлена? 15. Як можна зберігати структуру і властивості загартованого дюралюмінію?

Лабораторна робота №17

Мікроструктура міді та її сплавів

Мета роботи. 1. Вивчити мікроструктуру, властивості та використанням мідних сплавів та встановити взаємозв'язок між хімічним складом і мікроструктурою мідних сплавів.

Обладнання та матеріали. Металографічні мікроскопи, діаграми стану сплавів на основі міді, стенди і альбоми з фотографіями мікроструктури мідних сплавів, колекція мікрошліфів.

Теоретичні відомості

Мідь (лат. Cu) – це метал червоно-рожевого кольору. Хімічний елемент 2 групи періодичної системи Менделєєва, порядковий атомний номер 29. Залежно від хімічного складу розрізняють такі марки міді М00 (Cu=99,99%), М0 (Cu=99,95%), М1 (Cu=99,90%), М2 (Cu=99,70%), М3 (Cu=99,50%), М4 (Cu=99,00%). Мідь має високу тепло- і електропровідність, пластичність, корозійну стійкість.

На повітрі в присутності вуглекислого газу покривається плівкою зеленого кольору (патила): гідроокисний карбонат міді $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. При нагріванні міді на її поверхні утворюється чорний наліт, який є хімічною сполукою CuO .

За тепло- і електропровідністю мідь займає друге місце після срібла. Окрім того при нагріванні до температури 50-90 °С опір міді майже не змінюється, що робить її незамінним матеріалом для виготовлення обмоток електродвигунів. В зв'язку з великим практичним застосуванням міді, її прийнято вважати еталоном (100%) за цими властивостями і по відношенню до якого оцінюються відповідно інші метали. Це показано в табл. 17.1.

Електро- і теплопровідність деяких металів по відношенню до міді

Таблиця 17.1

Властивості	Cu	Ag	Al	Mg	Zn	Ni	Fe
Електропровідність,%	100	106	62	39	29	25	17
Теплопровідність,%	100	108	56	41	29	15	17

Основні фізичні властивості міді:

- густина - 8,94 г/см³ ;
- температура плавлення - 1083°C;

Розділ 1

- питомий опір $1,68 \cdot 10^{-3}$ Ом·м при 20°C

- теплопровідність 401 Вт/м К

Хімічні властивості міді характеризуються високою корозійною стійкістю в умовах атмосфери, прісній і морській воді, органічних кислотах, їдких лугах, сухих газах (галогенах).

Мідь розчиняється у соляній, азотній, гарячій концентрованої сірчаній кислотах, у кислих розчинах, хромових солях, реагує з аміаком.

Із табл. 17.2 видно, що пластична деформація збільшує міцність і твердість міді, але зменшує її пластичність. Одночасно при цьому зменшується і електропровідність міді. Після відпалу при температурі 550-650°C, який сприяє зняттю наклепу, значно зростає пластичність міді.

Механічні властивості міді

Таблиця 17.2

Стан міді	Механічні властивості		
	σ_b , МПа	δ , %	НВ
В литому стані	160	25	40
Після пластичної деформації	450	3	125
Після відпалу	220	50	55

Мідь має здатність прокатуватися у фольгу, тонкі листи, стрічку. Шляхом волочіння міді отримують дріт діаметром 10-15 мкм. Мідь легко полірується, добре зварюється та паяється. Технологічним недоліком міді є низька рідкотекучість і низька здатність оброблюватись різанням.

На механічні, фізичні, хімічні та технологічні властивості міді суттєво впливають постійні домішки, такі як *As, Sb, Pb, Bi, Fe, Si, P*. Вони знижують тепло- і електропровідність, пластичність і корозійну стійкість.

Свинець і вісмут майже не розчиняються у міді, внаслідок чого утворюють у сплаві евтектики, температури плавлення яких становлять відповідно 326 і 270°C. Це окрихчує мідь при її гарячій пластичній деформації (аналогічно червоноламкості сталі). Зберігаючи позитивні якості міді, сплави на її основі володіють більш високими значеннями механічних і технологічних властивостей.

В якості легуючих елементів для отримання сплавів на основі міді використовують *Zn, Sn, Al, Fe, Ni, Si, Mn, Be*. Ці легуючі елементи збільшують міцність мідних сплавів, майже не зменшуючи пластичності, а деякі з них до визначених концентрацій навіть можуть її збільшувати. За технологічними властивостями мідні сплави поділяють на деформівні та ливарні.

Деякі сплави на основі міді можна зміцнювати в процесі термічної обробки.

За хімічним складом мідні сплави поділяються на дві основні групи – це **латуні та бронзи**.

Латунями називають сплави міді з цинком. Латуні в порівнянні з міддю мають більш високу міцність, корозійну стійкість, краще оброблюються різанням та тиском, мають високі ливарні властивості.

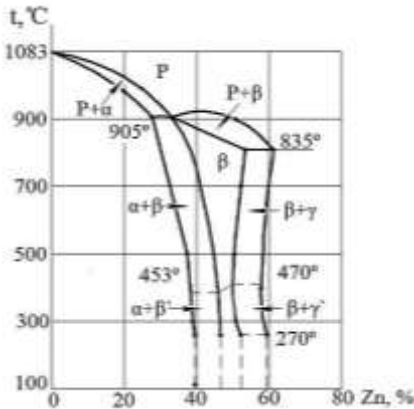


Рис. 17.1 Фрагмент діаграми сплавів системи Cu-Zn

Перехід через межу однофазної зони ($> 39\% \text{ Zn}$) різко змінює властивості латуней в зв'язку з утворенням β -фази.

Гратка β -фази - об'ємноцентрований куб (ОЦК). При температурах нижче 453-470°C атоми цинку перегруповуються у β -твердому розчині і він стає упорядкованим. Утворену фазу позначають через β' . Фаза β' є крихкою, внаслідок чого пластичність латуней зменшується.

Зміна механічних властивостей латуней в залежності від вмісту цинку у сплаві показана на рис. 17.2. На практиці використовують однофазні α -латуні з вмістом цинку до 39% та двофазні $\alpha + \beta'$ - латуні, які містять 39-45% цинку. Прості двокомпонентні латуні володіють високою пластичністю, що дозволяє обробку їх тиском у холодному стані.

Латуні можуть бути простими (двокомпонентними) і легованими (багатокомпонентними).

Прості двокомпонентні латуні з масовою часткою цинку до 39% (рис.17.1) мають однофазну структуру, яка представляє собою твердий обмежений розчин атомів цинку у міді - α -латуні з граткою гранцецентрированого куба (ГЦК). При масовій частці цинку в латуні понад 39%, крім основної α -фази утворюється кілька фаз електронного зв'язку:

β - твердий розчин на основі сполуки CuZn ;

γ - твердий розчин на основі сполуки Cu_5Zn_8 ;

ε - твердий розчин на основі сполуки CuZn_3 .

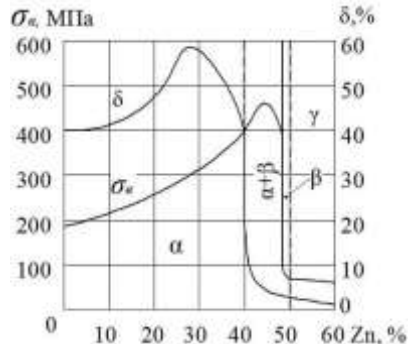


Рис. 17.2 Вплив вмісту цинку на механічні властивості латуней

Розділ 1

Після холодної деформації нагартовані латуні для відновлення пластичності піддають рекристалізаційному відпалу при температурі 600-700°C з охолодженням на повітрі.

Так як, двофазні $\alpha+\beta$ – латуні мають більш високу твердість і меншу пластичність, то їх обробку тиском виконують в діапазоні температур 750-850°C.

Маркують латуні літерою “Л”. У простих двокомпонентних латунях після літери двозначними цифрами вказують на вміст в сплаві міді у відсотках.

Так, Л68 вказує на просту латунь, яка містить 68% *Cu*, а решта- 32% *Zn*.

У багатокомпонентних латунях за літерою “Л” пишуть початкові літери назв легуючих елементів російською мовою та цифри, які вказують на вміст міді та присутніх відповідно у сплаві елементів у відсотках. Латунь марки ЛАН59-3-2 містить 59% міді, 3% алюмінію(А), 2% нікелю (Н), решта-36% цинку.

При маркуванні спеціальних латуней після літери “Л” ідуть літери легуючих елементів, що входять до сплаву, а цифри після них вказують на масову частку у відсотках цих елементів. Так, латунь марки ЛЦ32Мц2С2 містить 32% цинку (Ц), 2% марганцю (Мц), 2% свинцю (С), решта – 64% міді.

Для покращення властивостей латуней їх легують *Al, Mn, Ni, Si, Sn, Pb, Fe*.

Збільшують міцність і корозійну стійкість латуней *Al, Mn, Ni* і *Sn*. Кремній збільшує міцність і покращує ливарні властивості латуней.

Свинець покращує оброблюваність різанням, але в той же час знижує механічні властивості.

Залізо подрібнює зерно, покращує такі технологічні властивості, як здатність деформуватися у гарячому стані (кування, штампування, пресування).

Марганець особливо в присутності заліза, алюмінію і олова збільшує міцність і корозійну стійкість латуней.

Кремній сумісно з свинцем покращують антифрикційні властивості, тому кремнисто-свинцеві латуні можуть замінити підшипникові бронзи. Прості латуні мають структуру однорідного α -твердого розчину (рис. 17.3).

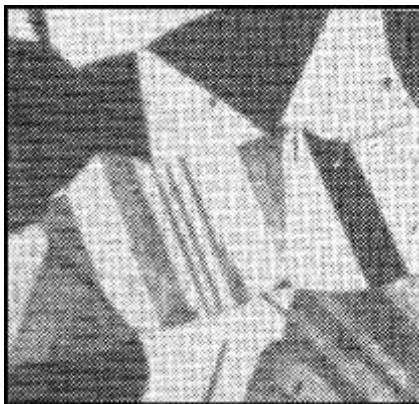


Рис. 17.3. Мікроструктура α -латуні

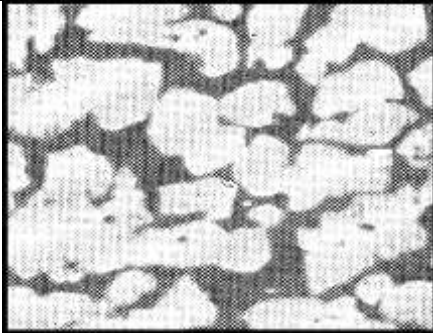


Рис. 17.4. Мікроструктура $\alpha+\beta$ латуні

Структура багатокomпонентних латуней з вмістом цинку від 39 до 45% (рис. 17.4) складається із α -твердого розчину (світлий фон), в якому розміщені зерна β -фази ($Cu Zn$) темного кольору.

Марганець, особливо в присутності заліза, алюмінію і олова збільшує міцність і корозійну стійкість латуней.

Кремній сумісно з свинцем покращують антифрикційні властивості, тому кремнисто-свинцеві латуні можуть замінити підшипникові бронзи.

Латуні за технологією виготовлення з них деталей поділяються на ливарні та деформівні.

Ливарні латуні поставляють у вигляді чушок. Їх використовують для отримання фасонного литва (а в окремих випадках, як замітника простих бронз).

Приклади марок деяких ливарних спеціальних латуней та їх застосування наведені у табл. 17.3.

Марки і застосування деяких ливарних спеціальних латуней

Таблиця.17.3

Марка	Застосування
ЛЦ40Мц3Ж	Арматура для суднобудування, що працює до 300°C, прості за конфігурацією деталі відповідального призначення, гребні гвинти, лопасті для суден.
ЛЦ40С	Фасонні виливки, втулки і сепаратори кулькових і роликових підшипників, деталі приладів, сантехнічна арматура.
ЛЦ40Мц1,5	Деталі простої форм вузлів тертя, що працюють в умовах динамічних і статичних навантажень при температурі до 60 С.
ЛЦ30А3	Корозійностійкі деталі, що застосовуються в галузях суднобудування та машинобудування.
ЛЦ14К3С3	Деталі підшипників, втулки.
ЛЦ37Мц2С2К	Антифрикційні та корпусні деталі.

До деформівних відносяться однофазні α - латуні і двофазні($\beta+\beta'$) - латуні. Однофазні латуні мають високу пластичність, добре обробляються тиском.

При обробці латуней тиском у холодному стані присутній наклеп, який збільшуючи твердість і міцність, зменшує пластичність латуней. У разі необхідності наклеп усувають рекристалізаційним відпалом при температурах 500-600°C.

Розділ 1

Двофазні ($\alpha+\beta'$) латуні менш пластичні. Тиском їх обробляють у гарячому стані при температурах понад 700°C. Приклади деяких марок і застосування деформівних латуней наведені в табл. 17.4.

Приклади марок і застосування деяких деформівних латуней

Таблиця.17.4

Марка	Застосування
Л96 томпак Л90	Трубки радіаторні, листи, стрічки, дріт, деталі в електротехніці
Л80	Трубки, стрічка, дріт, художні вироби, трубки манометрів, гнучкі шланги, музичні інструменти.
Л70	Радіаторні стрічки, смуги, труби теплообмінників,
Л68	Листи, стрічки, фольга, труби, деталі, які отримують глибокою витяжкою.
Л62	Трубні дошки холодильних установок, штамповані деталі, фурнітура.

Бронзами називають сплави міді з оловом та іншими легуючими елементами серед яких цинк не є основним легуючим компонентом

Бронзи маркують літерами “Бр.”, справа від яких пишуть початкові літери елементів, що входять у сплав, та цифрами в тому ж порядку, що вказують на вміст цих елементів в цілих долях відсотків. Наприклад, бронза марки Бр.ОЦС 3-12-5 містить: 3% олова(О), 12% цинку (Ц), 5% свинцю (С), решта - 80% міді.

За вмістом легуючих елементів бронзи поділяють на олов'яні, алюмінієві, кремнієві, свинцеві, марганцеві, берилієві.

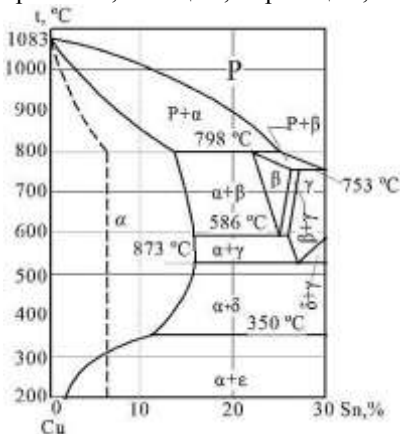


Рис. 17.5 Фрагмент діаграми сплавів системи Cu-Sn

Олов'яні бронзи. В сплавах системи Cu-Sn (рис.17.5) у твердому стані утворюються наступні фази:

α – твердий розчин атомів олова в кристалічній ґратці міді (вміст олова в міді менше 14%);

β – твердий розчин на основі електронного з'єднання Cu_5Sn ;

δ – електронне з'єднання $Cu_{31}Sn_8$;

γ – твердий розчин на основі хімічного з'єднання Cu і Sn (кристалічна структура, стехіометрія доки що не встановлена);

ϵ – електронне з'єднання Cu_3Sn ;

η – хімічна сполука.

У промисловості використовують бронзи з вмістом олова до 14%. Із діаграми наведеної на рис. 17.5 видно, що структура

таких сплавів складається із α -твердого розчину атомів олова у кристалічній ґратці міді.

Однак найбільш високу пластичність мають бронзи з вмістом до 5% олова. Це пояснюється тим, що при більшій кількості олова, сплави стають більш схильними до дендритної ліквідації у зв'язку із значним температурним інтервалом між лініями ліквідус і солідус.

Максимальне значення пластичності бронзи досягають при вмісті олова до 5%, а межі міцності – при вмісті олова до 25%. Причиною зниження пластичності і міцності бронзи є поява у α -твердому розчині твердої і крихкої β - фази.

Для покращення властивостей і зменшення вартості олов'яні бронзи легують цинком, свинцем, нікелем, фосфором.

Цинк в кількостях не більше його розчинності у α -фазі вводять у сплав замість олова і міді.

Свинець підвищує антифрикційні властивості, оброблюваність різанням, поліпшує щільність виливків, але при цьому понижує міцність бронзи.

Нікель подрібнює зерно, збільшує міцність і пластичність, підвищує корозійну стійкість бронз.

Фосфор, крім розкислення сплаву, утворює тверді включення, які збільшують міцність і покращують антифрикційні властивості, а також підвищують рідкотекучість.

За технологією обробки бронзи поділяють на ливарні і деформівні.

Ливарні бронзи мають низьку пластичність, в зв'язку з тим, що з підвищенням вмісту олова до 9-11% у структурі присутня крихка δ -фаза $Cu_{31}Sn_8$. Для підвищення рідкотекучості розплаву ливарні бронзи легують цинком.

Сумісна наявність у структурі ливарних бронз м'якої α -фази матриці і вкраплень твердих зерен β -фази надає цим матеріалам антифрикційних властивостей. М'яка фаза обумовлює здатність деталей до припрацювання, та зменшує тертя, а вкраплення твердої β -фази збільшують зносостійкість.

Бронзи з вмістом 10 – 14% олова використовують у литому стані. Їх структура (рис. 17.6.) складається із α - твердого розчину(темний фон) і евтектоїда $\alpha + Cu_{31}Sn_8$.

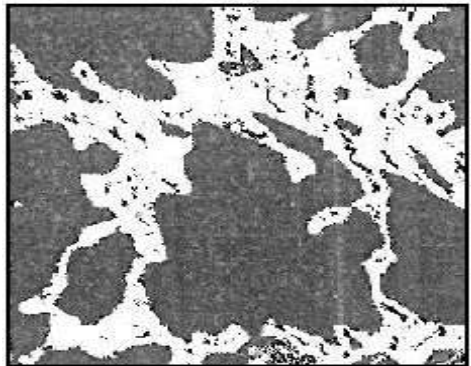


Рис. 17.6. Мікроструктура олов'яної бронзи Бр.08Ц4

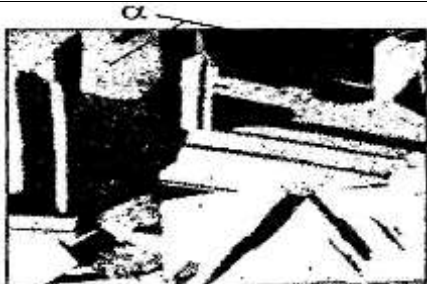


Рис. 17.7. Мікроструктура олов'яної бронзи з 5% Sn після деформування та відпалу

Деформівні олов'яні бронзи, які мають структуру α -твердого розчину, мають більш високу пластичність і міцність, ніж ливарні.

У деформівних бронз з вмістом 4 – 5% Sn під час відпалу вирівнюється концентрація олова у сплаві і він стає однофазним (рис. 17.7).

Марки та застосування деяких ливарних і деформівних бронз наведені у табл. 17.5

Марки та застосування литих олов'яних бронз

Таблиця 17.5

Марка	Застосування
Ливарні	
Бр.О10Ф1	Втулки для підшипників електромоторів, вузли тертя, арматура, високонавантажені деталі шнекових приводів, натискні і шпindelні гайки, вінці черв'ячних шестерень, шестерні
Бр.О8Ц4	Арматура, фасонні частини трубопроводів, виливки частин насосів, що працюють в морській воді
Бр.О10Ц2	Виливки відповідальної арматури, антифрикційні деталі, складне фасонне литво, вкладиші підшипників, деталі тертя і облицювання гребних гвинтів, шестерні, втулки, підшипники, крани, клапани, корпуси насосів, черв'ячні колеса
Бр.О10С10	Підшипники ковзання, що працюють при високих питомих тисках
Бр.О5С25	Підшипники і втулки, що працюють при малих питомих навантаженнях і дуже великих швидкостях, маслоущільнюючі кільця, біметалеві підшипники ковзання
Бр.О6Ц6С3	Парова і водяна арматура, антифрикційні деталі, втулки, вкладиші підшипників
Бр.О5Ц5С5	Антифрикційні деталі, арматура, вкладиші підшипників
Деформівні	
Бр.ОФ8-0,3	Дріт для виготовлення сіток у целюлозно-паперовій промисловості
Бр.ОФ4-0,25	Трубки для контрольно-вимірювальних приладів
Бр.ОФ2-0,25	Гвинти, стрічки для гнучких шлангів, струмопровідні деталі, присадочний матеріал для зварювання та паяння
Бр.ОФЦ4-3	Стрічки, смуги, прутки, які застосовують в електротехніці та машинобудуванні, дріт для пружин і апаратури хімічної промисловості
Бр.ОФЦС4-4-4	Стрічки, смуги для прокладок у втулках і підшипниках

Алюмінієві бронзи є сплавами системи *Cu-Al* вмістом алюмінію 4-11,5%. Ці бронзи часто використовують для заміни більш дорогих олов'яних. Для покращення властивостей алюмінієві бронзи легують марганцем, залізом і нікелем.

Марганець сприяє підвищенню міцності і пластичності, покращує антифрикційні властивості і корозійну стійкість алюмінієвих бронз.

Залізо до 4% розчиняється у α -твердому розчині, а в надлишку утворює хімічну сполуку Al_3Fe , яка є зміцнюючою фазою.

Нікель покращує механічні і технологічні властивості бронз особливо при високих температурах.

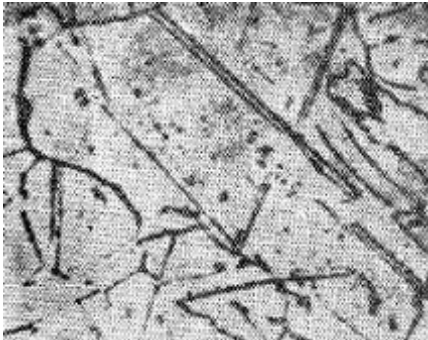
Алюмінієві бронзи мають високі механічні властивості, підвищену жароміцність і антикорозійну стійкість.

За технологією обробки алюмінієві бронзи поділяють на ливарні і деформівні. Деякі марки бронз можуть використовувати одночасно, як ливарні і як деформівні. Щоб їх розрізнити в кінці марок ливарних бронз ставлять літеру "Л", що означає ливарний сплав.

Структура алюмінієвої бронзи із вмістом до 9,4% *Al* є однофазною (α -твердий розчин атомів алюмінію в кристалічній ґратці міді).

Із збільшенням вмісту алюмінію у бронзі до 10% присутні ділянки евтектоїду ($\alpha+\beta$), які існують при температурі вище 565°C.

Мікроструктурі бронзи Бр.А10 після деформації і гартування представлені на рис. 17.8.



a



б

Рис. 17.8. Мікроструктура бронзи БрА10:
a – після деформації; *б* – після гартування

Розділ 1

Марки та застосування деяких ливарних і деформівних алюмінієвих бронз наведенні відповідно у табл.17.6.

.Марки та застосування деяких ливарних і деформівних алюмінієвих бронз

Таблиця 17.6

Марки	Застосування
Ливарні	
Бр.А9Мц2Л	Антифрикційні деталі, деталі арматури, що працюють в прісній воді, рідкому паливі і в парі при температурі до 250°С
Бр.А10Мц2Л	
Бр.А9ЖЗЛ	Арматура, антифрикційні деталі
Бр.А10ЖЗМц2	
Бр.А10Ж4Н4Л14	Деталі хімічної та харчової промисловості, деталі, що працюють при підвищених температурах
Бр.А11Ж6Н6	Арматура, антифрикційні деталі
Бр.А9Ж4Н4Мц1	Антифрикційні деталі
Деформівні	
Бр.А5	Стрічки, листи, смуги. Деталі, що працюють в морській воді; монети, деталі хімічного машинобудування
Бр.А7	Стрічки, смуги, прутки, листи. Пружини, пружні деталі, деталі хімічного машинобудування, ковзаючі контакти, втулки
Бр.АЖ9-4	Прутки, труби пресовані, шестерні, втулки, гайки натискних гвинтів, сідла клапанів в авіапромисловості
Бр.АМц9-2	Прутки, смуги, стрічки. Трубні дошки конденсаторів, зносостійкі деталі, гвинти, вали в морському суднобудуванні для різних деталей, арматура, що працює до 250°С, шестерні, втулки
Бр.АМц10-2	Прутки, труби. Деталі в суднобудуванні, для черв'ячних гвинтів, шестерень, втулок
Бр.АЖН10-4-4	Труби, прутки, поковки, деталі відповідального призначення в авіапромисловості (втулки випускних клапанів, шестерні), трубні дошки конденсаторів, деталі хімічної апаратури

Свинцеві бронзи. Свинцеві бронзи є сплавами системи *Cu-Pb* з вмістом свинцю 25-63%. Вони володіють високими атмосферними властивостями. Застосовується для деталей, які працюють в умовах тертя.

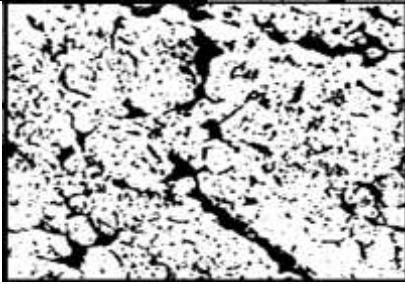


Рис. 17.9. Мікроструктура бронзи марки Бр.С30

В промисловості використовують бронзи марок Бр.С30, Бр.СН60-2,5, Бр.ОС5-25, Бр.ОС8-12.

Серед них найбільш відома марка Бр.С30. З цієї бронзи виготовляють підшипники ковзання, які працюють в умовах підвищеного тиску і великих швидкостей.

Мікроструктура бронзи Бр.С30 складається із зерен міді(світлий фон) та нерозчинних у ній крапель свинцю темного кольору (рис.17.9.)

Берилієві бронзи – це сплави систему Cu-Be, які містять 1,6-2,2% Be. Їх легують нікелем і титаном. Нікель підвищує жароміцність, атитан сприяє додатковому зміцненню за рахунок сполук $TiBe$ і Cu_3Ti . Термічна обробка берилієвих бронз включає гартування і штучне старіння.

Найвищий комплекс механічних властивостей берилієва бронза марки Бр.Б2 досягає після гартування від температури 800°C та старіння при 300-350°C на протязі 9 год.

Підвищення міцності і твердості берилієвих бронз пов'язане із виділенням з α – твердого розчину дисперсних частинок $CuBe$ (рис.17.10).

Берилієві бронзи поєднують високу міцність, корозійну стійкість з теплоелектропровідністю. Але через високу вартість їх використовують лише для особливо відповідальних виробів у вигляді стрічок дроту для пружин, мембран, сільфонів і контактів в електричних машинах, апаратах та пристроях.

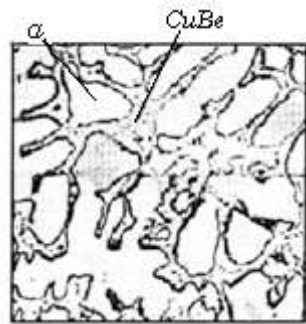


Рис. 17.10. Мікроструктура бронзи марки Бр.Б2

Висока твердість берилієвих бронз дозволяє використовувати їх в якості ударного інструменту у вибухонебезпечних умовах (шахти, газове зварювання, виробництво вибухових речовин, тощо), коли неприпустиме утворення іскр.

Кремнієві бронзи містять від 0,6 до 3,5 Si і невелику кількість Ni і Mn . За механічними властивостями переважають олов'яні і є більш дешевшими.

Вони мають задовільний рівень ливарних властивостей, піддаються обробці тиском, добре оброблюються різанням, задовільно зварюються, мають високу корозійну стійкість і високі антифрикційні властивості.

Розділ 1

Із кремнієвої бронзи Бр.КМц 3-1 виготовляють прутки, листи, полоси, деталі для апаратів, які використовуються у хімічній промисловості, пружини приладів, деталі зварних конструкцій.

Кремнієву бронзу Бр.КН1-3 використовують для виготовлення баків, резервуарів, антифрикційних деталей, відповідальних деталей у моторобудуванні, профільного прокату.

Порядок виконання роботи

1. Отримати набір протравлених мікрошліфів латуней та бронз заданого хімічного складу.
2. Користуючись оптичними мікроскопами, розглянути мікроструктури зразків при збільшеннях 100-500 разів і схематично їх замалювати.
3. Вказати марки сплавів, їх хімічний склад, структурні складові.
4. Навести приклади використання розглянутих сплавів в машинобудуванні.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Схематично замалювати структури зразків досліджуваних сплавів латуней і бронз, вказавши їх хімічний і фазовий склад.
4. Вказати галузі застосування досліджуваних сплавів.

Контрольні запитання: 1. Які сплави називають латунями? 2. Як маркують латуні? 3. Як змінюється структура і властивості латуней із збільшення у них вмісту цинку? 4. Які легуючі елементи використовують для покращення властивостей латуней? 5. Які деталі виготовляють із ливарних і деформівних латуней? 6. Які сплави називають бронзами? 7. Як маркують бронзи? 8. Як класифікують бронзи за вмістом легуючих елементів? 9. Які легуючі елементи використовують для покращення властивостей бронз? 10. Які деталі виготовляють із олов'яних, кремнієвих, свинцевих, марганцевих і берилієвих бронз?

Лабораторна робота №18

Структура та властивості антифрикційних матеріалів

Мета роботи. 1. Ознайомитися з будовою, властивостями та використанням бабітів. 2. Вивчити вплив легуючих елементів на структуру і властивості бабітів. 3. Самостійно дослідити мікроструктуру бабітів.

Обладнання та матеріали: оптичні мікроскопи, набори мікрошліфів олов'яних, свинцевих, цинкових, кальцієвих і алюмінієвих бабітів, діаграми стану сплавів бабітів, альбоми мікроструктур бабітів, стенди.

Теоретичні відомості

Антифрикційними називають сплави, які використовують для збільшення терміну роботи поверхонь деталей, що працюють в умовах тертя. Тертя відбувається у підшипниках між вкладишем і поверхнею вала. Матеріал вкладиша повинен мати низький коефіцієнт тертя, високу теплопровідність, гарну припрацьованість до валу, малу щільність та створювати умови для нормального змащування.

У процесі експлуатації антифрикційні матеріали повинні мінімально зношуватися і не викликати значного зносу вала. Виходячи із цих умов, будова антифрикційних сплавів повинна бути різномірною: мати м'яку пластичну основу, в якій рівномірно розподілені дрібні тверді частинки. При цьому м'яка пластична основа сприяє рівномірному розподілу тиску на робочій поверхні вкладиша і забезпечує припрацювання пари „вкладиш – вал”, а дрібні тверді частинки зміцнюють при терті основу тонких поверхневих шарів, запобігають пластичній течії та схватуванню, а також слугують опорою для вала. Бабіти відносяться до антифрикційних матеріалів на основі олова, свинцю, кальцію та алюмінію.

ОЛОВ'ЯНІ БАБІТИ

Олов'яні бабіти є кращими підшипниковими сплавами. Їх використовують для виготовлення вкладишів парових турбін, компресорів, дизельних двигунів, які працюють в умовах великих навантажень і швидкостей.

Олов'яні бабіти маркують літерою Б, після якої ставиться цифра, що вказує на вміст олова в сплаві у відсотках.

Із олов'яних бабітів найбільш широке застосування отримали бабіти марки Б83, які містять 83% олова (*Sn*), 11% сурми (*Sb*) і 6% міді (*Cu*).

Структура бабіту Б83 складається із α – твердої фази, яка під мікроскопом має темний фон, β – кристалів (*SnSb*) білого кольору та інтерметаліду міді з оловом *Cu₃Sn* у вигляді світлих зірочок і паличок (рис. 18.1).

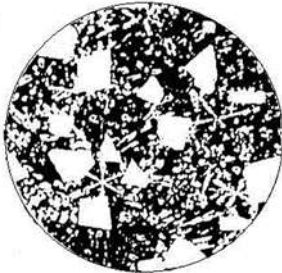


Рис. 18.1 Мікроструктура бабіту марки Б83



Рис. 18.2 Мікроструктура бабіту марки Б16

Розділ 1

Хімічний склад і властивості олов'яних бабітів Б89 і Б83 наведені у табл.18.1.

Хімічний склад і властивості олов'яних бабітів

Таблиця 18.1

Марки	Хімічний склад (Sn-основа, домішки – 0,55),%		Щільність, г/см^3	Температура плавлення	$\sigma_{\text{в}}$, МН/М^2	δ , %	Коефіцієнт тертя	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$
	Sb	Cu						
Б89	7,25-8,25	2,5-3,5	7,3	342	90	9	-	-
Б83	10-12	5,5-6,5	7,4	380	90	6	0,005	21

СВИНЦЕВІ БАБІТИ

У порівнянні з олов'яними свинцеві бабіти є більш економічними, але мають більший коефіцієнт тертя та більш крихкі, тому що містять в м'якій матриці достатньо крихку евтектику.

Вміст олова у них знаходиться в межах 5 - 7%, решта мідь, нікель, телур, миш'як, кадмій. Мідь усуває ліквіацію сплавів, підвищує твердість і ударну в'язкість свинцевих бабітів.

Нікель зменшує зношування, підвищує в'язкість і твердість сплавів.

Телур і миш'як утворюють дрібні включення типу $TePb$ і $AsPb$, які суттєво збільшують зносостійкість бабіту.

Кадмій збільшує міцність, твердість і корозійну стійкість.

Свинцеві бабіти, які містять нікель або телур, маркують відповідно літерами БН та БТ.

До свинцевих відносять бабіти марок Б16, Б6, БН і БТ. Бабіт Б16 використовують, як заміник бабіта Б83 для антифрикційних деталей електродвигунів, парових турбін, які не зазнають значних ударних навантажень, компресорів, вакуум-насосів, верстатів, шатунних вкладишів тракторних і автомобільних двигунів тощо.

На рис. 18.2. наведена структура свинцевого бабіту марки Б16. Вона складається із крупних кристалів β ($SnSb$) світлого кольору близьких за формою до квадратних, які розміщені у потрійній евтектиці $\alpha+(\alpha+\beta)+\gamma$, де:

α – твердий розчин темного кольору, β – крупні світлі кристали $SnSb$,

γ – інтерметалід $Cu_6 Sn_5$, який має вид зірчастих кристаликів.

Хімічний склад і властивості свинцевих бабітів наведені у табл. 18.2.

Таблиця 18.2

Марки	Хімічний склад (Pb-основа; домішки – 0,35-0,60),%				Щільність, г/см ³	Температура плавлення, °С	σ_6 , МН/М ²	δ ,%	Коефіцієнт тертя	Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^{-6}$
	Sn	Sb	Cu	решта						
Б16	15-17	15-17	1,5-2,0	-	9,3	410	80	0,5	0,006	24
Б6	5-6	14-16	2,5-3,0	0,6-1,0 As 1,75-2,25 Cd	9,6	460	70	0,5	0,005	21
БН	9-11	1,5-2,0	1,5-2,0	0,5-0,9 As 0,75-1,25Ni	9,5	400	70	1,0	0,006	-
БТ	9-11	0,7-1,1	0,7-1,1	1,25-1,75 Cd 0,05-0,20 Te	-	-	80	2,0	0,009	23

ЦИНКОВІ БАБІТИ

Цинкові бабіти поступаються олов'яним за пластичністю, коефіцієнтом тертя і лінійного розширення та є приблизно рівноцінні свинцевим.

Основним легуючим елементом у них є алюміній (9 - 12%). Цинкові бабіти маркують літерами ЦАМ і цифрами. Літера Ц означає цинковий бабіт. Літера А і М вказують, що сплав містить алюміній і мідь. Цифри після літер відповідають вмісту алюмінію і міді у відсотках у тому ж порядку, у якому розміщені літери у сплаві. Цинкові бабіти використовують в підшипниках металообробних верстатів, пресів, компресорів, насосів. Мікроструктура цинкових бабітів представлена на рис. 18.3. Вона складається із α -фази (твердий розчин цинку в алюмінію) і β фази (твердий розчин алюмінію в цинку). Хімічний склад і властивості цинкових бабітів наведені у табл. 18.3

Хімічний склад і механічні властивості цинкових бабітів

Таблиця 18.3.

Марка	Хімічний склад (Zn-основа, домішки 0,35), %			Температура плавлення, °С	σ_6 , МН/М ²	δ ,%	Коефіцієнт тертя	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$
	Al	Cu	Mg					
ЦАМ10-5	10,0-12,0	4,0-5,0	0,03-0,06	395	300	0,05	0,009	27
ЦАМ9-1,5	9,0-11,0	1,0-2,0	0,03-0,06	500	300	1,0	-	28

КАЛЬЦІЄВІ БАБІТИ

Кальцієві бабіти є відносно дешевими сплавами. Вони володіють гіршими властивостями ніж олов'яні, свинцеві та цинкові.

Кальцієві бабіти допускають робочий тиск до 1000 МПа. Їх використовують в підшипниках металообробних верстатів, редукторів, в залізничному транспорті (підшипники букс вагонів) тощо. Мікроструктура кальцієвого бабіту представлена на рис. 18.4. Вона складається із хімічної сполуки Pb_3Ca у вигляді світлих дендритів, розміщених на темному фоні твердого розчину натрію у свинці.

Хімічний склад і властивості кальцієвих бабітів наведені у табл. 18.4



Рис. 18.3 Мікроструктура цинкового бабіту марки ЦАМ

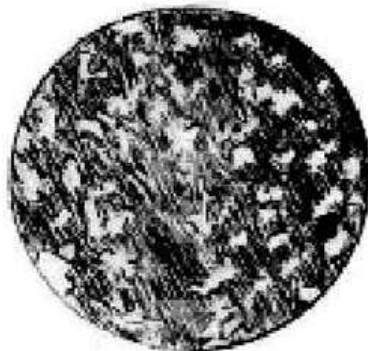


Рис. 18.4 Мікроструктура кальцієвого бабіту марки БК

Хімічний сплав і властивості кальцієвих бабітів

Таблиця 18.4.

Марки	Хімічний склад (Pb-основа, домішки 0,67-0,85), %				Щільність, г/см ³	Температура плавлення, °С	$\sigma_{\text{Мн}} / \text{М}^2$	δ , %	Коефіцієнт тертя	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$
	Ca	Na	Sn	решта						
БКА	0,85-1,15	0,6-0,9	-	0,05- 0,40 Al	10,5	470	100	2,5	0,004	26
БК2	0,35-0,55	0,25-0,55	1,5-2,5	0,04- 0,09 Mg	-	-	-	-	0,0037	26

АЛЮМІНІЄВІ БАБІТИ

Алюмінієві бабіти володіють низьким коефіцієнтом тертя і високою зносо-стійкістю, але за технологічними властивостями поступаються олов'яним і свинцевим. Високий коефіцієнт лінійного розширення алюмінієвих бабітів вимагає великих зазорів у вузлах пари тертя вал – вкладиш.

Алюмінієві бабіти використовують в якості замітника олов'яних і свинцевих. Хімічний склад і властивості алюмінієвих бабітів наведені в таблиці 18.5

Хімічний склад і властивості алюмінієвих бабітів

Таблиця 18.5

Марка	Хімічний склад (Al-основа), %			Температура плавлення, °С	Щільність, г/см ³	$\sigma_{\text{в}}$ Мн / м ²	δ , %	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$
	Sb	Mg	решта					
ACC6-5	5-6	0,5-0,7	4-5 Pb	750	3,1	80	14	24
АСМ	3,5-5	0,5-0,7		750	2,8	85	29	24
АН2,5	-	-	2,7-3,4 Ni	650	2,85	140	23	25,5

Послідовність виконання роботи

1. Отримати мікрошліфи олов'яних, свинцевих, цинкових, кальцієвих і алюмінієвих бабітів.
2. За маркою зразка бабіту розшифрувати його хімічний склад і охарактеризувати властивості.
3. Розглянути під мікроскопом при збільшені 100-500 разів мікроструктури зразків бабітів.
4. Користуючись діаграмами стану сплавів і альбомами мікроструктур бабітів, визначити мікроструктуру кожного зразка і схематично її зарисувати.
5. Вказати галузі застосування досліджуваних марок бабітів.

Контрольні запитання: 1. Які сплави називають бабітами? 2. Якими властивостями повинні володіти бабіти, виходячи із умов використання їх як антифрикційного матеріалу? 3. Як маркують олов'яні бабіти? 4. Де використовують олов'яні бабіти? 5. Якими властивостями володіють свинцеві бабіти? 6. Як маркують свинцеві бабіти? 7. Як впливають мідь, нікель, телур, кадмій і миш'як на властивості свинцевих бабітів? 8. Яка структура свинцевого бабіту Б16? 9. Де використовують свинцеві бабіти? 10. Який хімічний склад цинкових бабітів? 11. Як маркують цинкові бабіти? 12. Яка структура цинкового бабіту марки ЦАМ? 13. Де використовують цинкові бабіти? 14. Який хімічний склад кальцієвих бабітів? 15. Яка структура кальцієвого бабіту марки БК? 16. Де використовують кальцієві бабіти? 17. Який хімічний склад алюмінієвих бабітів? 18. Якими властивостями володіють алюмінієві бабіти? 19. Де використовують алюмінієві бабіти?

Лабораторна робота № 19

Мікроструктура і властивості матеріалів з ефектом пам'яті форми

Мета роботи: Вивчити склад металів з ефектом пам'яті форми, умови мартенситних перетворень у процесі нагрівання та охолодження і встановити залежності ефекту пам'яті форми від складу сплавів і режимів їх обробки.

Обладнання та матеріали. Зразки металів, що володіють ефектом пам'яті форми, водяна ванна, підставка для вимірювання зміни геометричних параметрів зразків, термометр, електронагрівач, стенди, плакати.

Теоретичні відомості

Явище відновлення первинної геометричної форми у результаті нагріву металів називається **ефектом пам'яті форми** (ЕПФ).

Перша реєстрація спостереження ефекту пам'яті форми металів відбулася у 1932 році А. Оландером. На основі металографічних спостережень та зміни електричного опору було відмічено псевдопружну поведінку сплаву *Al-Cd*.

У 1938 році Гринінджер і Мурадян спостерігали появу і зникнення фази мартенситу при нагріваннях і охолодженнях зігнутого бруска із сплаву *Cu-Zn*. Основне явище ефекту пам'яті, керованого термопластичного поведінки стадії мартенситу, було широко повідомлене громадськості десятиліттям пізніше Курдюмовим В.М. і Хандросом Л.Г. (1949, Київ, Інститут металофізики) та Чангом і Рідом.

У 1962 році в американській військово-морській лабораторії артилерії ефект пам'яті форми виявлено у сплаві *Ni-Ti*. Цей сплав було названо *Nitinol*. Відкриття ефекту пам'яті форми у даному сплаві дало великий поштовх дослідженням та застосуванням його у різних галузях.

Найбільш інтенсивний розвиток таких сплавів, вивчення їх властивостей, розробок технічних пристроїв для галузей електроенергетики, побутової техніки, медицини, комп'ютерної техніки спостерігається починаючи з 1988 року.

ЕПФ виникає у випадку термопружної рівноваги між високотемпературною матричною і низькотемпературною мартенситною фазами у сплаві. Для відновлення форми металу необхідно, щоб мартенситне перетворення було кристалографічно-зворотнім. Крім того пластична деформація повинна відбуватися без ковзання.

В зв'язку з тим що ЕПФ визначається термопружними мартенситними перетвореннями, важливим є визначення їх температурних інтервалів при нагріванні і охолодженні.

Схема впливу температури на фазовий склад сплавів наведено на рис. 19.1.

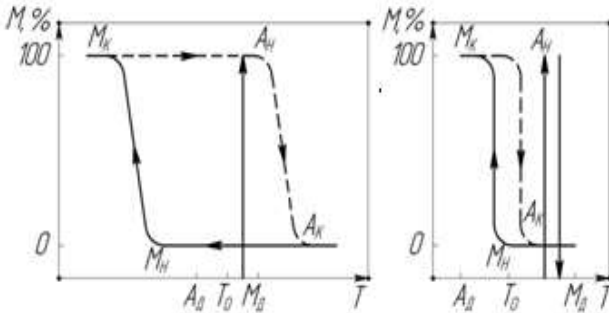


Рис. 19.1. Фазовий склад сплавів з ЕПФ в залежності від температури

Із рис.19.1 видно, що при охолодженні сплаву із аустенітного стану початок утворення мартенсита відбувається при температурі M_H . В подальшому під час охолодження кількість мартенситу збільшується і повне перетворення аустеніту в мартенсит закінчується при температурі M_K .

При нагріванні перетворення мартенситу в аустеніт починається з температури A_H і закінчується при температурі A_K . При повному термоциклюванні утворюється гістерезисна петля, ширина якої по температурній шкалі $A_K - M_H$ або $A_H - M_K$ може бути різною в залежності від хімічного складу сплавів, - відповідно широкий і вузький гістерезис. Крім цих температур зазвичай розглядають ще три характерні температури: T_0 , M_d , A_d , де: T_0 – температура термодинамічної рівноваги; M_d – температура, нижче якої мартенсит може утворитися не тільки внаслідок охолодження, але і під дією механічного напруження; A_d – температура, вище якої аустеніт може виникнути не тільки під дією температури, але і під впливом механічних напружень. Хімічний склад, температури мартенситних перетворень деяких сплавів з ефектом пам’яті форми наведені у табл. 19.1.

Хімічний склад температури перетворень сплавів з ЕПФ

Таблиця 19.1.

Сплав	Вміст елементів, %						$t_{M_s}, ^\circ C$	$t_{M_f}, ^\circ C$	$\Delta t, ^\circ C$
	Cd	Al	Ni	Zn	Ti	Cu			
Ag-Cd	44-49	-	-	-	-	-	-50	-190	15
Au-Cd	46,5-50	-	-	-	-	-	100	30	15
Cu-Al-Ni	-	14,0-14,5	3,0-4,5	-	-	-	100	-140	35
Cu-Al-Zn	-	23-28	-	45-47	-	-	40	-190	6
Cu-Zn	-	-	-	38,5-41,5	-	-	-10	-180	10
In-Ti	-	-	-	-	18-23	-	100	60	4
Ni-Al	-	36-38	-	-	-	-	100	-180	10
Ti-Al	-	-	49-51	-	-	-	100	-50	30
Mn-Cu	-	-	-	-	-	5-35	180	-250	25

Розділ 1

Із врахуванням вартості легуючих елементів з наведених сплавів тільки титано-нікелеві та сплави на основі міді є найбільш придатними для практичного застосування. Властивості сплаву з ефектом пам'яті форми системи *Ti-Ni* наведені в табл. 19.2.

Властивості сплавів з ефектом пам'яті форми

Таблиця.19.2.

Властивості		Системи сплавів	
		<i>Ti-Ni</i>	<i>Си основа</i>
Максимальна зворотна деформація, %		8	4
Напруга відновлення форми, МПа		400	200
Циклічна довговічність при	$\varepsilon = 0,02$	10^5	10^2
	$\varepsilon = 0,005$	10^7	10^5
Щільність, г/см ³		6,4-6,5	7,1-8,0
Температура плавлення, °С		1250	950-1050
Теплопровідність, Вт/м·°С	мартенситу	8,6-10	-
	вихідної фази	18	79-120
Питомий опір, 10^{-6} Ом	мартенситу	0,5-0,6	0,14
	вихідної фази	0,82-1,1	0,07
Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	мартенситу	6,6	16-18
	вихідної фази	10-11	-
Питома теплоємність, Дж/кг·°С		470-620	390-440
Ентальпія переходу, Дж/кг		19-28	7-9
Модуль Юнга, ГПа	мартенситу	28-41	70
	вихідної фази	70-97	70-100
Межа текучості, МПа	мартенситу	70-140	80-300
	вихідної фази	195-690	150-350
Межа міцності, МПа	після відпалу	895	400
	після деформаційного зміцнення	1900	1000
Подовження при розтягу, %	після відпалу	25-50	8-15
	після деформаційного зміцнення	5-10	8-15
Ефект односторонньої пам'яті, %		8	4-6
Ефект двосторонньої пам'яті, %		3-5	1-4
Понад пружна деформація, %		8	2
Вироблювана робота, Дж/г		1-4	1

Для створення ефекту пам'яті форми сплави піддають певній термічній обробці. Спосіб обробки залежить від складу сплаву і його призначення та визначається з урахуванням форми і розмірів виробів тощо.

Обробка сплавів Ti - Ni. Для сплавів цієї системи застосовують обробку при проміжних температурах, низькотемпературну обробку і старіння.

Обробка при проміжних температурах полягає в тому, що спочатку за допомогою прокатування або волочіння сплав піддається деформаційному зміцненню. Потім за допомогою відповідної технологічної обробки сплаву задається відповідна форма, і вже в такому стані здійснюється термічна обробка для запам'ятовування форми шляхом нагріву при 400 – 500°C з витримкою від декількох хвилин до декількох годин.

Слід зазначити, що при обробці при проміжних температурах в міру підвищення температури обробки збільшується зворотна деформація. Проте спостерігається закономірність: чим нижче температура обробки, тим більше циклічна довговічність сплаву.

Низькотемпературна обробка полягає в тому, що після витримки при високій температурі сплав швидко охолоджується. Потім заготовкам із сплаву з нормалізованою структурою надається задана форма і здійснюється обробка для створення пам'яті форми шляхом нагрівання до 200–300°C.

Обробка з метою змінення форми здійснюється у сплавів в рівноважному стані, тобто після відпалу. Цей спосіб виконують при виготовленні виробів складної форми або з сильною кривизною.

Характеристики відновлення форми виробів після низькотемпературної обробки досить низькі в порівнянні з властивостями виробів після обробки при проміжних температурах.

Старіння здійснюється після обробки для отримання твердого розчину при 800 – 1000°C. Загартований сплав піддається старінню при ~400°C протягом декількох годин. Цей спосіб ефективний тільки для сплавів з вмістом Ni більше 50,5%. При застосуванні цього способу отримують такі ж сприятливі характеристики відновлення форми, як і після обробки при проміжних температурах.

Сплави з ефектом пам'яті форми використовують в авіакосмічній, медичній та побутовій техніці, приладобудуванні, спеціальному машинобудуванні, як елементи конструкцій і пристроїв, що недосяжні при використанні інших матеріалів, наприклад, з'єднання деталей без зварювання, пайки, клею або різі.

З'єднання труб за допомогою муфт (рис.19.2). Для муфт використовується сплав Ti-Ni-Fe, температура перетворення якого значно нижче кімнатної (~ - 150°C). Внутрішній діаметр муфти виготовляється приблизно на 4 % менше, ніж зовнішній діаметр труб, які з'єднуються.

Перед з'єднанням муфта занурюється в рідке повітря і витримується при низькій температурі. У такому стані в муфту вводиться дорн і розширюється внутрішній діаметр на 7–8%. У розширену для цього муфту з двох сторін вводяться труби, які з'єднуються, пристрій видаляється для підтримки низької температури, в результаті чого температура муфти підвищується до кімнатної. Внутрішній діаметр муфти відновлюється до того діаметру, який муфта мала перед розширенням і відбувається міцне з'єднання труб. Перевагою методу виготовлення муфт із сплавів з пам'яттю форми, окрім високої надійності, є відсутність високотемпературного нагріву.

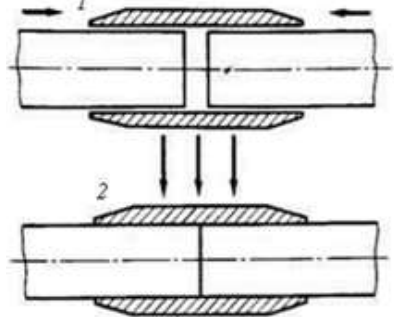


Рис. 19.2. З'єднання труб за допомогою ефекту пам'яті форми:

1 – введення труб після розширення муфти; 2 – нагрівання

Крім того, при необхідності легко здійснюється розбирання з'єднання при низькій температурі. Муфти такого типу застосовуються для трубопроводів атомних підводних човнів, надводних кораблів, для ремонту трубопроводів перекачування нафти, причому для цих цілей використовують муфти великого діаметра до 150 мм. У даний час в цих випадках застосовується також сплав $Cu-Zn-Al$.

Стопори. Для нерухомого з'єднання деталей зазвичай застосовуються заклепки і болти. Проте, якщо неможливо здійснювати які-небудь дії на протилежному боці деталей, що з'єднуються (наприклад, в герметичній порожнистій конструкції), виконання операцій кріплення викликає труднощі.

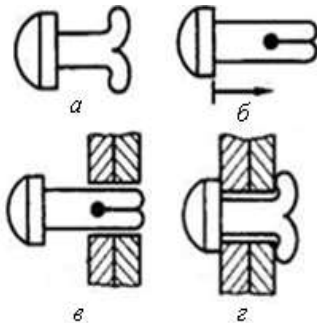


Рис. 19.3. Принцип дії стопора з ефектом пам'яті форми

Стопори із сплаву з ефектом пам'яті форми дозволяють в цих випадках здійснити кріплення, використовуючи явище відновлення форми.

Стопори виготовляються із сплаву з ефектом пам'яті форми, у якого температура кінця зворотного перетворення (A_f) менше кімнатної, причому в початковому стані стопор має розкритий торець (рис. 19.3, а).

Перед здійсненням операції кріплення стопор занурюється в сухий лід або рідке повітря і охолоджується, після чого випрямляються торці (рис. 19.3, б), а стопор вводиться в нерухомий

отвір для кріплення (рис. 19.3, *в*). При підвищенні температури до кімнатної відбувається відновлення форми, торці штифта розходяться (рис. 19.3, *з*) і операція кріплення завершується.

Температурні запобіжники. Елементи з ефектом пам'яті форми можуть одночасно виконувати функції датчиків температури та виконавчих елементів, тому застосування їх в цих цілях найефективніше.

Наприклад, на рис. 19.4 наведена схема температурного запобіжника з використанням сплаву з ефектом пам'яті форми. Запобіжники з використанням сплавів з пам'яттю форми відрізняються від плавких запобіжників тим, що витягають роз'ємну частину (*I* – тонка пластина зі сплаву *Ti-Ni*) з великою силою, тому помітно виявляється ефект гасіння дуги. Ці елементи використовуються як запобіжники розраховані на велику потужність або високу напругу.

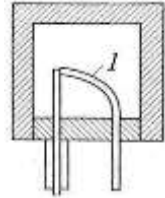


Рис. 19.4.
Температурний запобіжник

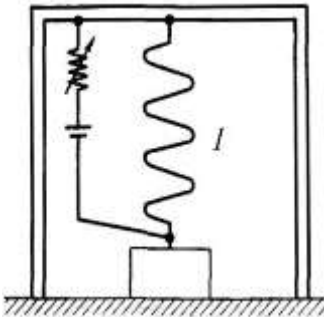


Рис. 19.5. Механізм підйому вантажу з застосуванням сплаву з ефектом пам'яті форми

Механізми підйому вантажу.

Приклад використання сплавів з ефектом пам'яті форми для підняття вантажу наведено на рисунку 19.5. Підняття вантажу здійснюється прямим пропусканням струму по спіралі *I*, яка виготовлена із сплаву з ефектом пам'яті форми.

Сплави на титано-нікелевій основі мають кращі властивості, а сплави на мідній основі мають економічні переваги. Тому в таких галузях техніки, де потрібна висока надійність при більшому числі циклів роботи, наприклад, для виконавчих механізмів і перемикачів, застосовують *Ti-Ni* сплави.

Там, де число циклів обмежене (наприклад, одним циклом), як у температурних запобіжників або у пристроїв безпеки, що діють тільки в аварійних випадках (наприклад, при пожежі), можна застосовувати сплави на мідній основі, враховуючи їх нижчу вартість.

Конкретний вибір сплавів визначається з урахуванням різних обставин – призначення, робочого середовища, можливості виготовлення, вартості тощо.

Порядок виконання роботи

Для виконання роботи використовують пристрій (рис. 19.6), що містить скляну ванну 1, на дні якої закріплена підставка 2 з градуйованою шкалою 3. Для нагріву води і контролю її температури використовують електронагрівач 4 і термометр 5, які встановлюють відповідно на стійках 6 і 7. Зразок 8 розміщують на підставках 2 і кріплять затискачами 9. У якості матеріалу зразків беруть сплави *Cu-Al-Ni* або *Cu-Al-Zn*.

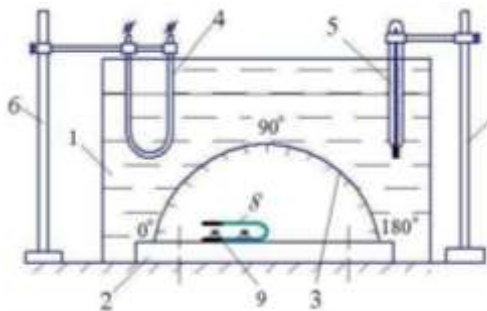


Рис. 19.6. Пристрій для визначення ефекту пам'яті форми сплавів

Визначення ефекту пам'яті форми сплавів виконують у такій послідовності:

- на дні ванни розміщують підставку з закріпленою на ній градуйованою шкалою;
- зразок у вигляді стрічки згинають на оправці до утворення U- подібної форми і розміщують на підставці паралельно градуйованій шкалі в такому положенні, щоб вершина його згину у вертикальній площині співпадала із позначкою 90° шкали;
- встановлюють у ванні термометр і електронагрівач, які закріплені на стійках;
- заповнюють ванну водою до 0,8 рівня від її загальної висоти;
- вмикають електронагрівач 4 і фіксують зміну форми зразка залежно від температури його нагріву.

Отримані результати досліджень заносять у табл. 19.3.

Результати визначення ефекту пам'яті форми зразків

Таблиця 19.3.

№ п/п	Марка сплаву з ЕПФ	Температура нагріву зразка, °С	Відносна деформація зразка у градусах

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Визначити величину деформації зразка в процесі нагріву. Пояснити та описати отримані результати експерименту.
4. Висновки по виконаній роботі.

Контрольні запитання

1. Яке явище носить назву «ефект пам'яті форми» металів? 2. У чому полягає суть фізичних перетворень у будові сплавів, які зумовлюють відновлення попередньої до деформації форми виробу? 3. У яких випадках сплави з ефектом пам'яті форми є односторонніми і двосторонніми? 4. Яка різниця в змінах структури сталі та сплавів з ефектом пам'яті форми при зовнішньому механічному навантаженні? 5. Наведіть приклади сплавів з ефектом пам'яті форми. Дайте їм оцінку з умов доцільності використання, можливості виготовлення, вартості тощо. 6. У яких галузях техніки використовують сплави з ефектом пам'яті форми.



Розділ 2

МЕТАЛУРГІЯ ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

- ♦ Вихідні матеріали і продукти доменного виробництва
- ♦ Вихідні матеріали і продукти виробництва сталеплавильних, прокатних та ковальсько-пресових цехів
- ♦ Визначення властивостей металевих порошків

Лабораторна робота 20

Вихідні матеріали і продукти доменного виробництва

Мета роботи: ознайомитися зі зразками вихідних матеріалів і продуктами доменного виробництва та їх призначенням.

Обладнання та матеріали: стенди, плакати, набори зразків вихідних матеріалів і продуктів доменного виробництва, матове скло.

Теоретичні відомості

Сучасне металургійне виробництво — це складний комплекс взаємодії різних заводів, цехів, який охоплює шахти для добування руд і кам'яного вугілля, гірничозбагачувальні фабрики та різні цехи (доменні, коксохімічні, сталеплавильні, прокатні; феросплавні, енергетичні та ін.).

У доменних печах при отриманні чавуну із руд використовують пірометалургійний метод, при якому відновлення заліза із його хімічних сполук відбувається за високих температур, у процесі екзотермічних реакцій.

На сучасних металургійних заводах (комбінатах) доменні цехи є основними, оскільки в них виробляють не тільки доменні чавуни, а й паливо (доменний газ), який використовують для потреб інших цехів (енергетичних, коксохімічних, вогнетривів та ін.).

Послідовність виконання роботи

1. Коротко описати схему технологічного процесу металургійного виробництва.
2. Користуючись стендами, плакатами та наборами зразків вихідних матеріалів і продуктів доменного виробництва, описати зовнішні ознаки зразків.
3. Описати призначення вихідних матеріалів і продуктів доменного виробництва.
4. Описати хімічний склад вихідних матеріалів і продуктів доменного виробництва.
5. Провівши зразком руди по матовому склу, визначити вид руди за кольором отриманої риски.

Вихідні матеріали для доменного виробництва. Для виплавлення металургійних чавунів у доменних печах, які мають об'єм від 1000 до 5400 м³, потрібні такі вихідні матеріали: залізні і манганові руди; паливо; флюси; вогнетриви.

Залізною рудою називають гірничу породу, яка крім пустої породи містить хімічні сполуки заліза і шкідливі домішки сполук сірки і фосфору (FeS , $P_2O_5(CaO)_3$). Крім того, залізні руди (поліметалеві) можуть містити сполуки інших металів (Mn , Cr , V тощо).

Паливом у доменних печах є кокс, деревне вугілля, природний газ, порошок кам'яного вугілля.

Флюси для доменного виробництва: вапняк ($CaCO_3$), кремнезем (SiO_2), мармур, плавиковий шпат (CaF_2 і KF).

Залізні руди. У земній корі залізо перебуває здебільшого у вигляді оксидів заліза.

Гематит Fe_2O_3 — червоний залізняк, який є безводним оксидом заліза і може містити 50...70% заліза. Колір руди залежно від кількості й характеру пустої породи змінюється від червоного до темносірого. Колір риски на матовому склі від гематиту — вишнево-червоний. Ця руда найчистіша за вмістом шкідливих домішок (сірки, фосфору). Пуста порода — кремнезем.

Основні родовища: Криворізьке (Україна), Курське, Оленьогорське, Ангаро-Пітське, Атаусуйське (Росія).

Магнетит Fe_3O_4 - магнітний залізняк, що є найбагатшою залізною рудою з масовою часткою заліза 55,0...72,4%. Руда має природний магнетизм. Колір руди чорний, тому на матовому склі вона залишає чорну риску. Пуста порода — кремнезем, глинозем, вапняк.

Основні родовища: Курське (Росія), Магнітогорське, Тагило-Кушвінське (Урал, Росія), Соколівське, Сарбайське, Качарське (Казахстан), Ковдорське, Оленьогорське (Кольський півострів, Росія).

Лимоніт $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ — бурий залізняк, що є водним оксидом заліза з його масовою часткою 48...63%. Колір руди — бурий (тютюновий). На матовому склі залишає риску такого самого кольору. Пуста порода глиниста. Такі руди

Розділ 2

часто містять значну кількість інших елементів, що негативно впливає на процесі відновлення з них заліза.

Основні родовища: Керченське (Україна), Тульське, Липецьке (Росія), Бакальське, Алапаївське (Урал, Росія), Дашкесанське (Кавказ, Росія), Аятське, Лисаковське (Казахстан).

Сидерит $FeCO_3$ — шпатовий залізняк, що є вуглекислим закисом заліза з його масовою часткою до 35,0...48,3%. Колір руди змінюється від брудно-сірого до жовтого. На матовому склі вона залишає жовту риску. Пуста порода складається з SiO_2 , Al_2O_3 , MgO . Із цих руд найкраще відновлюється залізо.

Основні родовища: Криворізьке (Україна), Бакальське (Урал, Росія) та ін.

Манганові руди: MnO_2 (піролюзит), MnO (брауніт), $MnCO_3$ (мангановий шпат), Mn_2O_3 (манганіт), масова частка мангану 25...47%. Колір руди чорний і сіро-бурий. Пуста порода — кремнезем і глинозем.

Основні родовища: Нікопольське, Токмакське (Україна), Чіатурське (Кавказ, Росія), Марсятське (Урал, Росія), Дзержинське (Казахстан), Мазульське (Сибір, Росія).

Хромові руди Cr_2O_3 (*хроміт*) має масову частку 35...55% Cr. Використовують її для отримання хрому і ферохрому.

Основні родовища: Саранське (Урал, Росія), Кимперсайське (Казахстан), Донське (Росія).

Агломерат — продукт збагачення бідних залізом (30...48% Fe) бурих і шпатових залізняків, що є спеченою рудою з подрібненим коксом. Такий продукт містить до 50% відновленого заліза і 15% його оксидів. Колір агломерату — темно-сірий. На агломераті працюють майже всі (96...98%) доменні печі світу.

Котуни — продукт збагачення подрібненої (порошкоподібної) руди, який отримують згрудкуванням у барабанах і круглих чашах. Діаметр котунів 15...25мм. Щоб збільшити міцність грудок, у концентрат (з 8...10% вологості) додають зв'язуючі — бентонітову глину або вапняк. Отримані грудки випаляють у печах (шахтних, конвеєрних) за температури 1000...1300°C.

Паливо в металургії є джерелом теплоти і відновником заліза (CO , C , H_2) із руди. Його застосовують для насичення заліза вуглицем при отриманні чавуну в доменних печах. Основна характеристика палива — його теплота згоряння.

Кокс — продукт сухої перегонки кам'яного вугілля за температури 1100...1200°C. Масова частка хімічних елементів: 80...96% C, 0,7...3,5% S, 0,01...0,06% P, а також 2...6% води, 8...15% золи. Пористість коксу — 45...55%. Теплота згоряння 29...32 МДж/кг (7500...8000 Ккал/кг).

Для отримання коксу використовують кам'яне вугілля таких родовищ: Донецького (Донбас, Україна), Кузнецького (Кузбас, Росія), Карагандинського (Казахстан), Печорського (Росія). Донецьке вугілля є високосірчанним (2,6...3,5% S) на відміну від Карагандинського (1,0% S), Кузнецького (0,7% S) і

Печорського (менше ніж 1,0% *S*). Проте вугілля східних регіонів містить більше золи (до 25%) на відміну від Донбаського (9,4...9,8%).

Деревне вугілля — продукт сухої перегонки різних порід деревини (переважно берези, модрина) за температури 400...600°C. Масова частка хімічних елементів: 88% *C*, 2,4% *H*, а також 9,0% вологи, 1...2% золи. Теплота згоряння 26...29 МДж/кг (6500...7600 Ккал/кг), пористість — 70...80%. Порівняно з коксом деревне вугілля має невисоку міцність на стиск (1...2 МПа/см²), тоді як кокс — 12 МПа/м². Воно не містить сірки і фосфору. Використовують його в невеликих за об'ємом (до $V = 300 \text{ м}^3$) доменних печах.

Кам'яне донецьке вугілля має масову частку 83% *C*, 5,1% *H*, 6,0% вологи, 9,4...9,8% золи, теплота згоряння — 24 МДж/кг (6000 Ккал/кг). Використовують його у вигляді порошку для доменних печей.

Флюси призначені для зниження температури плавлення пустої породи, сплавлення її із золою палива і виведення їх у шлак. Флюси, як і пусту породу, поділяють на три групи: кислі (SiO_2 — кремнезем, SiO_4 — кварц), основні (CaCO_3 — вапняк, $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ — доломіт) і глиноземисті $\text{AlO}(\text{OH})$. У сучасних коксових доменних печах використовують здебільшого основні флюси (CaCO_3), оскільки в залізних рудах переважає пуста порода (SiO_2) з кислою реакцією.

Вапняк CaCO_3 має таку масову частку хімічних елементів: 52...54% *CaO*, 1,5...2,0% SiO_2 , 2...3% Al_2O_3 , 3,0...3,5% *MgO*. Основні родовища: Оленівське, Каракубське (Донбас, Україна), Балаклавське (Крим, Україна), Барсуковське, Студенівське (Росія), Алапаївське (Урал, Росія).

Плави́ковий шпат CaF_2 , *KF* використовують для підвищення рідкотекучості шлаків. З цією метою можна застосовувати боксити $\text{AlO}(\text{OH})$, шамот (50...60% SiO_2 + 40...45% Al_2O_3 + 2...3% Fe_2O_3).

Вогнетриви — будівельні матеріали, що мають високу температуростійкість і здатність протистояти дії розплавленого металу, шлаку і гарячих газів. Вони призначені для захисту металевих корпусів плавильних і нагрівальних печей від дії високих температур.

За своїми хіміко-фізичними властивостями вогнетриви поділяють на кислі, основні та нейтральні.

Динас — кислий вогнетрив, який отримують випалюванням силікатного піску (92...94% SiO_2) з добавками 1,5% Al_2O_3 ; 2...3% Fe_2O_3 ; 1,0...4,5% *CaO*. Вогнетривкість становить 1730°C. Використовують його для футерування печей і агрегатів, у яких відбуваються кислі реакції (електросталеплавильні, мартенівські і полуменеві печі для виробництва міді та ін.).

Магнезит — основний вогнетрив, який складається з 91...94% MgCO_3 , 2...3% SiO_2 , 1,5% Al_2O_3 , 2...3% Fe_2O_3 . Вогнетривкість — 1950...2000°C. Магнезитом футерують печі, в яких відбуваються лужні реакції (мартенівські і електросталеплавильні печі, конвертери кольорової металургії).

Розділ 2

Хромомагнезит — основний вогнетрив, який має масову частку 60% $MgCO_3$, 10...30% Cr_2O_3 , решта — Al_2O_3 . Вогнетривкість хромомагнезиту — 2050°C. Використовують його для футерування стінок і склепінь високотемпературних мартенівських і електричних печей. У нейтральних середовищах хромомагнезит є нейтральним вогнетривом.

Вогнетривка глина у сирому стані має масову частку 35...45% SiO_2 , 20...30% Al_2O_3 , 12% вологи. Після її випалювання — 50...60% SiO_2 , 40...45% Al_2O_3 . Використовують глину для виготовлення шамотних вогнетривів після додавання 2...3% Fe_2O_3 .

Шамот — нейтральний вогнетрив, який містить 50...60% SiO_2 , 38...45% Al_2O_3 , 2,5% Fe_2O_3 . Його вогнетривкість максимальна (1730°C). За вогнетривкістю розрізняють три класи шамоту: А — 1730°C; Б — 1670°C; В — 1580°C. Використовують цей вогнетрив для футерування доменних печей (верхня частина шахти, колошник), сталерозливних ковшів, вогнетривкої кладки повітропідігрівачів (кауперів), заводських труб, трубопроводів для подавання гарячого повітря або газів тощо.

Вуглецеві вогнетриви є нейтральними. Вони містять 45...92% вуглецю (кокс, антрацит, графіт). За складом компонентів їх поділяють на графітно-глинисті, вугільні графітизовані. Графітно-глинисті містять 45...60% графіту та 40...50% вогнетривкої глини, 10...20% кварцу (SiO_4), 5% карборунду (SiC). Вогнетривкість графітно-глинистих вогнетривів — 1900 °C. Використовують їх для футерування доменних печей.

Вугільні вогнетриви виготовляють із коксу або антрациту з добавками глинозему (Al_2O_3). Вони мають вогнетривкість до 2250°C. Використовують їх для футерування доменних печей, виготовлення електродів для невеликих (до 5 т) електродугових печей.

Графітизовані вогнетриви мають вогнетривкість понад 2500°C. Їх використовують для футерування електролізних ванн, виготовлення електродів для електросталеплавильних печей середніх і великих місткостей.

Продукти доменного виробництва. У процесі роботи доменної печі в ній залізо відновлюється із рудних матеріалів за високих температур (400...1400°C) від верхньої частини шахти до нижньої (запечиків), у результаті чого отримують розплавлений чавун і шлак, а також доменний газ. У доменних печах можна отримувати переробні, ливарні чавуни і деякі феросплави (феросиліцій, фероманган, силікоманган, силікокальцій тощо).

Чавун переробний М1, М2 — мартенівський (3,5...5,5% С, 0,70...1,25% Si, 1,0...1,75% Mn, 0,06...0,07% P, 0,07...0,08% S, решта - Fe). Використовують його для виплавлення сталі в мартенівських печах, конвертерах та електропечах.

Чавун ливарний коксовий ЛК1 (3,6...5,4% С, 0,06% S, до 1...2% P, 1,25...4,76% Si, 0,50...1,30% Mn, решта — Fe). Чавун використовують у ливарних цехах машинобудівних заводів для отримання машинобудівних чавунів

(сірий, білий, ковкий, високоміцний) для виготовлення литих деталей машин з розплавленням шихти у вагранках і електроплавильних печах.

Фероманган (ФМн25) — дзеркальний чавун (4,5...5,5% С, 20...25% Мн, 2,5% Si, 0,30% S, 0,20% P, решта — Fe). Використовують його для розкислення сталі і як присадку при виплавленні сталей і чавунів, легованих манганом.

Для отримання маловуглецевого феромангану (ФМн80) його виплавляють в електропечах. Він містить не менше ніж 80% Мн і не більш як 0,5% С.

Феросиліцій (ФСі90) — феросплав (87...95% Si, 0,5% Мн, 0,2% С, 0,030% S, 0,020% P, решта — Fe). Використовують його для розкислення сталі і як присадку при виплавленні сталей, легованих силіцієм.

Феросиліцій (ФСі75) — 74...80% Si, 0,70% Мн, 0,5% С, 0,05% S, 0,04% P, решта — Fe. Він має таке саме використання, як і ФСі90.

Фероманган (ФМн75) — 75% Мн, 2,5% Si, 1,8% С, 0,08% S, 0,30% P, решта — Fe. Використовують його як присадку при виплавленні легованих сталей.

Манган металевий (Мн1) — 94,85% Мн, 0,80% Si, 0,10% С, 2,5% Fe, 0,05% P, 0,05% S. Використовують так само, як і ФМн75.

Ферохром (ФХр60) — 60...62% Cr, 0,5% С, 3,0...3,5% Si, 0,04% S, 0,04% P, решта — Fe. Використовують його як присадку при виплавленні легованих хромом сталей.

Ферохром (ФХр70) — 70...75% Cr, 0,4% С, 0,8...1,0% Si, 0,6...0,8% Al, 0,02...0,05% P, 0,02...0,05% S, решта — Fe. Використовують так само, як і ФХр60.

Хром металевий (Хр1) — 97...98% Cr, 0,02...0,03% С, 0,4...0,5% Si, 0,6...1,2% Fe, 0,02...0,05% P, 0,02...0,05% S, 0,06...0,10% міді. Використовують, як і ФХр70, але для сталей відповідального призначення (шарикопідшипникових, жароміцних, неіржавних тощо).

Феромолібден (ФМо50) — 50...53% Мо, 0,1...0,2% С, 1...2% Si, 0,1...0,2% P, 0,1...0,2% S, 0,8...2,5% Ca, решта — Fe. Використовують як присадку при виплавленні легованих молібденом сталей.

Феротитан (ФТі25) — 23...25% Ti, 0,15...0,20% Si, 0,5...0,2% P, 0,05...0,08% S, решта — Fe. Використовують як присадку при виплавленні легованих титаном сталей і спеціальних сплавів.

Ферованадій (ФВ40) — 35...40% V, 0,75...1,0% С, 2,03% Si, 1,2% Al, 0,1...0,25% P, 0,10...0,15% S, решта — Fe. Використовують як присадку при виплавленні легованих ванадієм сталей.

Нікель металевий (99,9% Ni) використовують як присадку при виплавленні легованих нікелем сталей.

Силікокальцій — комплексний феросплав (23...31% Ca, 60% Si, до 10% Fe, решта — С). Використовують його як розкиснювач при виплавленні високоякісних сталей.

Примітка: з усіх наведених феросплавів у доменних печах виплавляють тільки феросиліцій з малою масовою часткою силіцію (до 14...18% Si), фероманган високовуглецевий з масовою часткою мангану 70...90%, силікоманган (9...13% Si та 18...21% Мн), ферофосфор (до 14% P).

Розділ 2

Усі інші феросплави виплавляють в електричних феросплавних печах.

При виробництві феросплавів елементи відновлюються за наявності заліза, що спричинює утворення розчину в залізі відновленого елемента. У процесі виплавлення низьковуглецевих феросплавів, як відновники використовують силіцій, алюміній, які дуже споріднені з киснем. У цьому разі процес називають відповідно силікотермічним, алюмотермічним, металотермічним.

Шлак доменних печей, які працюють на коксі, містить 33...40% SiO_2 , 42...48% ($CaO + MgO$), 10...20 % Al_2O_3 . На 1 т чавуну отримують 0,6 т шлаку. Більша частина шлаку зазнає грануляції при контакті з водою, яку потім використовують для виробництва цементу, замітника щебеню в бетоні, шлакоблоків тощо (литі плити, шлаковата, шлакоцегла, дорожні покриття та ін.).

Доменного (колошникового) газу отримують у доменних печах у 3...4 рази більше за масою, ніж чавуну. Після грубого і тонкого очищення його використовують як паливо, незважаючи на низьку (4 МДж/м^3) теплоту згоряння.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Описання зразків руд (назва, хімічна формула, вміст заліза, колір та їх родовища), коксу, флюсів, вогнетривів та їх використання.
4. Види доменних чавунів й інших продуктів доменного виробництва та їх використання.

Контрольні запитання і завдання. 1. Залізні руди та їх родовища. 2. Характеристика палива для металургії. 3. Які є види флюсів і яке їх призначення? 4. Характеристика вогнетривів для металургійного виробництва. 5. Продукти доменного виробництва та їх використання.

Лабораторна робота 21

Вихідні матеріали і продукти виробництва сталеплавильних, прокатних та ковальсько-пресових цехів

Мета роботи: ознайомитися зі зразками вихідних матеріалів для виробництва сталі та продукцією металургійного заводу.

Для виконання роботи потрібні: плакати, стенди, набори зразків вихідних матеріалів і продуктів виробництва сталеплавильних печей і готового прокату.

Теоретичні відомості

У сучасному машинобудуванні основні конструкційні матеріали — сталь і чавун, що є сплавами заліза з вуглецем. Серед усіх металів і сплавів, які використовують як конструкційний матеріал, сталь і чавун становлять близько 90%.

Надійність сучасної техніки залежить насамперед від якості виробленої сталі, а це визначається досконалістю методів її отримання.

Використання сталі в сучасному машинобудуванні є найефективнішим і жоден із альтернативних матеріалів (алюміній, пластмаси) не може забезпечити не тільки вищих, а й порівнянних зі сталлю економічних показників. У сучасній світовій металургії сталь виплавляють із чавунів у кисневих конвертерах і електропечах, які забезпечують можливість отримання якісних і високоякісних сталей. Для виплавлення сталі (понад 50%) використовують також мартенівські печі, в яких крім якісних сталей отримують сталі звичайної якості, які не завжди відповідають вимогам сучасного машинобудування і промислового будування.

Послідовність виконання роботи

1. Описати призначення вихідних матеріалів та їхні властивості, які використовують для виплавлення сталі в сталеплавильних печах.

2. Намалювати і описати основні види (рис. 21.1) сортаменту прокату і гнутого профілю (рис. 21.2) та їх призначення.

Вихідні матеріали для сталеплавильних печей. Для виплавлення сталі в сталеплавильних печах використовують переробні чавуни, феросплави, скрап (металобрухт, відходи власного виробництва), залізну руду, паливо, флюси.

Переробні чавуни на відміну від ливарних мають масову частку силіцію 0,70...1,25%.

При виробництві сталі основою металургійних процесів у сталеплавильних печах є окислення домішок, що містяться в шихті, насамперед у переробному чавуні. При виплавленні сталі окислення домішок до потрібних меж проводять киснем повітря, рудою або чистим киснем (> 96...99% O₂). Утворювані при цьому оксиди завдяки флюсам зв'язуються із золюю, утворюючи шлак, який відіграє важливу роль (залежно від його хімічного складу) в інтенсивності окислення домішок, рафінуванні та розкисленні сталі.

Склад металевої шихти залежить від виду футерівки сталеплавильних печей. Якщо металева шихта характеризується кислою реакцією, тобто містить значну кількість силіцію, то її потрібно переплавляти на сталь у печах з кислою футерівкою (динасовий вогнетрив).

У печах з основною футерівкою (доломітова, магнезитова, хромомагнезитова, смолодоломітова), навпаки, сталь виплавляють із шихти з обмеженою кількістю силіцію, але з підвищеною кількістю фосфору і сірки. У цьому разі в шихту треба вводити основний флюс (CaCO₃, CaCO₃•MgCO₃).

Сталі, отримані в кислих печах, мають вищу якість, ніж сталі, виплавлені в основних печах. Вони містять меншу кількість шкідливих домішок (P, S, H, N).

Продукти сталеплавильного виробництва. Отримана в сталеплавильній печі сталь виливається в сталерозливний ківш, в якому її витримують до температури (1600... 1700°C) розливання у виливниці.

Розділ 2

Отримані сталеві зливки надходять у прокатні й ковальсько-пресові цехи. Із них виготовляють заготовки різного профілю, які використовують у різних галузях народного господарства.

Розрізняють такі профілі прокатної продукції (див. рис. 21.1):

- ♦ простий сортовий профіль — круг, квадрат, овальний, напівовальний, ромбоподібний, трефоподібний (рис. 21.1, *a*);
- ♦ фасонний сортовий профіль — тавровий, двотавровий, швелерний, кутниковий, зетовий та ін. (рис. 21.1, *b*);
- ♦ спеціальний профіль (рис. 21.1, *в*);
- ♦ періодичний профіль — арматурний прут, заготовка вагонної осі, заготовка шатуна, леміш плуга, вісь пластинчастого ланцюга та ін. (рис. 22.1, *з*);
- ♦ трубпрокат (рис. 21.1, *д*);
- ♦ листовий прокат (рис. 21.1, *е*);
- ♦ штабовий прокат (рис. 21.1, *є*).

Наведені профілі прокатування або кування і пресування виготовляють із різних за якістю сталей:

- ♦ вуглецевих звичайної якості (0,050...0,060% *P*, 0,055...0,07% *S*);
- ♦ вуглецевих якісних (0,030...0,035% *P*; 0,35...0,45% *S*);
- ♦ вуглецевих високоякісних (0,020...0,025% *P*; 0,025...0,030% *S*);
- ♦ легованих (низьколегованих, середньолегованих, високолегованих), якісних, високоякісних, особливо якісних (0,005...0,010% *P*, 0,005...0,010% *S*).

Залежно від призначення вуглецеві сталі звичайної якості поділяють на три групи.

Сталі групи А (Ст.0; Ст.1 – Ст.6) поставляються споживачам з гарантією механічних властивостей. Вони призначені для виготовлення елементів конструкцій з використанням механічного кріплення (заклепки, гайки, шайби, болти, прокладки, осі, вали, тяги, крюки, шпонки, бойки молотів, швелери, двотаври тощо).

Сталі групи Б (БСт.0, БСт.1 – БСт.6) поставляються з гарантією хімічного складу (*C*, *S*, *P*, *Mn*, *Si*, *N*), що дає змогу виробити із них піддавати термічному обробленню. Використовують їх так само, як і сталі групи А.

Сталі групи В (ВСт.0, ВСт.1 – ВСт.6) поставляються з гарантією механічних властивостей і хімічного складу, тому виробити із цих сталей зазнають термічної обробки, зварювання і гарячого оброблення тиском.

Вуглецеві якісні сталі (сталь 05кп; 08кп; 10кп; 10; 15; 20 – 60 і У7 – У13) містять меншу масову частку сірки і фосфору (0,030...0,035% *P*; 0,035...0,045% *S*) порівняно зі сталями звичайної якості (0,050...0,060% *P* і 0,055...0,070% *S*).

Із цих сталей виготовляють переважно деталі машин: автомобільний лист, шпильки, різні ємкості (сталі 05кп, 08кп, 10кп) без їх термічного оброблення.

Із сталей 20– 80 виготовляють колінчасті вали, шатуни, маховики, тяги, болти, шпindelі, прокатні валки та інструмент, що підлягають термічній обробці.

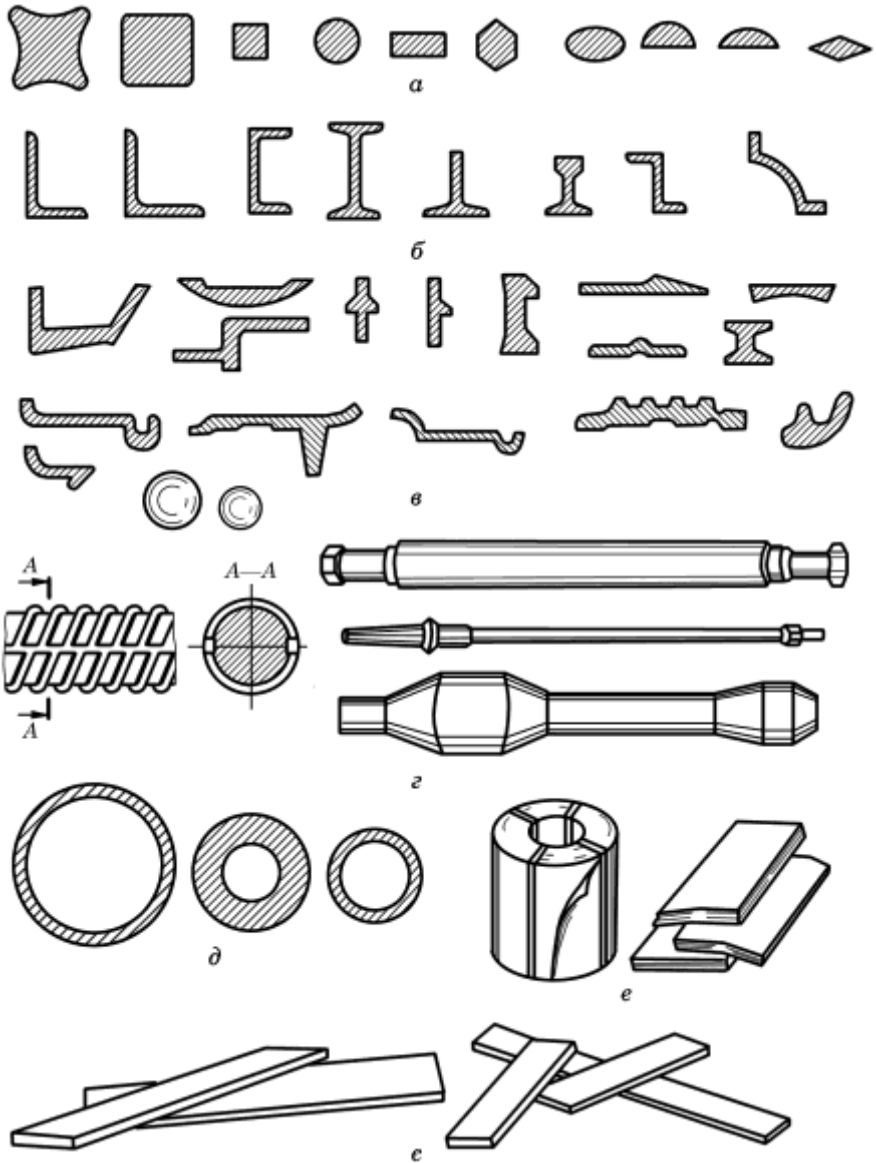


Рис. 21.1. Сортамент прокатної продукції:
a — простого профілю; *б* — фасонного; *в* — спеціального; *г* — періодичного;
д — трубного; *е* — листового; *е* — штабового

Розділ 2

Вуглецеві високоякісні сталі (сталь 20А, 45А, У8А) використовують для виготовлення відповідальних деталей машин, що працюють в умовах значних динамічних навантажень (шестерні, шатуни, вали, ресори, пружини та інструмент).

Низьколеговані конструкційні сталі з малою масовою часткою вуглецю (до 0,25%) і легувальних елементів (менш як 2,5%), наприклад Сталь 14Г2, 10ГСНД, 17ГС, 15ХСНД, використовують для виготовлення листових зварних конструкцій у парових котлах, кораблебудуванні, хімічній промисловості, сільськогосподарському машинобудуванні, вагобудуванні, мостобудуванні й металургії.

Низьколеговані сталі (30ХГС, 38ХГН, 40ХН2МА, 45Х, 50ХА, 50СГ) із середньою масовою часткою вуглецю (0,30...0,50% С) використовують у термічно зміцненому стані для виготовлення деталей машин (колінчасті вали, шатуни, шестерні, ресори, болти), що працюють в умовах великих навантажень.

Зі збільшенням ступеня легованості (середньо- і високолеговані) сталей їх використовують для виготовлення інструменту і найвідповідальніших деталей машин, які повинні мати спеціальні властивості (жаростійкі, жароміцні, неіржавні, зносостійкі з особливими магнітними та електричними властивостями).

Гнуті профілі прокату. Завдання зменшення витрат металевих матеріалів без зменшення міцності елементів конструкцій є одним із найважливіших у конструюванні машин та механізмів і потребує від конструкторів широкого розроблення і використання нових видів економічних профілів спеціального призначення.

Використання гнутих профілів у машинобудуванні забезпечує в середньому 25% економії сплавів, особливо сталей.

Гнуття заготовок у валках станів дає можливість отримати фасонні профілі з найраціональнішим розподіленням металу в перерізі, що надає їм максимальної жорсткості й міцності при мінімальних витратах металу.

Профілюванням у холодному стані листового, стрічкового або смугового металу можна виготовити економічні профілі мінімальної товщини і різної форми в поперечному перерізі (див. рис. 21.2).

Крім того, виготовлення деталей профілюванням зменшує витрати на механічне оброблення. Коефіцієнт використання металу при профілюванні становить 99,5...99,8%, а брак в 3...5 разів менший, ніж при гарячому прокатуванні на сортових станах.

Гнуті профілі, виготовлені на профілезгинальних станах, не потребують їх випрямлення і визначаються високою якістю поверхні, що забезпечує збільшення їх корозійної стійкості і зменшення концентрації напружень.

Профілювання зазнають листові заготовки завтовшки 0,1...20 мм і завширшки 6...2000 мм.

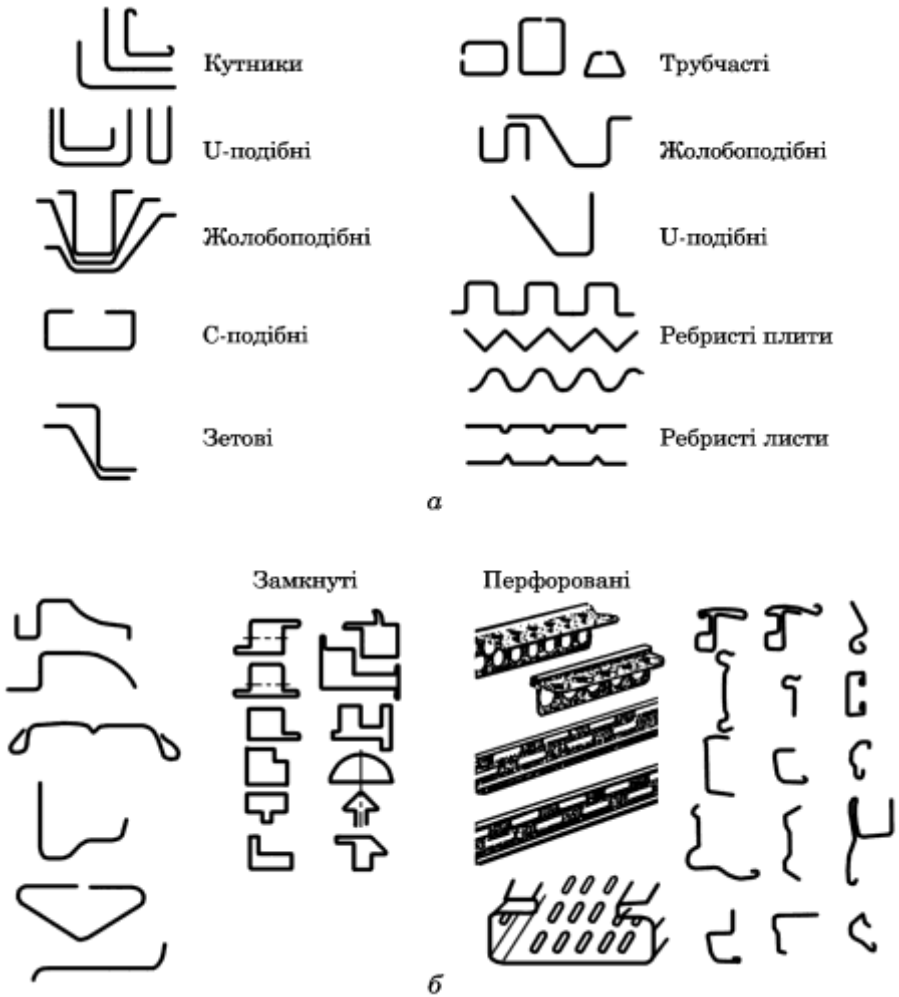


Рис. 21.2. Гнуті профілі:
 а — прості; б — спеціальні

Нині в Україні гнуті профілі найбільше використовують у транспортному (залізничний, автомобільний) і сільськогосподарському машинобудуванні, що дає змогу до 50% зменшувати масу сільськогосподарських машин. До таких машин належать комбайни, трактори, культиватори, самохідні шасі, зерноочисні машини, плуги тощо.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Опис призначення вихідних матеріалів для отримання сталей у сталеплавильних печах.
4. Опис властивостей і призначення окремих видів сталей та їх маркування.
5. Опис і призначення основних видів прокату і гнутих профілів.

Контрольні запитання і завдання. 1. Вихідні матеріали для сталеплавильних печей. 2. Профілі прокатної продукції та їх застосування. 3. Які шкідливі домішки містяться в сталях? 4. Використання гнутих профілів у машинобудуванні. 5. Які є види трубопрокату?

Лабораторна робота 22

Визначення властивостей металевих порошків

Мета роботи: ознайомитися з основним лабораторним обладнанням та методами вивчення властивостей металевих порошків.

Для виконання роботи потрібні: набори порошків різних фракцій, наочні посібники, готові вироби з порошків, лабораторний прес, прилади для визначення властивостей, довідникові матеріали, вимірювальний інструмент (штангенциркуль, лінійки), ваги з гирями, муфельна піч для спікання брикетів, калькулятори.

Теоретичні відомості

Особливістю технології порошкової металургії є використання вихідної сировини у вигляді порошку, з якого методом пресування формують вироби або заготовки відповідної форми і розмірів. Сукупність основних технологічних операцій порошкової металургії дозволяє виділити дві основні задачі, що вичають головні напрямки використання виробів:

- а) виготовлення матеріалів і виробів з особливим складом, структурами і властивостями, які недосяжні іншими методами виробництва;
- б) виготовлення матеріалів і виробів із звичайним складом, структурами і властивостями, тільки при значно вигідних економічних показниках їх виробництва.

Таким чином, порошкова металургія дозволяє створювати принципово нові матеріали, які не можливо отримати іншим шляхом.

Розвиток порошкової металургії в кінці XIX і на початку XX століть був зумовлений необхідністю виготовлення у промислових масштабах вольфрамових волосків (ниток) для електроламп розжарювання. З того часу порошкова техно-

логія була признана як технологія виготовлення виробів із порошків металів та їх сплавів.

Сучасні порошкові вироби класифікуються за різними ознаками, але основною є використання за призначенням виробів у техніці.

1. Конструкційні деталі - пористість 1-3%;
2. Антифрикційні матеріали - пористість 15-35%
3. Фрикційні матеріали - пористість 15-30%
4. Пористі матеріали - пористість 28-85%
5. Електротехнічні вироби - пористість 15-20%
6. Тугоплавкі метали - W, Ta, Nb, Mo;
7. Тверді сплави та інструментальні матеріали.

Конструкційні деталі.

Серед виробів, виготовлених методом порошкової металургії, найбільш широко (60%) використовують конструкційні деталі на основі залізних порошків і в меншій мірі - на основі порошків кольорових металів та їх сплавів. Найбільш широке застосування такі вироби отримали в автомобілебудуванні, сільськогосподарському машинобудуванні та приладобудуванні. До таких деталей належать: кулачки, шестерні, втулки, фланці, трубки, муфти, стрічки, зірочки, стани та ін.

Антифрикційні матеріали (ЖГ-3, БрОГ 9-3) використовується у вузлах тертя, де необхідно забезпечити низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість. Для виготовлення таких металокерамічних виробів використовують порошки міді та її сплавів, заліза, нікелю, алюмінію, кобальту. Характерною особливістю матеріалів для підшипників ковзання є введення в них різних домішок для управління антифрикційними властивостями і створення підвищеної пористості, яка частково виконує функцію накопичувача мастил.

Фрикційні матеріали (ФМК-11, МК6-50Л, СМК-83), на відміну від антифрикційних, мають високий коефіцієнт тертя та зносостійкість і призначені для роботи в різноманітних гальмових і трансмісійних вузлах автомобілів, гусеничних машин, верстатів, пресів тощо. Трансмісійні вузли забезпечують передачу крутного моменту з одного валу на інші і працюють як у сухих середовищах (сільськогосподарські трактори, штампові преси, літаки), так і в закритих вузлах в середовищі оливи (силові трансмісії тракторів, металорізальні верстати, вантажні автомобілі та ін.).

Фрикційні елементи із металокерамічних матеріалів виготовляють у вигляді дисків, секторних накладок, колодок різної конфігурації, стрічок та ін., які кріпляться до каркасу, що несе механічні навантаження.

У фрикційних металокерамічних матеріалах поєднується металева зв'язуюча матриця, що має необхідні властивості міцності, зносостійкості, пластичності, жароміцності з крихкими наповнювачами, які вводяться для підвищення та стабілізації коефіцієнта тертя і запобігають схоплюванню. Наповнювачі за об'ємом становлять 60-80% і більше.

Для підвищення коефіцієнта тертя металокерамічних матеріалів на основі заліза вводять тугоплавкі сполуки типу карбідів, силіцидів, нітридів, кремнію та алюмінію. Характерною є обов'язкова присутність міді (10-20%).

Металокерамічні матеріали на основі заліза рекомендується використовувати для вузлів з важкими умовами роботи, при яких температура поверхні тертя може досягати 1200-1300°C (гальмові пристрої швидкохідних потягів, літаків, багатодискові гальма у промисловому машинобудуванні тощо).

Металокерамічні матеріали на основі міді (бронзи) мають достатньо високий коефіцієнт тертя порівняно з матеріалами на основі заліза, значно менше зношують контактну поверхню сталеної або чавунної деталі.

Металокерамічні матеріали на основі міді широко використовуються в автомобіле- і тракторобудуванні, металообробних верстатах.

Гальмівні і трансмісійні вузли тертя, що працюють в умовах рідкого змащування, використовують у муфтах зчеплення, гальмах, фрикційних передачах, синхронізаторах. Їх переваги полягають у плавності включення, великій довговічності і надійності, швидкому охолодженні. Їх коефіцієнт тертя в умовах змащування приблизно у три рази нижчий, ніж при сухому терті. Це вимагає для таких систем тертя збільшувати діаметр дисків, їх кількість або підвищувати питоме навантаження на поверхню тертя (до 6-7 МПа).

Фрикційні матеріали у масляних середовищах можуть працювати при швидкостях більше 100 м/с. Для цих умов використовують фрикційні матеріали на основі мідних сплавів. Ці матеріали характеризуються високою зносостійкістю в процесі роботи виготовлених із них муфт зчеплення, фрикціонів і гальм. Як правило, як тверді мастила в них використовують добавки графіту і свинцю.

Пористі металокерамічні матеріали мають ряд переваг порівняно з паперовими, скляними і мінералокерамічними. Перш за все вони мають високу міцність і теплостійкість, допускають багаторазову регенерацію, не засмічують середовище продуктами фільтру. Металокерамічні пористі матеріали отримують із порошків (20-50%), волокон (40-60%) і коміркового матеріалу (більше 70% пористості).

Однією із найважливіших характеристик фільтрів є їх проникність та здатність пропускати крізь себе рідини і газу, яка зростає із збільшенням пористості матеріалу і характеризується коефіцієнтом проникності. Порошкові пористі металокерамічні матеріали поділяться на три групи:

- фільтруючі;
- капілярно-пористі;
- із спеціальними механічними властивостями.

До фільтруючих належать фільтри, змішувачі, сепаратори, аератори, глушники, пневмоконвейери і т.п..

З капілярно-пористих порошкових матеріалів виготовляють конденсатори, випаровувачі, гідрозатвори.

Пористі порошкові матеріали, зі спеціальними фізичними властивостями, застосовують: як каталізатори, пластини акумуляторних батарей, антифрикційні матеріали, надпровідникові матеріали, пористі катооди.

Електротехнічні металокерамічні вироби: магнітом'які (змінні магніти), магнітотверді матеріали (постійні магніти), електроконтакти, ферити (спечені окисли заліза з окислами інших металів), електродні покриття, електроди електрошлакового зварювання і т.п.

Тугоплавкі метали ($t_{пл}W = 3410^{\circ}C$; $t_{пл}Ta = 2995^{\circ}C$; $t_{пл}Mo = 2625^{\circ}C$; $t_{пл}Nb = 2468^{\circ}C$) отримують із руд фізико-хімічними методами. Для виготовлення із них металокерамічних твердих сплавів їх порошки (V , Ta , Ti) піддають хіміко-термічній обробці (цементації) отримуючи, таким чином, порошки карбідів цих металів (WC , TiC , TaC).

Тверді сплави та інструментальні матеріали виготовляють у вигляді пластинок різної форми і розмірів з порошків карбідів тугоплавких металів шляхом пресування і спікання. Для зв'язування частинок (порошку карбідів) у твердих сплавах використовується металевий кобальт, який у цих сплавах утворює м'яку пластичну евтектику.

Тверді сплави використовують в основному для виготовлення різального інструменту, який значно переважає швидкорізальні сталі за твердістю, теплостійкістю, зносостійкістю та ін.

Тверді сплави групи ВК (ВК-3, ВК-8, ВК15), як більш пластичні, використовують для обробки крихких матеріалів, пластмас, тверді сплави групи ТК (Т5К10, Т15К6, Т30К4) - для обробки пластичних і в'язких металів та сплавів. А такі сплави як Т30К4 і Т60К6 - для обробки гірничих порід і фактично є однокарбідними, бо карбіди титану розчиняють в собі карбіди вольфраму. Група трикарбідних сплавів ТТК (ТТ7К12, ТТ10К8) відрізняються від груп ВК і ТК підвищеною зносостійкістю, міцністю і в'язкістю.

Карбіди титану відрізняються від карбідів вольфраму більшою твердістю, але підвищеною крихкістю.

Крім металокерамічних матеріалів для інструменту використовують мінералокераміку, основою якої є технічний глинозем (Al_2O_3), який піддається спіканню при $1720-1750^{\circ}C$. Випускається такий матеріал під маркою ЦМ-332, червоність $1200^{\circ}C$; висока зносостійкість, недовіком є низька міцність і висока крихкість

Використовуються мінералокерамічні матеріали для чистої обробки термічно зміцнених металів і сплавів.

Якщо в мінералокераміку додати вольфрам, молібден, бор, титан, нікель, то такі матеріали називають керметами і використовують для обробки важкооброблюваних сталей і сплавів

На сучасному етапі розвитку порошкової металургії широке застосування знаходять інструментальні порошкові сталі для виготовлення найрізноманітні-

Розділ 2

шого інструменту: свердла, фрези, слюсарний інструмент, робочі елементи ударного інструменту, а також деталі машин.

Технологія виробництва виробів методом порошкової металургії охоплює такі основні операції: отримання порошків; приготування шихти із порошків різних фракцій і матеріалів; формування в прес-формах порошкових виробів; термічне оброблення (спікання) спресованих із порошкової шихти заготовок (брикетів) і фінішне оброблення виробів.

Металокерамічні вироби здебільшого є псевдосплавами.

Металеві порошки отримують двома основними методами: механічним і фізико-хімічним.

Застосування кожного із цих методів визначається станом і властивостями вихідних матеріалів, які використовують для отримання порошків.

Більш універсальними є фізико-хімічні методи, які ґрунтуються на процесах хімічного відновлення металів із оксидів і електролізі розчинів або солей металів.

Із порошків змішуванням різних за фракціями і властивостями компонентів для отримання однорідної механічної суміші виготовляють шихту. Шихта вважається однорідною, якщо із 4 – 5 випадково взятих проб 95%, мають хімічний і гранулометричний склад, що відповідає заданому.

Шихту заданого складу виготовляють у спеціальних механічних змішувачах (барабаних, шнекових, лопатних, вібраційних, планетарних, конусних і установках неперервної дії). Процес змішування може відбуватися одночасно з операціями подрібнення порошку.

Із підготовленої шихти пресуванням формують вироби (брикети): у прес-формах, прокатуванням шихти, мундштучним формуванням, гідростатичним формуванням, гарячим пресуванням, динамічним (вибухом), гідравлічним, електромагнітним і вібраційним формуванням.

Спресовані вироби із шихти піддаються термічному обробленню (спіканню) з метою забезпечення механічних і фізико-хімічних властивостей.

Застосовують два види спікання — твердофазне, тобто без утворення рідкої фази, і рідкофазне, коли з'являється рідка фаза компонента шихти з найменшою температурою плавлення.

При твердофазному спіканні (для монометалевої шихти) температура спікання становить 0,6...0,9 температури плавлення певного металу. Рідкофазне спікання використовують для поліметалевої шихти, в процесі якого температура спікання дорівнює температурі плавлення компонента з мінімальною температурою плавлення.

Кінцевим технологічним обробленням спресованих і спечених виробів є оброблення різанням, калібруванням, хіміко-термічна обробка, просочування тощо.

Найвищий рівень механічних властивостей мають порошкові вироби отримані методом гарячого пресування, але недоліком цієї технології є значно інтенсивніше зношення пресформ.

Залежно від фізико-хімічного оброблення металокерамічні матеріали можуть мати структуру ідентичну структурі компактних сплавів такого самого хімічного складу. Наприклад, для залізографітових металокерамічних виробів можна отримати такі основні мікроструктури: ферит — графіт; ферит — цементит; ферит — перліт та перліт.

Залежно від пористості та термічного оброблення один і той самий порошковий матеріал можна використовувати як для виготовлення підшипників ковзання, так і для деталей у конструкціях машин, що зазнають значних механічних навантажень.

Основними технологічними властивостями металевих порошоків є гранулометричний склад (зернистість), насипна щільність і насипний об'єм, текучість, ущільнюваність, спресованість.

Послідовність виконання роботи

1. Визначення гранулометричного складу порошоків.

Гранулометричний склад металевих порошоків визначають методом ситового аналізу з використанням відповідних приладів (рис. 23.1) з набором сит, що мають різний розмір вічок.

Розмір зерен порошку залежить від номера сита, на якому залишається певна фракція зерен після його проходження крізь поперечне сито.

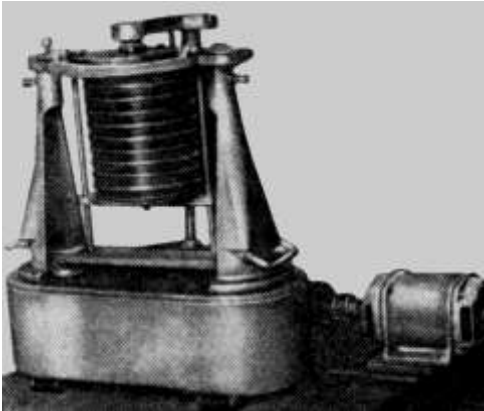


Рис. 22.1. Прилад ситового аналізу

Номер сита характеризує розмір сторони комірки (вічка) сита в міліметрах (від 0,05 до 2,5 мм) або в мікрометрах (50...2500 мкм). Щоб провести експеримент, потрібно зважити 100 г порошку і завантажити його у верхнє сито приладу для ситового аналізу. Після просіювання (10 хв) основною фракцією вважають найбільшу суму залишків на трьох суміжних ситах. Зернистість порошку визначається в межах розміру зерен основної фракції. Кількість основної фракції визначається зважуванням порошку

з кожного сита і підсумовуванням результатів трьох суміжних сит з найбільшою кількістю залишків порошку на них.

Результати експерименту записують у зошит для лабораторних робіт, зазначивши зернистість основної фракції (наприклад, 160...350 мкм).

2. Визначення насипної щільності і насипного об'єму металевого порошку.

Насипна щільність — відношення маси порошку до об'єму вільно насипаного порошку. Чим крупніші часточки і чим досконаліша їх форма, тим більша насипна щільність. Для визначення насипної щільності застосовують волюмометр (рис. 22.2) — прилад, який забезпечує вільне, рівномірне засипання порошком мірної склянки, що має заданий об'єм (25 см^3) і масу ($\sim 50 \text{ г}$). У лійку 1 волюмометра засипають порошок до повного заповнення склянки 2. Не струшуючи склянку, зайвий порошок лінійкою знімають до країв склянки. Зважують склянку з порошком і визначають насипну щільність:

$$\gamma = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (22.1)$$

де: m_1 — маса порожньої склянки, г;

m_2 — маса склянки з порошком, г;

V — внутрішній об'єм склянки, см^3 .

Насипний об'єм порошку, $\text{см}^3/\text{г}$, визначають за формулою:

$$V_n = \frac{1}{\gamma}. \quad (22.2)$$

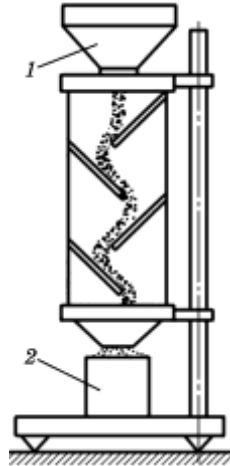


Рис. 22.2. Волюмометр

3. Визначення текучості порошку. *Текучістю порошку* називають його здатність заповнювати відповідну прес-форму. Ця характеристика залежить від щільності, форми, стану поверхні часточок і гранулометричного складу порошку. Щоб визначити текучість порошку, спочатку порошком заповнюють лійку приладу (рис. 22.3). Текучість залежить від швидкості висипання порошку крізь циліндричний отвір діаметром 4 мм 60-градусної лійки 1. Під отвір лійки встановлюють мірну склянку 2. Тримаючи лівою рукою корпус приладу, різким рухом правої руки витягують шток за допомогою рукоятки 3. Через 10 секунд відтягують рукоятку 4 фіксатора, після чого шток перекриває висипання порошку з лійки. Провівши лінійкою по верхньому краю склянки, знімають зайвий порошок над склянкою. Після цього зважують порошок, що залишився в склянці, і визначають текучість порошку:

$$\alpha = \frac{m}{\tau}, \quad (22.3)$$

де: m — маса порошку в склянці, г;

τ — час висипання порошку, с.

4. Визначення спресованості порошків. Спресованість порошків — їх здатність під тиском зовнішніх зусиль ущільнюватися, набираючи форму порожнини прес-форми. Із зменшенням розміру частинок порошку знижується його спресованість, але при цьому зростає міцність зразків (брикетів).

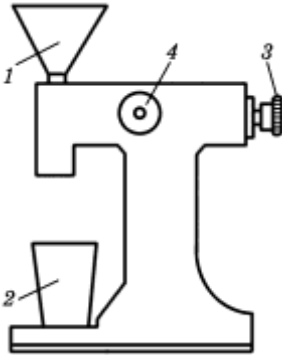


Рис. 22.3. Прилад для визначення текучості металевого порошку

Щоб визначити спресованість, у циліндричну прес-форму ($d = 1,5 \text{ см}$) засипають 20 г порошку заданого гранулометричного і хімічного складу. Спресувати на лабораторному пресі одну пробу із зусиллям $1,5 \text{ кН}$ (60 кгс/см^2 за манометром), а другу — із зусиллям $3,0 \text{ кН}$ (120 кгс/см^2 за манометром).

Після цього визначають щільність спресованих брикетів, г/см^3 ,

$$\gamma = \frac{m}{Fh}, \quad (22.4)$$

де: m — маса порошку в пресформі, г ;
 F — площа перерізу брикету, см^2 ;
 h — висота брикету, см .

5. Визначення міцності зразків (брикетів) після спікання. Спресовані брикети із залізграфітових порошків (ЖГ-3) спікають за температури $1000 \dots 1050^\circ\text{C}$ у нейтральній атмосфері. В результаті спікання в брикетах відбуваються фізико-хімічні процеси (дифузія, адгезія, фазові перетворення), які зумовлюють перетворення конгломерату часточок порошку на конгломерат кристалів, що зростаються між собою з наявністю пор. Внаслідок цього змінюються фізико-механічні властивості брикетів (рис. 22.4) і зростає їх міцність.

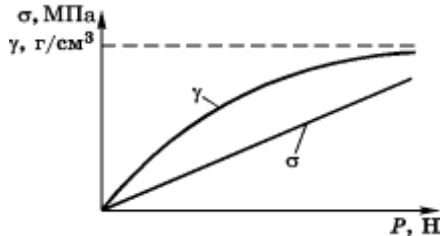


Рис. 22.4. Зміна властивостей брикетів залежно від зусилля їх пресування:

σ — границя міцності;
 γ — щільність брикетів

Міцність на стиск, МПа , визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (22.5)$$

де: P — зусилля пресування брикетів, Н (кгс);
 F — площа поперечного перерізу брикету, см^2 .

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Класифікація порошкових виробів.
4. Результати експерименту.
5. Висновки.

- Контрольні запитання і завдання.**
1. Методи отримання металевих порошоків.
 2. Яка послідовність визначення гранулометричного складу порошоків? 3. Визначення насипної щільності і насипного об'єму порошку. 4. Текучість порошку та її визначення.
 5. Як класифікують порошкові вироби?



Розділ 3

НЕМЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

*Визначення
властивостей
пластмас •*

*Визначення
механічних
властивостей
деревини*

Лабораторна робота №23

Визначення властивостей пластмас

Мета роботи: вивчити будову приладів, які використовуються для визначення твердості, міцності на розтяг та ударну в'язкість пластмас та освоїти методику визначення механічних властивостей пластмас.

Обладнання та матеріали: Твердомір ИТ 5180, розривні машини типів Р-5, ИМ-4Р, РМ-500, маятниковий копер МК-05, зразки для випробувань пластмас, штангенциркуль з точністю до 0,05 мм і мікрометр з точністю до 0,01 мм.

Теоретичні відомості

Пластмасами називають матеріали, основним компонентом яких є природні або синтетичні полімери.

Полімерами називають речовини, макромолекули яких складаються з численних елементарних ланок (мономерів) однакової структури. Властивості цих речовин визначаються не тільки хімічним складом молекул, але і їх взаємним розташуванням і будовою.

Властивості полімерів зумовлені структурою їх макромолекул.

За формою макромолекул полімери поділяються на лінійні (ланцюгові), розгалужені, плоскі, стрічкові (сходинокові), просторові або сітчасті (рис. 23.1.).

Лінійні макромолекули полімеру мають довгу зигзагоподібну форму або є закрученими в спіраль ланцюжками (рис. 23.1, а).

Гнучкі макромолекули з високою міцністю вздовж ланцюга і слабкими міжмолекулярними зв'язками забезпечують еластичність матеріалу, здатність його розм'якшуватися при нагріванні, а при охолодженні знову твердіти. Більшість з таких полімерів розчиняються в розчинниках. Лінійні полімери є найбільш придатними для отримання волокон і плівок (наприклад, поліетилен, поліаміди і інші).

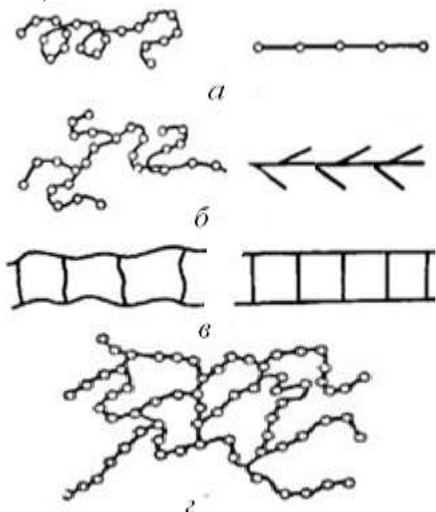


Рис. 23.1. Форми макромолекул полімерів:

a - лінійна, *б* - розгалужена, *в* - сходиноква, *г* - просторова, сітчаста

Розгалужені макромолекули (рис. 23.1, б) мають меншу міцність і підвищену плавкість та розчинність.

Сходинокві полімери (рис. 23.1, в) мають більш міцний основний ланцюг і володіють підвищеною теплостійкістю, більшою жорсткістю, вони нерозчинні в стандартних органічних розчинниках.

Просторові або сітчасті полімери (рис. 23.1, г) мають високу пружність (наприклад, м'які гуми). Густосітчасті (просторові) полімери відрізняються твердістю, підвищеною теплостійкістю, нерозчинністю.

За складом пластмаси можуть бути простими, якщо вони складаються з чистих полімерів, крім зв'язуючих смол. Якщо крім зв'язуючих смол є інші компоненти (наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, каталізатори, фарбники та інші), то це будуть складні пластмаси.

Макромолекули полімерів термопластичних пластмас, отриманих полімеризацією, мають лінійну або розгалужену будову.

До них відносяться полівінілхлорид, органічне скло, полістирол, фторопласти, поліхлорвініл та інші.

Полімери отримані поліконденсацією і мають просторові (зшиті, сітчасті) макромолекули, то їх називають терморективними пластмасами. До них відносяться фенолформальдегідні, мочевиноформальдегідні, глифталеві, кремнієвоорганічні та інші смоли.

Будова молекул в значній мірі визначає властивості пластмас.

Термопласти, що мають лінійні і розгалужені макромолекули, здатні багаторазово розм'якшуватись і затвердівати при нагріваннях і охолодженнях, а реактопласти з просторовими макромолекулами після затвердіння при повторному нагріванні не розм'якшуються.

За основними властивостями і видами використання, пластмаси класифікуються на дві основні групи: силові і несилові. Силові пластмаси, в свою чергу, поділяються на конструкційні, фрикційні та антифрикційні. Розрізняють несилові або прозорі (теплозвукоізоляційні, ущільнювальні, декоративні та інші).

Для збільшення механічних властивостей пластмас їх можуть армувати металом (металева сітка, дріт, стрічка).

Несилові пластмаси не містять наповнювачів, а якщо містять, то у вигляді порошку. До таких пластмас відносяться полістерол, плексиглас, целулоїд, оргскло та інші, які використовують для виготовлення екранів, лінз, окуляр.

Визначення твердості пластмас проводять на твердомірі ИТ-5180 під необхідним навантаженням згідно ГОСТ 19111-01 шляхом втиснення сталльної кульки діаметром 5 мм в матеріал, що випробовується. Зразок повинен мати форму пластини або бруска товщиною не менше 5 мм та шириною не менше 15 мм. Поверхня його повинна бути гладкою.

Величину навантаження прикладеного до індентора твердоміра, слід брати рівним 0,5 кН для матеріалів, що мають невелику твердість, а для більш твердих пластмас - до 2,5 кН. Тривалість витримки зразка під навантаженням становить не менше хвилини.

Після зняття навантаження по індикатору визначають глибину втиснення кульки в зразок.

Твердість пластмаси розраховують за формулою :

$$HB = P / \pi D h \quad (23.1)$$

де: P - навантаження, що прикладається до кульки, кН;

D - діаметр кульки, мм;

h - глибина втиснення кульки в зразок, мм.

Для пружних матеріалів, крім твердості, розраховують число пружності Π , яке визначається відношенням величини пружної деформації до залишкової, %:

$$\Pi = \frac{h - h_0}{h} 100\% , \quad (23.2)$$

Крім глибини відбитка h , вимірної безпосередньо після зняття навантаження, проводять повторний вимір залишкової глибини відбитка h_0 (що зберігається після 2...3 хвилин). Отримані при випробуваннях значення твердості пластмас занести в табл. 23.1.

Результати випробування пластмас на твердість

Таблиця. 23.1.

Навантаження P , кН	Діаметр кульки D , мм	Глибина відбитку h , мм	Твердість НВ	Залишкова деформація h_0 , мм	Число пружності Π , %

Розділ 3

Визначення твердості шаруватих пластмас за методом Котречка.

Шаруваті пластмаси володіють анізотропією властивостей і тому твердість є різною в залежності від напрямку волокон. При випробуваннях твердості шаруватих пластмас використовують індентор, що має форму трьохгранної призми з кутом при вершині $\beta=90^\circ$, зрізаної з торців під кутом $\alpha = 30^\circ$ в бік робочого леза довжиною $L= 5\text{мм}$ (рис. 23.2). Твердість шаруватих пластмас визначають вздовж і під необхідними кутами до напрямку волокон, орієнтуючи відповідно лезо індентора (рис.25.3).

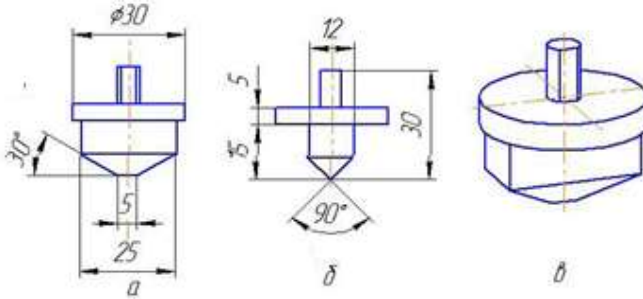


Рис 23.2. Конструкція індентора для визначення твердості шаруватих пластмас:

a і *б*- відповідно фронтальна і профільна проєкції індентора; *в*- загальний вигляд індентора

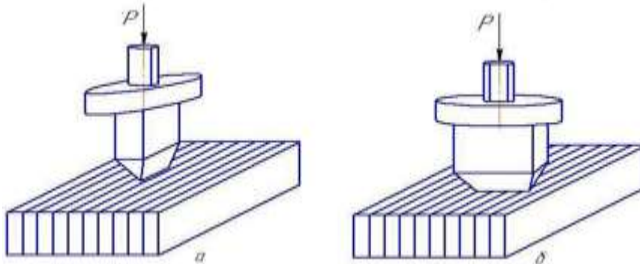


Рис 23.3. Схема визначення твердості шаруватих пластмас:

a – вздовж волокон;
б - поперек волокон під кутом 90°

Значення твердості (HK_n) розраховують діленням величини навантаження (P) на площу (F) отриманого відбитка:

$$HK_n = \frac{P}{F}, \text{ Н/мм}^2 \quad (23.3)$$

де: P – величина навантаження, H ;

F – площа відбитка, мм^2 , яка при постійних розмірах робочої частини призми є функцією глибини втиснення в зразок і визначається за формулою:

$$F = \frac{2h \left[h \cdot \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) + h \cdot \sin \alpha + L \cdot \cos \alpha \right]}{\cos \alpha \cdot \cos \left(\frac{\beta}{2} \right)}, \text{ мм}^2, \quad (23.4)$$

де: h – глибина втиснення індентора в зразок, яку на приладі Роквелла визначають за шкалою індикатора, кожна поділка якої відповідає $0,002 \text{ мм}$ вертикального переміщення індентора.

Площа відбитка F при постійних значеннях $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 90^\circ$ і $L = 5\text{ мм}$ є функцією глибини втиснення індентора у зразок і становить :

$$F = 3,94h^2 + 14,143h, \text{ мм}^2. \quad (23.5)$$

Тоді твердість буде дорівнювати:

$$\hat{IE}_i = \frac{D}{3,94h^2 + 14,143h} \text{ Н/мм}^2. \quad (23.6)$$

Отримані при випробуваннях значення твердості занести до табл. 23.2.

Результати визначення твердості пластмас

Таблиця. 23.2.

Види пластмас	Орієнтація леза індентора відносно напрямку волокон, градус			Навантаження, P, H	Твердість, HK_n $H/\text{мм}^2$
	0	45	90		

Випробування пластмас на розтяг. Визначення границі міцності матеріалу на розтяг базується на тому, що зразок навантажується з постійно зростаючим навантаженням P до руйнування, а потім користуючись формулою (23.7), визначають міцність:

$$\sigma_o = P/F, \quad (23.7)$$

де: P - зусилля руйнування зразка, κH ;

F - площа поперечного перерізу зразка, мм^2 .

Розміри та форма зразків для випробувань на розтяг приведені в таблиці 23.3 і на рис. 23.4.

Характеристика зразків на розтяг

Таблиця. 23.3.

Параметр	Тип зразка		
	a	b	c
Загальна довжина L (не менше), мм			
Ширина головки, мм	235	235	110
Довжина робочої частини, мм	25±1	25±0.5	25±0.5
Товщина робочої частини, мм	55±1	55±0.5	10±0.5
Радіус закруглення, R , мм	10±0.5	10±0.5	25±0.2
Загальна довжина L (не менше), мм	75±1	75±1	75±1

Випробування на розтяг проводять в такій послідовності.

1. Заміряють штангенциркулем ширину b та товщину h робочої частини зразка з точністю до 0,1 мм.

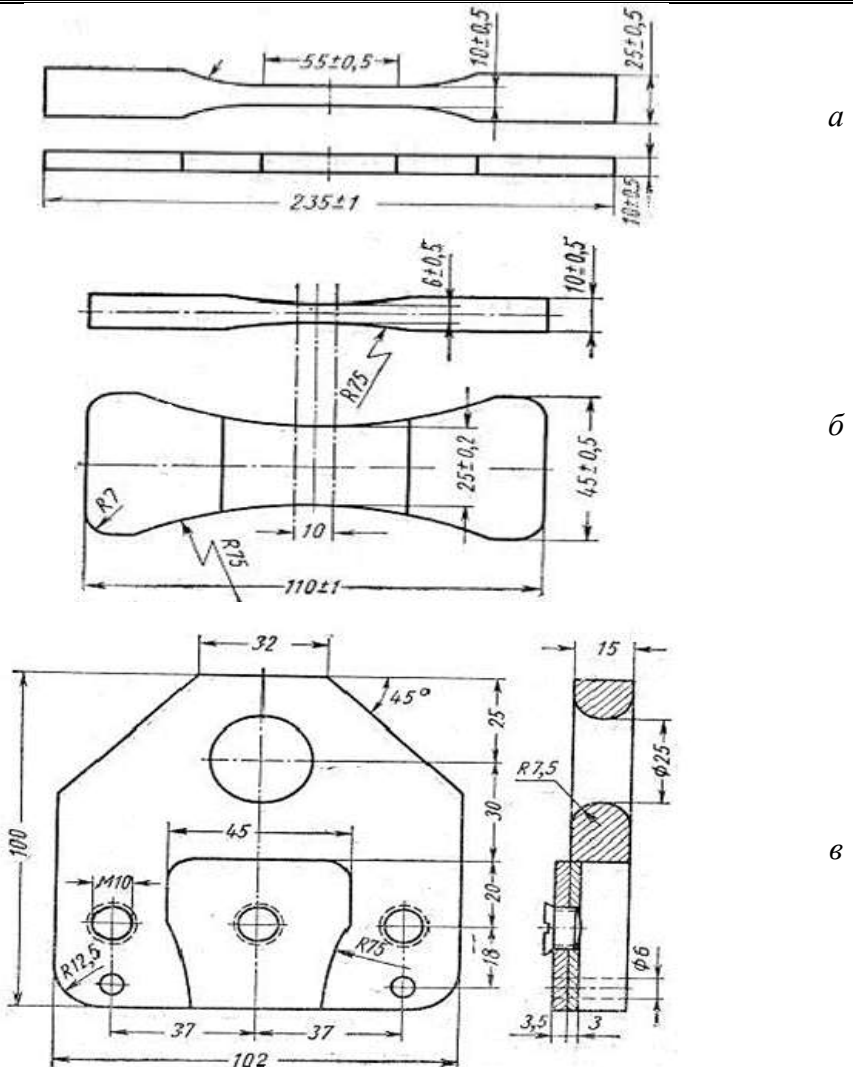


Рис. 23.4. Зразки пластмас для випробування на розтяг:

а, – для розтягу листових матеріалів; *б* – литі зразки;

в – затискач для литих зразків розривної машини

2. Закріплюють зразок 5 у затискачах 4 і 6 розривної машини (рис. 23.4) та встановлюють стрілку шкали 7 на „нуль”.

3. Вмикають електродвигун 1 розривної машини та стежать за стрілкою шкали 7 до моменту руйнування зразка 5.

4. Записують по шкалі 7 максимальне руйнівне навантаження та визначають границю міцності на розтяг σ_{σ} за формулою (23.6).
5. Для кожного зразка визначити місце та характер його руйнування, а також підраховують питому міцність зразків σ_{σ}/γ при розтягу.
6. Отримані значення міцності пластмас на розтяг занести в табл.23.4.

Результати визначення міцності пластмас на розтяг

Таблиця. 23.4.

Матеріал	Розміри перерізу		Площа перерізу $F_a, \text{см}^2$	Навантаження $P, \text{кН}$	Міцність $\sigma_{\sigma}, \text{МПа}$	Видовження, $\delta, \%$
	$b, \text{см}$	$h, \text{см}$				

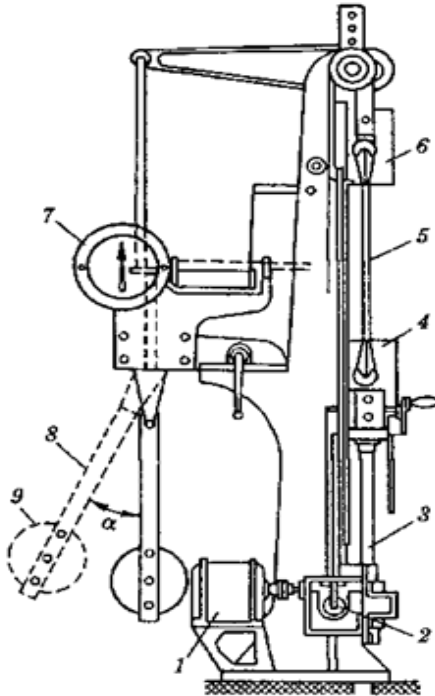


Рис. 23.5. Розривна машина для випробування пластмас

Визначення ударної в'язкості. Ці випробування рекомендується проводити для пластмас, які руйнуються при ударному навантаженні.

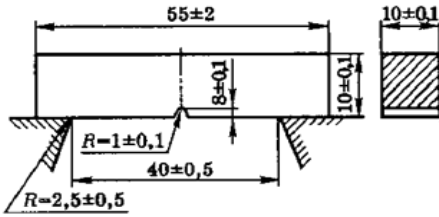


Рис. 23.6. Зразок для випробування пластмас на ударну в'язкість

Посередині зразка виконують надріз глибиною 2 мм з радіусом при його верхині $R = 1$ мм.

Випробування проводять на маятниковому копрі МК-0,5 зображеному на рис.23.7.

Зразок 6 вільно встановлюють на опори 7, а руйнування проводять за рахунок удару маятника 2 посередині зразка.

Розраховують ударну в'язкість за формулою :

$$KCU = \frac{Ak}{bh}, \text{ Дж/см}^2 \text{ (23.7)}$$

де: Ak – робота, що витрачується на руйнування зразка і визначається за шкалою маятникового копра, Дж;

b і h – відповідно ширина та товщина зразка, см.

Ударну в'язкість визначають в такій послідовності.

1. Перед випробуванням зразка заміряють його ширину, товщину та довжину.
2. Перевіряють кут злету маятника 2 при холостому ході.
3. Зразок 4 встановлюють на опори 5 так, щоб удар вантажу 1 маятника 2 відбувся посередині зразка зі сторони протилежної надрізу.
4. Маятник 2, обертаючи навколо вісі 3, піднімають у верхнє положення та фіксують фіксатором 10, закріпленому на станині 7.
5. При визначенні ударної в'язкості фіксатором звільнюють маятник, щоб дати йому можливість вільно падати.

Випробування базуються на визначенні кількості роботи, яку необхідно затратити для руйнування стандартного зразка, що вільно лежить на двох опорах при випробуванні його на згин ударним навантаженням.

Зразки після механічної обробки повинні мати форму бруска прямокутного перерізу з розмірами сторін $10 \times 10 \times 55$ мм (рис. 23.6).

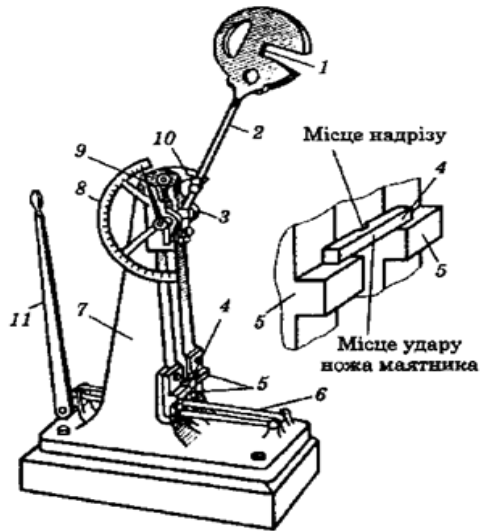


Рис.23.7. Маятниковий копер для випробування на ударну в'язкість

6. Безпосередньо після руйнування зразка маятник необхідно зупинити за допомогою пасового гальма *b*, що приводиться в дію важелем *11*.

7. Роботу, що витрачається на руйнування зразка, фіксують стрілкою на шкалі 8 копра і визначають ударну в'язкість.

8. Отримані значення вимірів та розрахунків занести у таблицю 23.5.

Результати визначення ударної в'язкості пластмас

Таблиця. 23.5.

Матеріал	Розміри зразка, см			Робота руйнування, $A_k, Дж$	Ударна в'язкість, КСУ, $Дж/см^2$
	Ширина, $b, мм$	Товщина, $h, мм$	Довжина, $l, мм$		

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з правилами техніки безпеки під час роботи на твердомірах, розривних машинах і маятникових копрах, їх будовою та принципом роботи.

2. Коротко описати методику визначення твердості, міцності на розтяг і ударної в'язкості пластмас.

3. Перед випробуванням властивостей пластмас перевірити відповідність розмірів зразків згідно Держстандарту.

4. Визначити властивості пластмас на твердість, розтяг та ударну в'язкість. Результати досліджень занести у відповідні таблиці.

5. Зробити висновки по виконаній роботі.

Зміст звіту

1. Мета роботи.

2. Короткі теоретичні відомості.

3. Результати випробувань пластмас занести у таблиці по виконаній роботі.

4. Висновки.

Контрольні запитання. 1. Які є форми макромолекул полімерів? 2. Яку структуру макромолекул мають термопластичні і термореактивні пластмаси та як вона впливає на їх властивості? 3. Як класифікують пластмаси за їх властивостями? 4. За якою формулою визначають твердість пластмас в разі використання в якості індентора сталеної кульки? 5. Який індентор використовують для визначення твердості шаруватих пластмас? 6. Напишіть формулу визначення твердості шаруватих пластмас. 7. Напишіть формули визначення міцності пластмас на розтяг і ударну в'язкість.

Лабораторна робота №24

Визначення механічних властивостей деревини

Мета роботи. 1. Вивчити будову приладів і пристосувань, які використовують для визначення механічних властивостей деревини та освоїти методику визначення твердості, міцності при розтягу, ударної в'язкості, перерізанні, розколюванні і зминанні деревини.

Обладнання та матеріали: Твердомір ИТ-5180, розривні машини типів Р-5, ИМ-4Р, РМ-500, прес ПГМ-100МГ4, маятниковий копер МК-05, зразки

для випробування деревини, штангенциркулі, лінійки.

Теоретичні відомості

Деревина, як конструкційний матеріал використовується в різних галузях промисловості і застосовується як в натуральному вигляді, так і у вигляді різноманітних деревних матеріалів.

Перевагами деревини як конструкційного матеріалу є достатньо висока механічна міцність і невелика об'ємна маса і, отже, висока питома міцність, високий опір ударним і вібраційним навантаженням.

Теплофізичні властивості деревини характеризуються низькою теплопровідністю і в 23 рази меншим, ніж у сталі, температурним коефіцієнтом лінійного розширення. Деревина має високу хімічну стійкість до ряду кислот, солей, мастил, газів. Важливими властивостями деревини є її здатність до склеювання, можливість швидкого з'єднання цвяхами, шурупами, легкість механічної обробки і гнуття.

Нарівні з вказаними перевагами деревина має ряд недоліків, що обмежують її застосування як конструкційного матеріалу.

Слід відмітити такі недоліки: гігроскопічність, яка є причиною відсутності у деталей з деревних матеріалів стабільності форми, розмірів і міцності, що змінюються із зміною вологості; схильність до грибкових захворювань; відсутність вогнестійкості; низький модуль пружності; неоднорідність будови, внаслідок чого властивості матеріалу різні не тільки в межах однієї породи, але і в межах одного стовбура.

Характерною особливістю будови деревини є її анізотропія. Термін «анізотропія» походить від грецького «*anisos*» - нерівний та «*tropos*» - напрямок і означає неоднаковість властивостей залежно від напрямку.

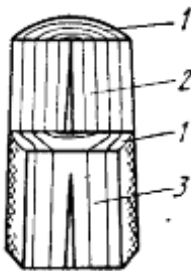


Рис. 24.1. Основні перерізи деревини:

- 1 - торцевий; 2 - радіальний;
- 3 - тангенціальний

Анізотропія деревини є наслідком упорядкованої орієнтації в розміщенні структурних елементів її будови. Оскільки деревина анізотропна, її механічні властивості визначають у трьох розрізах: торцевому (поперечному), перпендикулярному до волокон; радіальному, що проходить через вісь стовбура; тангентальному, що йде вздовж стовбура на деякій відстані від нього (рис.24.1).

З врахуванням анізотропії деревини розроблені нові методи і пристрої для визначення її механічних властивостей.

Види деревних матеріалів

Пиломатеріали і заготовки. Матеріали з натуральної деревини застосо-

вують у вигляді пиломатеріалів і заготовок. Залежно від розмірів поперечного перерізу розрізняють бруси, ширина і товщина яких більша 100 мм; бруски шириною не більшою подвійної товщини; дошки при ширині, більшій подвійної товщини (тонкі вузькі дошки називаються планками).

Пиломатеріали хвойних порід використовують більш широко, вони мають високу міцність, менш схильні до загнивання, особливо сосна; з листяних порід - дуб і ясен добре піддаються гнуттю; бук і береза є їх заміниками.

Хвойні і тверді листяні породи використовують для силових навантажених деталей. М'які породи (липа) є несиловими матеріалами. Хвойні пиломатеріали використовують в суднобудуванні, автотранспорті (деталі вантажних автомобілів), конструкціях вантажних залізничних вагонів, сільськогосподарських машин і т. д.

Шпон - широка рівна стружка деревини, яку отримують шляхом лущення або стругання. Товщина листів шпону - від 0,55 до 1,5 мм. Шпон є напівфабрикатом для виготовлення фанери, деревних шаруватих пластиків і клейових гнутих деталей. Шпон з красивою текстурою (дуб, бук та ін.) використовується як облицювальний матеріал для виробів з деревини.

Фанера - листовий матеріал, який отримують шляхом склеювання шарів шпону. Товщина фанери від 1 до 12 мм, більш товсті матеріали називають плитами. Залежно від клею, яким клеять шпон і ступеню водостійкості, фанера випускається таких марок: **ФСФ** на фенолоформальдегідному клеї з підвищеною водостійкістю, **ФК** на карбамідному і **ФБА** на альбуміноказеїновому клеї з середньою водостійкістю та **ФБ** на білкових клеях з обмеженою водостійкістю.

Пресована деревина виходить при гарячому пресуванні брусків, дощок, заготовок, при цьому вона зазнає спеціальної термообробки в ущільненому стані. Пресована деревина має такі властивості: об'ємну масу $1,1 \dots 1,42 \text{ г/см}^3$, границю міцності вздовж волокон при розтягуванні - $14 \dots 23 \text{ кгс/мм}^2$, при сти-сканні - $9 \dots 13 \text{ кгс/мм}^2$, при згині - $15 \dots 20 \text{ кгс/мм}^2$, ударну в'язкість $60 \dots 80 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$. Пресована деревина є заміником чорних та кольорових металів і пластмас. Вона використовується для виготовлення деталей машин, що працюють при ударних навантаженнях (кулачки, сегменти зубчастих передач, підшипники, втулки). Вкладиші з деревини порівняно з бронзовими мають вдвоє менше спрацювання, при цьому знижується витрата мастил.

Дерево-стружкові плити виготовляють гарячим пресуванням деревної стружки з речовинами, що зв'язують.

Плити випускають одношарові (ПС-1, ПТ-1), тришарові (ПС-3, ПТ-3) і облицьовані шпоном, фанерою, папером (ЭС, ЭМ).

Дерево-стружкові плити легкі, мають об'ємну масу $0,35 \dots 0,45 \text{ г/см}^3$; володіють теплоізоляційними властивостями. Для важких і надважких плит об'ємна маса досягає $0,75 \dots 1,1 \text{ г/см}^3$. Дерево-стружкові плити застосовують для підлоги і бортів вантажних машин та причепів, у вагонобудуванні, будів-

ництві, для виробництва меблів.

Дерево-волокнисті плити виготовляють з деревних волокон (роздробленої деревини), іноді з добавками зв'язуючих речовин. Під дією високої температури і тиску деревні волокна спресовуються в міцний матеріал. Плити поділяють на м'які пористі (М-4, М-12), напівтверді (ПТ-100), тверді (Т-350, Т-400) і надтверді (СТ-500).

У позначенні марки плит цифри означають σ_g (кГс/см²). У промисловості випускають також акустичні плити, що мають коефіцієнт звукопоглинання 0,2...0,3 при частоті коливань 300 Гц та 0,4...0,5 при 1000 Гц. Деревоволокнисті плити застосовують для облицювання пасажирських вагонів, автобусів, в радіотехніці, будівництві тощо.

З врахуванням анізотропії деревини розроблені нові методи і пристрої для визначення її механічних властивостей.

Визначення механічних властивостей деревини

1. Визначення твердості деревини за методом Котречка

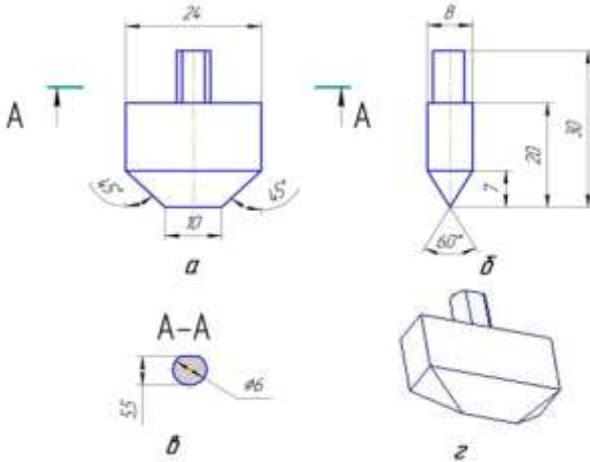


Рис. 24.2. Індентор для визначення твердості деревини: *a* і *b* - відповідно фронтальна і профільна проекції індентора; *в* - розріз по А-А; *г* - загальний вид індентора

Із врахуванням анізотропії властивостей деревини визначення її твердості здійснюють вздовж і під кутами до напрямку волокон, використовуючи індентор, робоча частина якого виконана у вигляді тригранної призми (рис. 24.2).

В залежності від необхідності кут втиснення робочого леза індентора у деревину відносно напрямку волокон беруть в межах від 0° до 90° (рис. 24.2).

Значення твердості деревини HK_w розраховують за формулою:

$$HK_w = \frac{P}{F}, \text{ Н/мм}^2, \tag{24.1}$$

де: *P* – величина навантаження, *H*;
F – площа відбитку, мм².

Площа відбитку являє собою площу робочої частини трьохгранної призми втисненої у анізотропний матеріал, яка визначається за формулою (23.4).

При заданих постійних величинах $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 60^\circ$ і $L = 10$ мм величина площі F відбитків буде становити: $F = 3,94 h^2 + 23,1 h^2$; мм². Тоді:

$$\hat{I\hat{E}}_i = \frac{D}{3,94h^2 + 23,1h^2} \quad \text{Н/мм}^2. \quad (24.2)$$

Твердість деревини визначають вздовж волокон і під кутами 45° і 90° до їх напрямку. Результати досліджень заносять у табл. 24.1.

Результати визначення твердості деревини

Таблиця 24.1

Порода деревини	Орієнтація лека індикатора відносно напрямку волокон, градус			Навантаження, P, H	Твердість, $HK_{10}, H/мм^2$
	0	45	90		

2. Визначення ударної в'язкості деревини в умовах зосередженого руйнування.

При стандартних дослідженнях деревини на ударну в'язкість зразок розмішують на двох опорах, а навантаження прикладають до середини зразка. При такій схемі випробувань під час удару маятника, внаслідок анізотропії деревини, зразок прогинається по всій довжині. Тобто руйнування деревини відбувається в умовах, коли кінці зразка працюють як консолі. При цьому частка роботи витрачається на пружну деформацію зразка.

В зв'язку з тим, що окремі деталі, виготовлені із деревини, в процесі експлуатації можуть піддаватися зосередженим ударним навантаженням у заданій площині, коли відсутні прогин їх по довжині і робота, затрачена на їх руйнування є меншою, ніж отримана при використанні відомого способу. Тому доцільним є проведення досліджень по визначенню ударної в'язкості деревини в умовах зосередженого руйнування.

Для проведення досліджень із деревини вирізають зразки I у вигляді прямокутної призми розмірами (20×25×150) мм. Підготовку заготовок для зразків відбір і їх виготовлення здійснюють згідно ГОСТ 16483.0-89. СТ СЭВ 6470-88. (Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям).

Посередині зразка I на грані розміром 20 мм виконують надріз 2 глибиною (5 ± 0,1) мм і шириною (2 ± 0,1) мм з радіусом при вершині рівним 1 мм (рис. 24.3, а). Для забезпечення зосередженого руйнування зразка використовують пристрій у вигляді двох сталевих втулок 3 прямокутного перерізу з внутрішніми розмірами (20^{+0,2}×25^{+0,2}) мм і довжиною 60 мм (рис. 24.3, б).

Визначення ударної в'язкості деревини здійснюють наступним чином.

1. На кінці зразка I встановлюють втулки 3, залишаючи вільною його середину довжиною 30 мм.

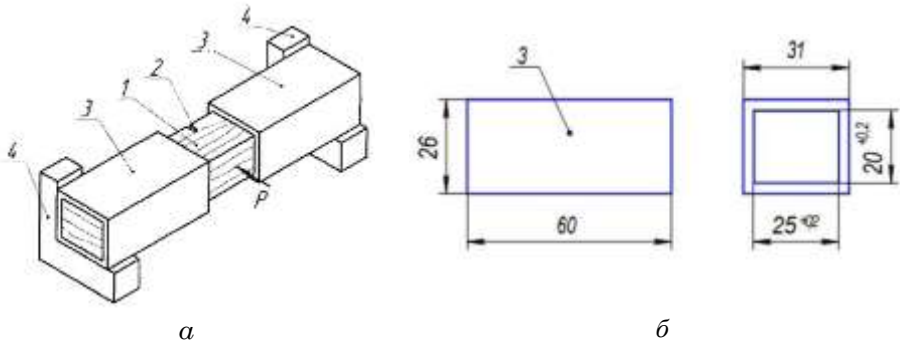


Рис. 24.3. Випробування ударної в'язкості деревини:

a – схема розміщення зразка на опорах копра; *б* – конструкція і розміри втулок

2. В такому стані зразок із втулками симетрично розміщують на опорах маятникового копра так, щоб надріз знаходився з протилежної сторони від напрямку удару маятника. Відстань між опорами повинна становити 120 мм.

3. По шкалі копра визначають роботу A_k , витрачену на руйнування зразка.

4. Ударну в'язкість деревини розраховують за формулою:

$$KCU = \frac{A_k}{b \cdot h}, \text{ Дж/см}^2, \quad (24.3)$$

де: A_k – робота, витрачена на руйнування зразка, Дж;

b – ширина зразка, у місці надрізу, см;

h – висота зразка в місці надрізу, см.

5. Ударну в'язкість деревини визначають в радіальній і тангенціальній площинах. Результати досліджень заносять у таблицю 24.2.

Результати випробувань ударної в'язкості деревини

Таблиця 24.2.

Вид деревини	Поверхні		Робота руйнування, A_k , Дж	Ударна в'язкість, KCU , Дж/см ²
	Радіальна	Тангенціальна		

3. Визначення межі міцності деревини при перерізанні впоперек волокон.

Дослідження проводять на призматичних зразках шириною 25 мм, високою 40 мм і довжиною 90 мм, робоча площа яких становить 1000 мм². Зразки для випробувань вирізають із радіальної та тангенціальної площин. Для визначення межі міцності деревини при перерізанні поперек волокон використовують пристрій, що складається із рухомого ножа 1 з хвостовиком 2 (рис. 24.4, а) і нерухомого ножа 3 з опорною плитою 4 (рис. 24.4, б), з'єднаних в один вузол за допомогою ковзної посадки «ластівчин хвіст» (рис. 24.4, в).

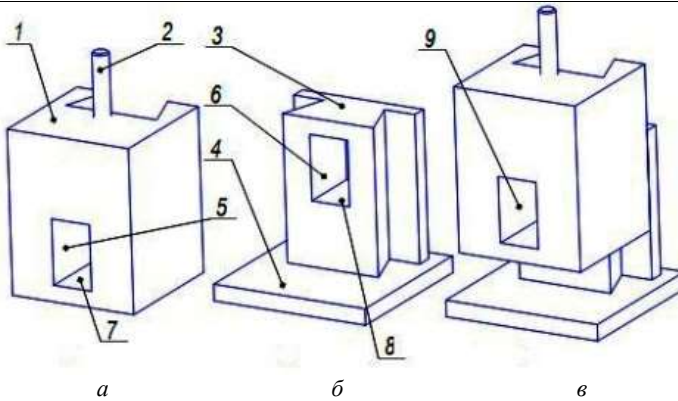


Рис. 24.4 Будова пристрою для визначення межі міцності деревини при перерізани поперек волокон: *а* – рухомий ніж; *б* – нерухомий ніж; *в* – пристрій в зібраному стані

В стінках ножів виконані прямокутні отвори 5 і 6, розміри яких відповідають розміру зразка у поперечному перерізі (рис. 24.5, *а*).

Визначення міцності деревини при перерізани впоперек волокон виконують наступним чином. Переміщують рухомий ніж 1 у вертикальній площині відносно нерухомого 3 до моменту коли співпадуть поверхні 7 і 8 отворів 5 і 6 у горизонтальній площині і утворять загальну жорстку обойму 9 призматичної форми в яку встановлюють зразок 10 (рис. 24.5).

Зібраний у такому стані пристрій із зразком 10 розміщують на нижній опорній поверхні випробувальної машини. Навантаження на зразок здійснюють прикладанням зусилля P до рухомого ножа 1 через хвостовик 2, який кріплять у затискачах верхньої головки.

Межу міцності деревини при перерізани впоперек волокон визначають за формулою:

$$\sigma_n = \frac{F}{a \cdot h}, \text{ МПа}, \quad (24.4)$$

де: P – зусилля перерізання зразка, H ;

a – ширина зразка, $мм$;

h – висота зразка, $мм$.

Результати досліджень заносять у таблицю 24.3.

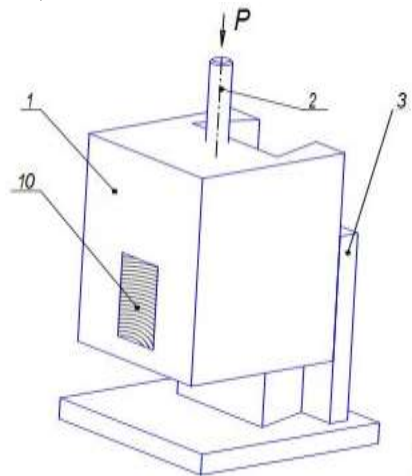


Рис. 24.5 Схеми випробування міцності деревини при перерізани впоперек волокон

Вид деревини	Поверхні		Межа міцності деревини при перерізанні впоперек волокон, МПа
	Радіальна	Тангенціальна	

4. Спосіб визначення опору деревини розколюванню. Дослідження проводять на призматичних зразках з круглим отвором (рис. 24.6)

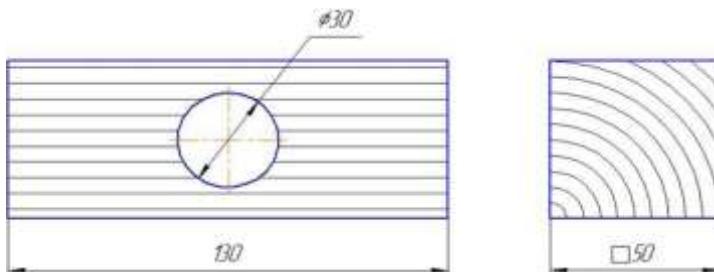


Рис. 24.6 Конструкція і розміри зразка

Для визначення опору деревини розколюванню використовують пристрій, що складається із двох захоплювачів 1, які мають П - подібну форму з хвостовиками 2, через які прикладають навантаження P від розривної машини та двох вкладишів 3, виготовлених у вигляді напівциліндрів (рис. 24.7).

Внутрішній розмір, утворений захоплювачами 1, виконаний рівним поперечному перерізу зразка 4, чим створюють можливість його установки у захоплювачах. З метою розміщення вкладишів 3 у отворі зразка 4, їх зовнішній діаметр беруть рівним діаметру отвору у зразку. З'єднання захоплювачів 1 із вкладишами 3 здійснюють за допомогою болтів 5, гайок 6 та шайб 7. Визначення опору деревини розколюванню виконують наступним чином. Вкладиші 3 розміщують у отворі зразка 4 і з'єднують їх захоплювачами 1 за допомогою болтів 5, гайок 6 та шайб 7.

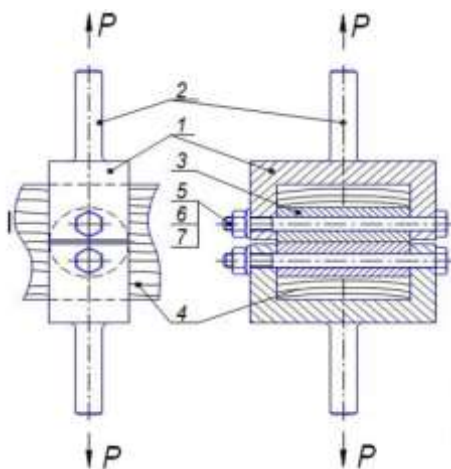


Рис. 24.7. Пристрій для визначення опору деревини розколюванню зі зразком у зібраному стані

В подальшому зібраний пристрій із зразком 4 за допомогою хвостовиків 2 закріплюють у затискачах навантажувальних головок розривної машини. Прикладанням до хвостовика навантаження створюють розтягуючі зусилля P на зразок перпендикулярно до напрямку волокон деревини.

Опір деревини розколюванню ($\sigma_{розк}$) визначають за формулою:

$$\sigma_{розк} = \frac{P}{a \cdot l}, \text{ МПа,} \quad (24.5)$$

де: P – навантаження, при якому відбувається розколювання зразка, H ;

a – ширина зразка, яка дорівнює 50 мм;

l – довжина розколу зразка, яка дорівнює 100 мм.

При заданих значеннях ширини a і довжини l зразка його площа F становить 50 мм².

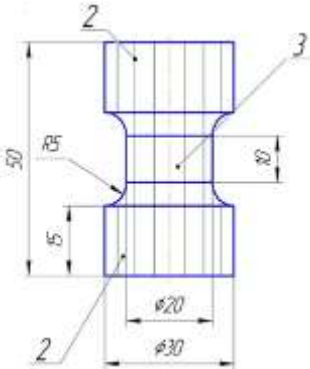
Результати досліджень визначення опору деревини заносять у табл. 24.4.

Результати визначення опору деревини розколюванню

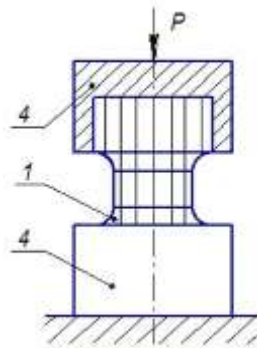
Таблиця 24.4.

Вид деревини	Поверхні		Значення опору деревини розколюванню, МПа
	Радіальна	Тангенціальна	

5. Визначення міцності деревини при місцевому зминанні вздовж і поперек волокон. Дослідження проводять на зразках 1 циліндричної форми з головками 2, виготовлених із деревини вздовж і поперек волокон (рис. 24.8, а).



а – конструкція і розміри зразка



б – схема випробувань

Рис. 24.8. Визначення межі міцності деревини при місцевому зминанні

Діаметри шийок 3 і головок 2 беруть відповідно рівними 20 і 30 мм, внаслідок чого площа поперечного перерізу робочої частини зразка S_0 буде на 50% меншою, ніж площа поперечного перерізу головок.

Для усунення впливу сил тертя на величину створених у зразку напружень на його головки встановлюють сталеві обойми 4 (рис. 25.8,б).

Випробування виконують наступним чином. Зразок 1 у зборі із сталевими

Розділ 3

обоймами 4 розміщують на нижній опорі випробувальної машини і навантажують через пуансон до моменту руйнування зразка. Межу міцності деревини при місцевому зминанні ($\sigma_{зм}$) розраховують за формулою:

$$\sigma_{зм} = P/S_0, \text{ МПа}, \quad (24.6)$$

де: P – максимальне навантаження на зразок під час його руйнування, H ;

S_0 – площа поперечного перерізу робочої частини зразка, мм^2 .

Дослідження виконують на зразках вздовж і поперек волокон.

Отримані результати досліджень занести у таблицю 24.5.

Результати визначення міцності деревини при місцевому зминанні

Таблиця 24.5

Вид деревини	Межа міцності деревини при місцевому зминанні, МПа	
	Вздовж волокон	Поперек волокон

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Визначити твердість зразків двох-, трьох порід деревини вздовж і під кутом 90° до напрямку волокон. Результати досліджень занести в табл. 24.1.
4. Визначити ударну в'язкість деревини в умовах зосередженого руйнування. Отримані результати випробувань занести в табл. 24.2.
5. Визначити межу міцності деревини при перерізанні поперек волокон. Навести формулу для визначення межі міцності деревини при перерізанні поперек волокон і виконати розрахунки, результати занести в табл 24.3
6. Результати визначення опору деревини розколюванню. Отримані результати випробувань занести в табл. 24.4
7. Визначити міцність деревини при місцевому зминанні вздовж і поперек волокон. Отримані результати випробувань занести в табл. 24.5

Контрольні запитання. 1. Які переваги і недоліки має деревина як конструкційний матеріал? 2. Які є види деревних матеріалів і де їх використовують? 3. Що таке анізотропія властивостей деревини? 4. Яку форму має робоча частина індентора для визначення твердості деревини? 5. Як з врахуванням анізотропії деревини визначають її твердість? 6. З якою метою використовують сталні втулки при визначенні ударної твердості деревини на зосереджений злам? 7. Яка будова пристрою для визначення межі міцності деревини при перерізанні поперек волокон і які при цьому використовують зразки? 8. Яка конструкція і розміри зразків для визначення опору деревини розколюванню? 9. Яка будова пристрою для визначення опору деревини розколюванню? 10. Як усувають вплив сил тертя на величину створених у зразку напружень при визначенні міцності деревини в процесі місцевого зминання вздовж і поперек волокон? 11. Яка конструкція зразків для визначення міцності деревини при місцевому зминанні вздовж і поперек волокон?



Розділ 4

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

- ♦ **Визначення властивостей формових і стрижневих матеріалів**
- ♦ **Розроблення технологічного процесу виготовлення вилівка**

Лабораторна робота 25

Визначення властивостей формових і стрижневих матеріалів

Мета роботи: вивчити будову і роботу приладів, які використовують для визначення властивостей формових і стрижневих матеріалів; ознайомитися з методикою вивчення їх технологічних властивостей.

Обладнання та матеріали: прилади для визначення властивостей формових і стрижневих сумішей, стандартні зразки, ваги, формові суміші, мікрокалькулятори.

Теоретичні відомості

Ливарні форми виготовляють із формових сумішей, які складаються із кварцового або силікатного піску, вогнетривкої глини, вологи та спеціальних домішок.

Чистий кварцовий пісок є оксидом кремнію — SiO_2 . Головною складовою глини є каоліни ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$). Їх вогнетривкість 1730°C.

Спеціальні домішки використовують для надання формовим і стрижневим сумішам таких властивостей:

- ♦ міцності — здатності витримувати зовнішні навантаження без руйнування;
- ♦ пластичності - здатності добре відтворювати форму та розміри моделі і порожнини стрижневого ящика;
- ♦ піддатливості - здатності стискатися при усадці розплаву у формі;
- ♦ газопроникності - здатності вільно пропускати гази із порожнини форми;

Розділ 4

♦вогнетривкості - здатності не розплавлятися і не спікатися з розплавом під дією високих температур;

♦довговічності - здатності зберігати властивості при повторному використанні.

Для підвищення міцності формових і стрижневих сумішей використовують рідке скло, цемент, сульфітний луг і патоку. Пластичність і піддатливість поліпшуються за наявності у формових і стрижневих сумішах сульфітно-спиртової барди, колоїдних розчинів органічних речовин. Добавки тирси, торфу, січки із соломи, вигоряючи, утворюють допоміжні канали в суміші, завдяки чому поліпшується газопроникність. Вогнетривкість формових і стрижневих сумішей зростає при використанні кам'яновугільного пилю, пилоподібного кварцу (маршаліту), графіту, мазуту. Склад формової суміші вибирають залежно від виду ливарного сплаву (чавун, сталь, кольорові сплави), його температури плавлення, усадки при кристалізації, а також маси, розмірів і конфігурації виливка.

Отвори і порожнини в литих деталях отримують завдяки використанню в ливарних формах стрижнів. Стрижні мають бути міцними, газопроникними, не вбирати вологу та легко вибиватися із виливка. Їх виготовляють із чистого кварцового піску (94...98%) і в'язучих матеріалів (олива, патока, декстрин, каніфоль, сульфітний луг, синтетичні смоли, льняна олія тощо).

Склад і фізико-механічні властивості формових і стрижневих сумішей систематично контролюють у лабораторіях ливарних цехів. Визначають зерновий склад кварцового піску, вологість, вміст глинистих речовин, газопроникність, міцність формових і стрижневих сумішей.

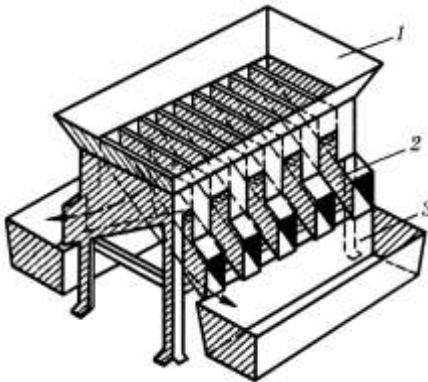


Рис. 25.1. Відбірник проб формової суміші

Взяття проби суміші. Для того щоб проба мала середній склад формової суміші, її беруть малими порціями з різних місць усієї маси. Відібрану порцію формової суміші старанно перемішують і квартуванням зменшують її масу до потрібної, використовуючи для цього спеціальний прилад — відбірник проб (рис. 25.1). Цей прилад складається із резервуара 1 з напрямними лотками 2 і двох коробів 3, розміщених з різних боків резервуара.

Порція суміші, насипана в резервуар, розподіляється на дві однакові частини. Половину її, розміщену в одному з коробів, відкидають, а другу — повторно засипають у відбірник і знову зменшують удвічі. Операцію повторюють доти, доки не залишиться та кількість суміші, яка потрібна для випробування. Маса проби при повному циклі випробувань має становити приблизно 5 кг, при частковому — 0,5 кг. Відібрану пробу слід помістити в банку і герметично закрити кришкою.

Визначення вологості формових і стрижневих сумішей. Для визначення вологості суміші використовують прилад ФВ-1 (рис. 25.2), який складається із чотирьох нагрівальних печей, змонтованих на загальній рамці 1. У сталеву гільзу 4 печі, де влаштовано електронідегрівач із ніхромової спіралі, через повітроочисник 2 подається повітря, кількість якого регулюється кранами 8. Кожна піч має свій вимикач 6 струму і термометр 3 для контролю повітря.

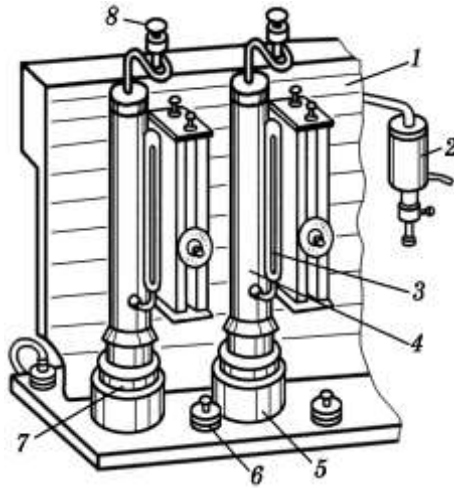


Рис. 25.2. Прилад ФВ-1 для визначення вологості формових сумішей

Під кожною гільзою на пружинній підставці 7 встановлюють чашечку 5 з сітчастим дном, в яку засипають

50 г досліджуваної суміші і сушать за температури 105...110°C упродовж 5...6 хв. Після сушіння суміш знову зважують і визначають її вологість, %:

$$B = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100, \quad (25.1)$$

де: m_1 — маса наважки до сушіння, г;
 m_2 — маса наважки після сушіння, г.

Визначення вмісту глинистих речовин у формових матеріалах. Вміст глинистих речовин визначають методом відмулювання. Для цього наважку 50 г формового матеріалу, висушеного за 105...110°C, висипають у літрову скляну банку, в яку наливають 475 см³ дистильованої води і 25 см³ одновідсоткового розчину їдкого натрію.

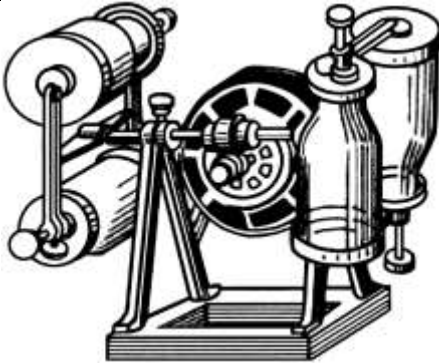


Рис. 25.3. Прилад для визначення вмісту глинистих речовин у піску

Банку герметично закривають кришкою і встановлюють на прилад (рис. 25.3) для збовтування впродовж години з частотою обертання 60 хв^{-1} . Потім банку знімають, доливають водою до рівня 150 мм від дна, збовтують і дають відстоятися впродовж 10 хв .

При відстоюванні зерна піску осідають на дно банки, а глинисті речовини залишаються в змуленому стані.

За допомогою сифона зливають 125 мл води зі змуленими частинами глинистих речовин. Після цього в банку знову добавляють воду до попереднього рівня, збовтують, дають відстоятися 10 хв і повторно зливають воду сифоном. Цю операцію відмулювання повторюють доти, доки вода в банці не стане цілком прозорою, що свідчатиме про повне виведення глини. Причому перші два рази перед зливанням води її відстоюють упродовж 10 хв , а наступні — 5 хв .

Осад, що залишився в банці, сушать за температури $105\text{...}110^\circ\text{C}$, а потім зважують з точністю до $0,01 \text{ г}$. Різниця у масі між початковою наважкою 50 г і масою осаду вказуватиме на вміст глинистих речовин у формовому матеріалі, %:

$$\Gamma = \frac{m'_1 - m'_2}{m'_2} 100, \quad (25.2)$$

де: m'_1 — маса наважки до випробування, г ;

m'_2 — маса наважки після випробування, г .

Зерновий аналіз кварцового піску. Наважку 50 г сухого піску після відмулювання піску просівають на приладі (див. рис. 22.1) з набором каліброваних сит з точними розмірами вічок від $2,5$ до $0,05 \text{ мм}$. Верхнє сито накривають кришкою, під нижнє підставляють металевий лоток.

Стопка сит приводиться в рух від електродвигуна через ексцентриковий механізм, який забезпечує струшування їх у горизонтальній площині. Прилад виконує близько 300 коливань за хвилину. Крім того, для кращого просіювання піску під час роботи приладу зверху по кришці сит важіль здійснює удари (стукалкою) з частотою 180 ударів за хвилину. Тривалість просіювання становить 15 хв , після чого стопку сит знімають з приладу і зважують з точністю до $0,01 \text{ г}$ піску в кожному ситі, а

також у лотку. Отриманий результат виражають у відсотках від початкової наважки 50 г. Залишок піску у лотку позначається словом «лотік». Пісок, що залишився в найбільшій кількості на трьох суміжних ситах, називають основною зерною фракцією.

Приготування стандартних зразків із формових і стрижневих сумішей.

Стандартний зразок для визначення газопроникності і міцності на стиск формової суміші є циліндром (рис. 25.4, а), розміри якого становлять $d = 50 \pm 0,2$ мм, $h = 50 \pm 0,8$ мм.

Для визначення граничної міцності стрижневої суміші на розтяг виготовляють зразок у вигляді вісімки (рис. 25.4, б).

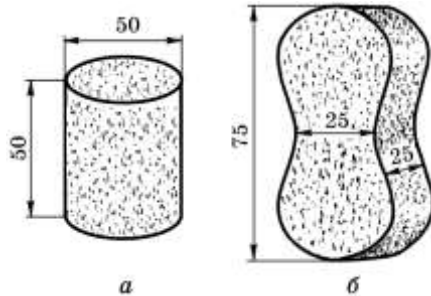


Рис. 25.4. Стандартні зразки:

а — зразок для випробування формової суміші на стиск; б — зразок для випробування стрижневої суміші на розтяг

Усі види зразків спресовують на лабораторному копрі (рис. 25.5), використовуючи в першому випадку прес-форму, яка складається із

гільзи 7 і піддона 8, а в другому - прес-форма є стрижневим ящиком з внутрішньою формою і розмірами, що відповідають формі та розмірам зразка-вісімки. Копер складається із станини 1, виготовленої спільно з двома кронштейнами і вертикальним приливом, через який пропущено шток 2. На шток вільно надіто бабу (вантаж) 4 масою 6350 ± 10 г.

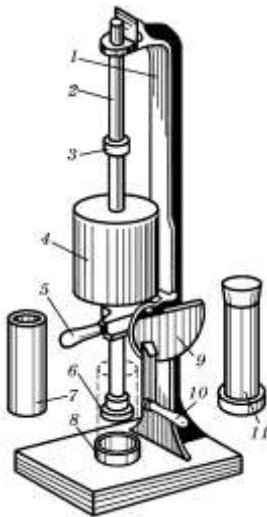


Рис. 25.5. Копер для спресування в прес-формах стандартних зразків

За допомогою ексцентрика 9 і рукоятки 10 бабу можна підняти на постійну висоту 50 мм до контрольного кільця 3. На нижньому кінці штока 2 закріплено бойок-шайбу 6. Рух баби вниз обмежується закріпленим на штоку підйомником з рукояткою 5. При установленні на прилад та знятті з нього прес-форми з піддоном вручну піднімають шток 2 з бабою 4.

Розділ 4

Для того щоб вийняти із прес-форми (гільзи) 7 готовий зразок, використовують дерев'яний виштовхувач 11.

Порядок виготовлення зразок-циліндра такий: беруть наважку 140...180 г формової суміші і засипають у прес-форму, яку переносять на копер і ущільнюють трьома ударами баби, обертаючи рукоятку 10 з ексцентриком 9. Для контролю висоти зразка $50 \pm 0,8$ мм призначені три риси, розміщені на верхньому вертикальному приливі станини копра. Якщо верхній край штока 2 не виходить за межі рисок, то зразок відповідає вимогам стандарту. Якщо він вийшов за межі рисок, то потрібно взяти нову порцію формової суміші і повторно виготовити стандартний зразок.

На цьому самому копрі, замінивши гільзу спеціальним стрижневим ящиком, виготовляють із стрижневої суміші стандартний зразок-вісімку за тими самими правилами, що і зразок-циліндр. Маса наважки при цьому становить 120...140 г. Висота зразка $25 \pm 0,2$ мм контролюється трьома рисками, які нанесені на пуансоні прес-форми. Готовий зразок виймають із прес-форми і висушують у муфельній печі. Температура сушіння залежить від виду в'язучого матеріалу стрижневої суміші і становить 175...325°C.

Визначення газопроникності формової суміші. Випробування формової суміші на газопроникність проводять на спеціальному приладі ФП-2У (рис. 25.6) з використанням стандартних циліндричних зразків.

Прилад складається з бака 5, заповненого водою і прикріпленого шайбою 6 до корпусу приладу. В центрі бака впаяно трубку 4, яка внизу з'єднана з повітряним триходовим краном 8. Усередині бака плаває циліндричний ковпак 3 з трубкою 2, що входить у трубку 4. На ковпак нанесено позначки «2000», «1000», «0» та «X». Повітряну камеру із ковпаком з'єднано з водяним манометром 10.

Перед випробуванням триходовий кран 8 ставлять у положення «Відкрито», тобто коли трубка 4 з'єднана з атмосферою (рис. 25.6, б), і піднімають ковпак до позначки «X». У цьому разі повітря засмоктується під ковпак. Потім кран 8 ставлять у положення «Закрито».

Стандартний зразок разом із прес-формою переносять на прилад і за допомогою гайки 7 герметично з'єднують з повітряною камерою під ковпаком.

При випробуванні закривають кран 8 (рис. 25.6, в) і повітря під вагою ковпака 3 проходить через трубку 4, проникаючи через спресований зразок 9 в атмосферу. При цьому заміряють час опускання ковпака від позначки «0» до позначки «2000». Середній тиск визначають манометром при опусканні ковпака до позначки «1000». Час опускання ковпака від позначки «0» до позначки «2000» фіксують секундоміром. Щоб прискорити опускання ковпака, на нього кладуть вантаж 1.

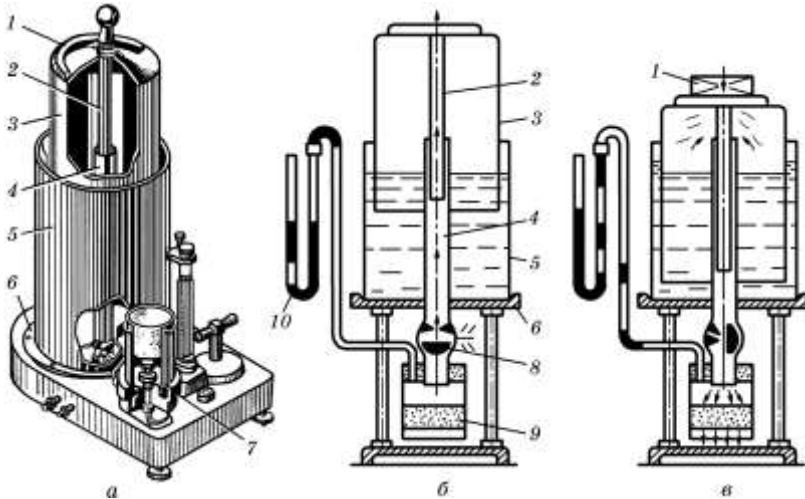


Рис. 25.6. Прилад для визначення газопроникності формової суміші:
а - загальний вигляд; б, в - схеми

Газопроникність визначають за формулою:

$$K = \frac{Vh}{FP\tau} = \frac{509,5}{P\tau}, \quad (25.3)$$

де: V — об'єм повітря, пропущеного через зразок, $см^3$;

h — висота зразка, $см$;

F — площа поперечного перерізу зразка, $см^2$;

P — тиск повітря, що визначається за висотою водяного стовпа в скляній трубці, $см$;

τ — час проходження повітря через зразок від позначки «0» до позначки «2000» на ковпаку, $хв$.

Підставивши у формулу значення тиску водяного стовпа P і час опускання ковпаком, знайдемо значення газопроникності за формулою (25.3).

Визначення границі міцності формової суміші на стиск. Для визначення границі міцності формової суміші на стиск використовують стандартні циліндричні зразки, які випробовують на важільному приладі типу ФА-2 (рис. 25.7).

Прилад складається із станини 7, ходового гвинта 6, каретки 4 зі стрілкою 3, вантажу 2, проградуйованого важеля 5, вертикального стояка 8, лотка 10 з підставкою для зразка 9, верхнього упору-шайби 11, гвинта 12 та рукоятки 1.

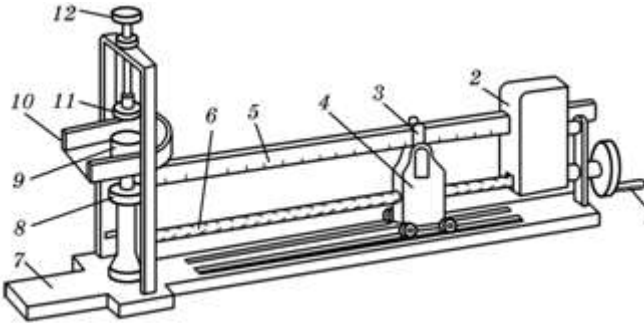


Рис. 25.7. Прилад для визначення границі міцності формової суміші на стиск

Випробування проводять у такій послідовності. Встановлюють стрілку 3 каретки 4 на позначку «0» шкали важеля 5. Зразок 9 ставлять на нижню підставку лотка 10 і гвинтом 12 підводять до легкого стискання з ним верхній упор-шайбу 11. Обертаючи рукоятку 1, переміщують каретку 4 в напрямку зразка. Внаслідок зменшення розміру лівого плеча важеля 5 і збільшення правого плеча, на якому розміщено вантаж 2, на зразок зростає стискальне зусилля. В момент руйнування зразка рух каретки 4 зупиняють і по стрілці 3 каретки із шкали важеля 5 записують значення міцності формової суміші при стисканні з точністю до 980 Па.

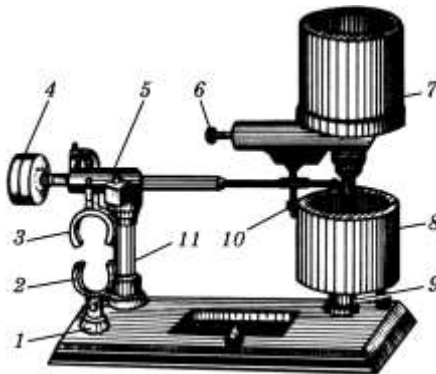


Рис. 25.8. Прилад для визначення границі міцності формової суміші на розтяг

Визначення границі міцності стрижневої суміші на розтяг. Міцність стрижневих сумішей на розтяг визначають на зразках-вісімках. Зразки випробовують на приладі (рис. 25.8), що складається із станини з двома стояками 9 і 11. На лівому стояку 11 встановлено двоплечний важіль 5, на правому - бункер 7. Вантаж 4 зрівноважує масу важеля 5, який опирається ножем на призму стояка 11 і масу відра 8, підвешеного на його правому кінці.

Захоплювачі для закріплення зразків: верхній 3 - шарнірно підвішений до важеля 5, нижній 2 - з'єднаний із станиною через пристрій 1, що регулює відстань між захоплювачами. У бункер засипають чавунний або сталевий шріт. Отвір, що є на дні бункера 7, відкривається вручну затвором 6, а закривається автоматично, якщо потягнути вниз за фіксатор 10.

Випробування зразків на розтяг виконують у такій послідовності. Встановлюють зразок у захоплювачах 2 і 3. За допомогою пристрою 1, обертаючи гайку, усувають зазор між зразком та захоплювачами. Рукою відтягують затвор 6 і шріт висипається крізь отвір із бункера у відро 8. Маса шроту через важіль 5 спричинює зусилля розтягу на верхній захоплювач 3, в якому розміщується випробуваний зразок. У момент розривання зразка важіль 5 падає на фіксатор 10 і випускання шроту з бункера 7 припиняється. Відро 8 знімають і зважують шріт. Границю міцності на розтяг стрижневої суміші визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{m \cdot 10}{S}, \quad (25.4)$$

де: m — маса шроту, кг;

S — площа поперечного перерізу зразка, см²;

10 — співвідношення плечей важеля.

Протокол експериментальних даних визначення властивостей формових і стрижневих сумішей

Таблиця 25.1.

Суміш	Компоненти сумішей, %				Наважки для зразків, г	Газопроникність, см ³ /хв	Міцність σ , Па	
	Пісок	Глина	Рідке скло	Тирса			на стиск	на розтяг

Послідовність виконання роботи

1. Взяти проби для вологості, вмісту глинистих речовин у формових сумішах. Зерновий аналіз піску проводить викладач демонстраційним методом.

2. Студенти повинні самостійно виготовляти зразки для визначення газопроникності і граничної міцності при стисканні формової суміші. З метою економії часу при випробуваннях стрижневих сумішей на розтяг користуються зразками-вісітками, які студенти виготовили і висушили за температури 230...250°C на попередніх заняттях.

Розділ 4

3. Вивчити будову і правила користування приладами та провести випробування формових сумішей на газопроникність і стиск, а зразків-вісімок - на розтяг.

4. За результатами випробувань, використовуючи табличні дані (табл. 25.2), дійти висновку про придатність формової суміші для виготовлення ливарних форм визначеного призначення, а також дати оцінку можливості використання стрижнів залежно від їх міцності.

5. Наприкінці виконання роботи зробити висновок за результатами досліджень.

Стандартизовані властивості формових і стрижневих сумішей для чавунних і сталевих виливків

Таблиця 25.2

Тиск у манометрі, см вод.ст.	Газопроникність, см/хв	Границя міцності, МПа		Клас стрижнів
		Для формових сумішей	Для стрижневих сумішей	
5,0	130	0,03...0,06	0,7...1,0	I
5,7	100	0,05...0,10	0,5...0,7	II
6,2	90	0,10...0,16	0,3...0,6	III
6,7	80	0,15...0,25	0,2...0,3	IV
7,2	70	0,20...0,35	0,8...1,5	V

Примітка. Стрижні поділяють на п'ять класів за геометричними розмірами, умовами роботи в ливарній формі і вимогами до якості литої поверхні виливка:

I клас - стрижні складної конфігурації, які утворюють у виливках необроблені поверхні, до чистоти яких ставлять високі вимоги;

II клас - стрижні складної конфігурації, які мають крім масивних частин тонкі перемички, виступи і утворюють у виливках повністю або частково оброблені поверхні;

III клас - стрижні, що мають форму середньої складності. Вони не мають особливо тонких частин, але утворюють у виливках порожнини з поверхнями високої чистоти;

IV клас - стрижні простої конфігурації, які утворюють у виливках оброблені і необроблені поверхні. Особливих вимог до чистоти їхніх поверхонь не ставлять;

V клас - масивні стрижні, які утворюють значні порожнини у великих виливках.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати експерименту занести в протокол (табл. 25.2).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Склад формових і стрижневих сумішей. 2. Властивості формових і стрижневих сумішей. 3. Як визначають вологість формової суміші? 4. Виготовлення стандартних зразків із формових і стрижневих сумішей. 5. Як визначають газопроникність формової суміші?

Лабораторна робота 26

Розроблення технологічного процесу виготовлення виливка

Мета роботи: опанувати методику розроблення технологічного процесу виготовлення виливка.

Обладнання та матеріали: креслярське приладдя, довідники, наочні посібники, моделі ливникової системи, креслення деталей, готові деталі, плакати з ливарного виробництва.

Теоретичні відомості

Виготовлення виливка — складний технологічний процес (рис. 26.1), що передбачає проектування креслення литої деталі (виливка) і виготовлення модельно-стрижневого оснащення, приготування формової і стрижневої сумішей, розрахунок і плавлення шихти, виготовлення форм і їх заливання розплавом, їх вибивання, очищення, контроль якості.

У цій лабораторній роботі передбачається проектування креслення литої деталі і відповідно модельно-стрижневого оснащення, а також розрахунок ливникової системи для заданої литої деталі з урахуванням матеріалу, з якого її виготовляють.

Основою для виготовлення модельно-стрижневого комплекту (модель литої деталі і стрижневий ящик) є креслення литої деталі (рис. 26.2), яке розробляє конструктор, а модельник виготовляє комплект для цієї литої деталі.

При розробленні ливарної технології визначають: спосіб формування (ручне або машинне); положення виливка у формі під час заливання розплаву; усадку і припуски на механічне оброблення; кількість стрижнів і знакових частин; тип ливникової системи. Для цього складають технологічну карту на виготовлення виливка, марку розплаву, температуру заливання розплаву, склад шихти та ін. На кресленні моделі виливка косим штрихуванням або лініями червоного кольору позначають місця припусків на механічне оброблення, лініями або перехресним штрихуванням синього кольору — контури стрижнів і знакових частин моделі. При виготовленні моделі її розміри мають бути більшими від розмірів, що вказані на кресленні, на значення лінійної усадки сплаву (табл. 26.1) і величину припуску на механічне оброблення.

Якщо на кресленні показано знак ∇ , то припуск на механічне оброблення не передбачається. Якщо відливочок піддається механічному обробленню, то розмір моделі для дрібних деталей більший на 2...3 мм на сторону. У ливарному виробництві отвори в деталі виконують, якщо при масовому виробництві діаметри цих отворів становлять понад 25 мм, при серійному — 30 мм, а при одиничному — 40...50 мм.

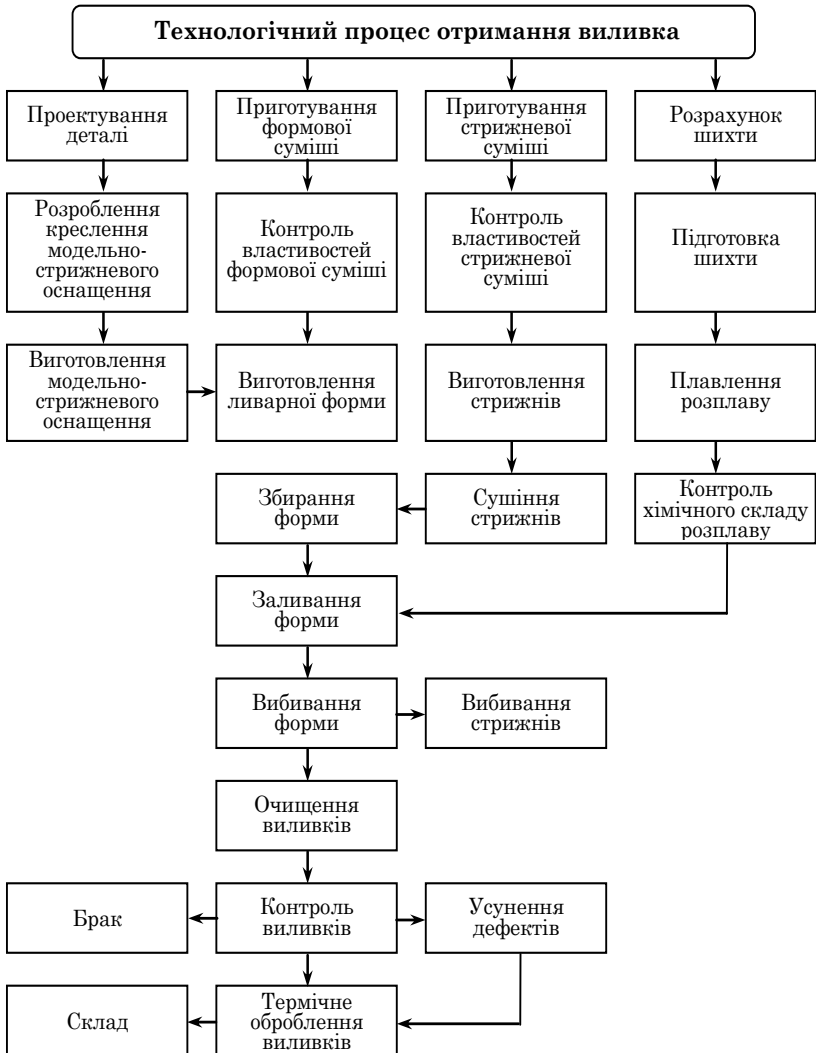


Рис. 26.1. Основні етапи процесу виготовлення вилівка

Щоб легше видалити модель із форми, її поверхні, розміщені паралельно напрямку руху при витягуванні із форми, виконують з формувальними укладами - $1...3^\circ$, а стрижневих ящиків - $2...4^\circ$.

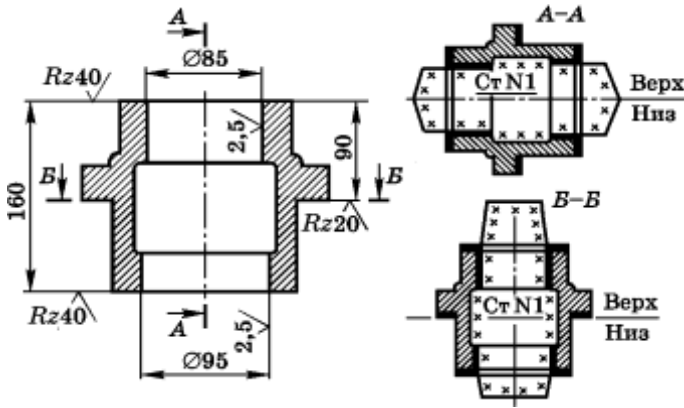


Рис. 26.2. Креслення деталі (корпусу підшипника)

Лінійна усадка ливарних сплавів

Таблиця 26.1.

Сплав	Усадка, %	Сплав	Усадка, %
Чавун: сірий білий	0,8...1,2 1,5...2,0	Латунь	1,5...2,0
Сталь вуглецева (0,14...0,75% C)	1,2...1,3	Сплави алюмінієві: силумін дюралюмін	1,0...1,2 0,8...1,0
Бронза: олов'яниста алюмінієва	1,0...1,5 1,2...1,8	Титанові сплави	1,4...2,0

У литих деталях переходи стінки від однієї товщини до іншої мають бути плавними. Закруглення внутрішніх кутів у переходах називають *галтелями*, а зовнішніх — *закругленнями*. Залежно від розмірів деталей розміри радіусів галтелей для деталей такі: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 і 40 мм.

Для встановлення стрижня в ливарну форму на моделях роблять виступи (стрижневі знаки), які при виготовленні форми роблять у ній заглиблення (гнізда), в які вставляють стрижні.

Для отримання гладеньких робочих поверхонь моделей і стрижневих ящиків та запобігання насиченню вологою поверхні їх ґрунтують, шпаклюють і покривають модельним лаком (шелаком — смола тропічних дерев) або нітроемалями.

Залежно від матеріалу, з якого виливають деталь (виливок), моделі фарбують у різні кольори: для чавунних деталей — червоний; сталевих — сірий; кольорових — жовтий; стрижневі знаки моделей — чорний.

Послідовність виконання роботи

1. Отримавши креслення деталі, зробити відповідне креслення в зшиті з нанесенням усіх розмірів елементів і чистоту поверхонь, що вказує на необхідність припуску на механічне оброблення. Наприклад, виходячи із креслення корпусу підшипника (див. рис. 26.3), він має внутрішній отвір і фланець для кріплення. Під час його механічного оброблення потрібно обробити циліндричні поверхні діаметром 85 і 95 мм, торці по розміру 160 мм і поверхню фланця по розміру 90 мм.

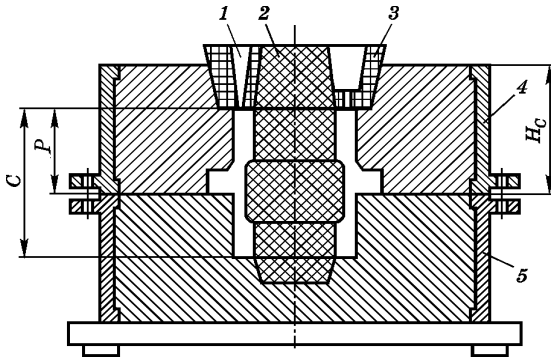


Рис. 26.3. Схема ливникової форми в розрізі для визначення середнього ефективного напору $H_{\text{н}}$:

1 — випор; 2 — стрижень; 3 — ливникова чаша; 4 — верхня опока; 5 — нижня опока

2. Розробляючи технологічний процес отримання вилівка деталі (див. табл. 26.1), потрібно знати, з якого матеріалу виливається вилівок, і відповідно врахувати на моделі припуск на величину усадки (довжини діаметра) і механічного оброблення.

Залежно від наведеної деталі при розробленні

технологічного процесу можливі два варіанти роз'єднання моделі у формі: по лінії А-А або по лінії Б-Б.

3. Вибрати раціональне роз'єднання по певній площині і навести схему ливникової форми для отримання вилівка з елементами ливникової системи (рис. 26.3).

4. Розрахувати масу вилівка. Спочатку визначити об'єм вилівка $V_{\text{в}}$, см^3 , а потім, виходячи із розмірів моделі деталі, — його масу, g :

$$m_{\text{в}} = V_{\text{в}} \rho, \quad (26.1)$$

де: ρ — густина розплаву, $g/\text{см}^3$ (для сірого чавуну $\rho = 7,10$, для сталі $\rho = 7,85$, для бронзи $\rho = 8,90$, для силуміну $\rho = 2,70$).

Визначити загальну масу розплаву m_p , потрібного для отримання виливка і заповнення каналів ливникової системи:

$$m_p = m_p + m_{л.с}, \quad (26.2)$$

де: $m_{л.с}$ — маса розплаву ливникової системи; $m_{л.с} = (0,15...0,20)m_B$.

5. Розрахувати елементи ливникової системи.

Розрахувати ливникову систему — це означає визначити розміри та співвідношення всіх її елементів. Методи розрахунків ливникових систем ґрунтуються на законах гідравліки з використанням результатів, отриманих дослідницьким шляхом.

Розрахунки починають з визначення площі перерізу найвужчого місця ливникової системи, тобто живильників, а потім — шлаковловлювачів, стояка (випорів) тощо.

Визначають сумарну площу перерізу живильників за формулою:

$$F_{жк} = \frac{m_p}{\rho \tau \mu \sqrt{2gH}}, \quad (26.3)$$

де: g — прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

μ — коефіцієнт, який залежить від загального гідравлічного опору ливникової форми руху розплаву (для чавунного литва $\mu = 0,75...0,85$).

Площу перерізу шлаковловлювача $F_{шл}$ і стояка $F_{ст}$ залежно від товщини стінок виливка розраховують за співвідношенням для виливків:

- ♦ тонкостінних, дрібних: $F_{жк} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,06 : 1,11$;
- ♦ середніх і дрібних: $F_{жк} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,1 : 1,15$;
- ♦ великих: $F_{жк} : F_{шл} : F_{ст} = 1 : 1,2 : 1,4$.

Площа нижнього перерізу випору $F_{вип} = 1,5 F_{ст} \text{ см}^2$.

За наявності кількох випорів на одному виливку сумарний переріз їх може бути і більшим.

6. Визначити середній ефективний напір H_n , $см$ (див. рис. 26.3), за формулою:

$$H_n = H_c - \frac{P}{2C}, \quad (26.4)$$

де: H_c — гідростатичний напір, який дорівнює відстані від рівня чаши до живильника, $H_c = P + 9$;

P — висота виливка над живильником;

C — загальна висота виливка.

7. Тривалість заливання розплавом ливарної форми, c :

$$\tau = k\sqrt{m_p}, \quad (26.5)$$

де: k — коефіцієнт, який залежить від товщини стінки виливка (табл. 26.2).

Для дрібного литва ($< 25 \text{ кг}$) застосовують формулу

$$\tau = 1,1\sqrt{m_p}. \quad (26.6)$$

Значення коефіцієнта k залежно від товщини стінки виливка

Таблиця 26.2

Товщина стінки виливка, мм	До 10	11...20	21...40	Понад 40
Коефіцієнт k	1,1	1,35	1,5	1,7

Протокол результатів проектування виливка

Таблиця 26.3.

Деталь	Матеріал деталі	Маса деталі, кг	Маса розплаву, кг	Температура заливання розплаву, °C	Тривалість заливання, с

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати експерименту занести в протокол (табл. 26.3).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. **1.** Перерахуйте елементи ливникової системи. **2.** Послідовність операцій виготовлення виливка. **3.** Співвідношення поперечних перерізів живильника, шлаковловлювача і стояка. **4.** Що входить до модельно-стрижневого оснащення? **5.** З якого матеріалу виготовляють моделі?



Розділ 5

ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ТИСКОМ

- ♦ Вплив холодної пластичної деформації на властивості і структуру сталей

Проектування технологічного процесу виготовлення сталеві поковки

♦

Лабораторна робота 27

Вплив холодної пластичної деформації на властивості і структуру сталей

Мета роботи: вивчити вплив пластичної деформації і температури нагрівання на механічні властивості і структуру сталей.

Обладнання та матеріали: лабораторний прокатний стан, твердомір Роквелла, нагрівальні муфельні печі, оптичний мікроскоп, штангенциркуль, плоскогубці, полірувальний верстат, шліфувальний папір, плоскі зразки низько- або середньовуглецевих сталей розміром $100 \times 15 \times 2,5$ мм, хімічний реактив (4...5%-й розчин HNO_3), мікрокалькулятори.

Теоретичні відомості

Під дією зовнішніх сил у металевих сплавах виникають внутрішні напруження — спочатку пружні, які не перевищують границю текучості, а при напруженнях, вищих за границю текучості, в сплаві відбувається пластична деформація. У процесі пластичної деформації заготовка змінює свою форму і розміри, та зберігає ці зміни після припинення дії сил. Під час пластичної деформації відбуваються процеси ковзання чи двійникування. Спочатку виникають пружні викривлення кристалічної ґратки, а при збільшенні напруження - зсув однієї частини кристала відносно іншої. Пластична

деформація полікристалічного металу відбувається внаслідок деформації кожного зерна. Починається деформація в зернах, орієнтація яких співпадає з напрямком прикладених напружень. На цій стадії деформації під мікроскопом можна спостерігати сліди ковзання у вигляді прямих ліній, які однаково орієнтовані в межах окремих зерен. Пластична деформація змінює не тільки структуру металу, але і його властивості: підвищується твердість, міцність, межа текучості, а пластичність зменшується. Ці зміни тим більші, чим вища ступінь деформації. Явище зміни структури, механічних та фізико-хімічних властивостей металу при холодній пластичній деформації називають наклепом (нагартуванням).

Пластична деформація спричинює зміну структури (утворення текстури) (рис. 27.1) і механічних властивостей, що характеризується підвищенням опору деформуванню сталі.

Пластична деформація відбувається від границі текучості до границі міцності сплаву. При напруженнях, вищих за границю міцності, сплав руйнується, чого не можна допускати під час пластичного оброблення заготовок.

У процесі пластичної деформації крім механічних властивостей змінюються також фізико-хімічні властивості (електроопір, теплопровідність, корозійна стійкість, магнітні властивості).

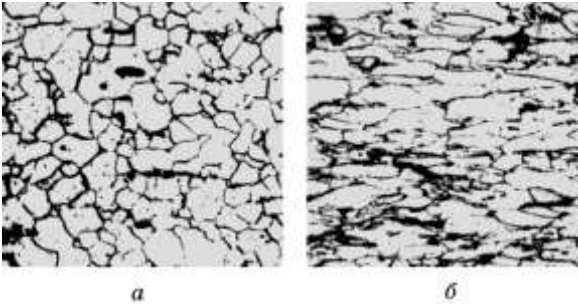


Рис. 27.1. Мікроструктура сталі:
а — до деформації; б — після деформації

Відновити властивості попередньо zdeформованої (зміцненої) сталі можна термічною обробкою (нагріванням до певних температур). У результаті цього сплав переходить із структурно нестійкого стану в структурно стійкий. Нагрівання низьковуглецевої сталі до температур 300...400°C зумовлює зниження на 20...30%

механічного зміцнення за рахунок зниження залишкових напружень без перебудови форми зерен сплаву. Таке явище називають *поверненням*, при якому твердість і міцність знижуються, а пластичність зростає.

При нагріванні до вищих температур, завдяки зростанню дифузії атомів, змінюється кристалічна (зеренна) структура холоднODEформованого сплаву, при якій текстуровані, зміцнені зерна перетворюються на рівноважні (рис. 27.2, в), що призводить до повного знеміцнення сплаву. Таке явище називають *рекристалізацією (знеміцненням)*.

Температура рекристалізації залежить від температури плавлення сплаву:

$$t_{\text{рек.л}} = (0,2 \dots 0,4)t_{\text{пл}}, \quad (27.1)$$

де: $t_{\text{пл}}$ — температура плавлення сплаву.

Під час рекристалізації відбуваються зародження центрів рекристалізації (первинна рекристалізація) і перетворення деформованих зерен на рівноважні (вторинна рекристалізація), коли рекристалізовані зерна ростуть за рахунок інших з утворенням крупнозернистої структури (збиральна рекристалізація).

При первинній рекристалізації на межах деформованих зерен утворюються зародки недеформованих зерен, які перетворюються на дрібні рівноважні зерна округлої форми (рис. 27.2, б) і процес закінчується утворенням рівноважних рекристалізованих зерен (рис. 27.2, в).

Стіжкі центри рекристалізації виникають у місцях критичних ступенів деформації (2...10%) залежно від роду металу або сплаву. Швидкість зародження центрів рекристалізації тим більша, чим вищий ступінь попередньої

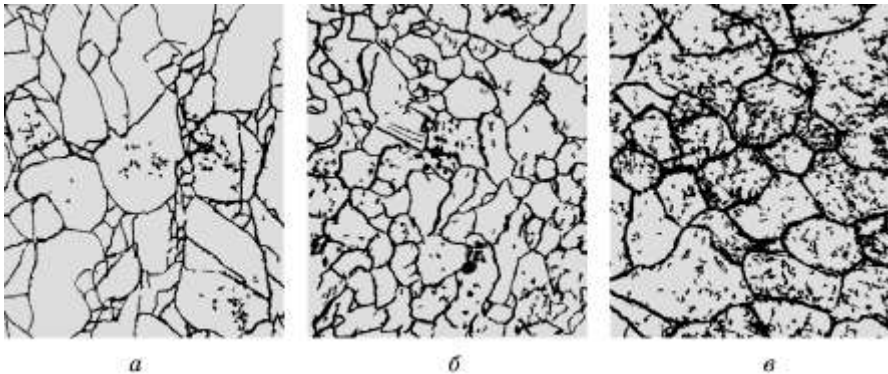


Рис. 27.2. Стадії розвитку рекристалізації деформованої сталі:
 а — зародження центрів рекристалізації; б — частково рекристалізовані зерна;
 в — рекристалізована структура

пластичної деформації.

Щоб відновити структуру і властивості наклепаного сплаву його нагрівають до температури, вищої за температуру рекристалізації.

Пластична деформація, яка відбувається за температури, вищої від температури рекристалізації, хоча і супроводжується утворенням зміщень, а отже, зростанням міцності, проте таке зміцнення унеможливується за цих температур процесу рекристалізації. Таке оброблення називають *гарячим обробленням тиском*. Пластичну деформацію, яка відбувається за темпера-

тури, нижчої за температуру рекристалізації, називають *холодним обробленням тиском*, або *наклепуванням* (нагартуванням).

Вивчення впливу пластичної деформації на властивості і структуру сталі бажано проводити в процесі прокатування зразків із низьковуглецевої сталі, яка краще піддається пластичній деформації.

При визначенні ступеня деформації ε , %, у процесі прокатування заготовок їх товщину вимірюють штангенциркулем з точністю до 0,1 мм:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1} 100, \quad (27.2)$$

де: h_1, h_2 - товщина заготовки, відповідно, до і після деформації, мм.

Щоб визначити вплив пластичної деформації і рекристалізації на механічні властивості сталі, заготовки потрібно деформувати за кімнатної температури з різними ступенями деформації. Вплив ступеня деформації на механічні властивості оцінюють зміною значення твердості, яку бажано вимірювати на твердомірі Роквелла (шкала «В»).

Після кожного деформування (ступеня деформації) вивчають під мікроскопом і замальовують мікроструктуру заготовки, зазначаючи зміни структури (зміни форми і розміру зерен, утворення текстури). Розмір зерен визначають, підраховуючи їх кількість на 1 см^2 поверхні мікрошліфа, за допомогою вирізаної з паперу рамки з отвором 1 см^2 . У цій роботі розмір зерен не визначають. За отриманими даними форми зерна будують криву залежності форми зерна від ступеня деформації і впливу на величину текстурованості.

Вплив рекристалізації на структуру і властивості сталі. Отримана в результаті холодної пластичної деформації волокниста структура нестійка і намагається з часом перейти в більш стійкий стан. Проте за кімнатної температури мікроструктура відновлюється надзвичайно повільно через малу дифузію атомів. Тому, щоб збільшити рухомість атомів у процесі їх дифузії, потрібно нагріти здеформовану сталь.

Отже, для повного знеміщення сталі наклепані заготовки потрібно нагріти до температури, вищої за температуру рекристалізації ($> 450 \dots 650^\circ\text{C}$), і витримати 20...25 хв, щоб уникнути збиральної рекристалізації, яка призводить до росту рекристалізованого зерна. Слід пам'ятати, що чим більша деформація, тим за більш низької температури починається рекристалізація. Чим вища температура нагрівання, тим швидше відбувається рекристалізація і більший розмір утворених зерен рекристалізації. Під час рекристалізації зерна значно ростуть у заготовках, які зазнавали невеликого ступеня деформації (5...10%). Ці ступені деформації називають *критичними*. Критичний ступінь деформації для заліза становить 5...6%, для низьковуглецевої сталі — 7...15%, для міді — 5...6%, для алюмінію — 2...3%.

У результаті рекристалізації твердість і міцність сталі знижуються, а пластичність зростає. Тобто рекристалізована структура за своїми властивостями відповідає знеміцненому сплаву. Таке оброблення називають *рекристалізаційним відпалюванням*. Внаслідок такого відпалювання зростає опір корозії сталі, а у феромагнітних металів і сплавів після рекристалізації коерцитивна сила знижується, а магнітна проникність зростає.

Після проведення рекристалізації замалювати рекристалізовану структуру і заміряти твердість заготовок. Мікроструктуру вивчають на мікрошліфах.

Послідовність виконання роботи

1. Прокатати на прокатному стані сталеві заготовки з різним ступенем деформації і визначити деформацію кожної заготовки.
2. Заміряти твердість заготовок до і після різних ступенів деформації.
3. Вивчити і замалювати з готових мікрошліфів заданої сталі мікроструктуру (розмір і форму зерен до і після різних ступенів деформації).
4. У системі координат «твердість сталі — ступінь деформації» побудувати залежність між цими характеристиками.
5. Провести рекристалізацію попередньо наклепаних зразків (заготовок) і заміряти їх твердість.
6. Вивчити і замалювати рекристалізовану структуру з готових мікрошліфів певної сталі після різних стадій рекристалізації.
7. Результати експерименту занести в протокол.

Протокол визначення впливу пластичної деформації та рекристалізації на властивості і структуру маловуглецевої сталі

Таблиця 27.1.

Номер зразка	Марка сталі	Ступінь деформації, %	Властивості і структура сталі			
			Після деформації		Після рекристалізації	
			Твердість, HRB	Мікроструктура (зеренна)	Твердість, HRB	Мікроструктура (зеренна)
1	Сталь 10	0				
2	Сталь 10	5				
3	Сталь 10	10				
4	Сталь 10	20				
5	Сталь 10	30				
6	Сталь 10	40				
7	Сталь 10	50				
8	Сталь 10	60				
9	Сталь 10	70				

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати експерименту занести в протокол (табл. 27.1).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Що розуміють під явищем наклепування металу чи сплаву? 2. Які властивості металу чи сплаву змінюються при пластичній деформації? 3. Які процеси відбуваються в пластично-деформованій сталі під час її нагрівання? 4. Що розуміють під рекристалізацією сплаву? 5. Яке оброблення тиском називають холодним і гарячим?

Лабораторна робота 28

Проектування технологічного процесу виготовлення сталеві поковки

Мета роботи: опанувати методику розроблення технології та складання технологічної карти на виготовлення поковки, отриманої вільним куванням або штампуванням.

Обладнання та матеріали: креслення деталей, таблиці припусків і допусків на поковки із вуглецевих і легованих сталей, плакати, довідники з оброблення тиском та термічної обробки.

Теоретичні відомості

Обробка тиском застосовується для отримання заготовок із пластичних матеріалів шляхом пластичної деформації з метою надання заготовці заданих форми та розмірів. Методи обробки тиском мають надзвичайно високу продуктивність, дозволяють зменшувати відходи металу, підвищують рівень механічних властивостей заготовок, але вимагають значних енергетичних витрат та складного обладнання. Найважливішими видами оброблення тиском є кування і прокатування, якими оброблюють близько 90% виплавленої сталі.

На машинобудівних заводах заготовки обробляють переважно куванням і штампуванням. У ковальсько-пресових цехах заводів сталеві заготовки обробляють на пресах і в штампах. Вибір обладнання та виготовлення поковки визначаються насамперед її розмірами, масою (від 150 г до 300...350 т), серійністю виробництва, складністю форми (прості, фасонні).

Заготовками для вільного кування може бути прокат простої геометричної форми, а також зливки.

Проектування поковки. Для розроблення креслення поковки використовують креслення готової деталі. Розміри поковки порівняно з розмірами деталі мають бути більші на припуски, які даються для механічного оброблення і на вигар матеріалу.

З метою спрощення форми поковки для окремих поверхонь, отримати які вільним куванням неможливо або важко, призначають напуски (місцеве збільшення припусків).

Крім припусків, з урахуванням неточності виготовлення поковки призначають граничні відхилення (допуски — різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами поковки). Тобто граничні відхилення встановлюють на номінальні розміри поковки. Приклад креслення поковки з зазначенням припусків і граничних відхилень наведено на рис. 28.1.

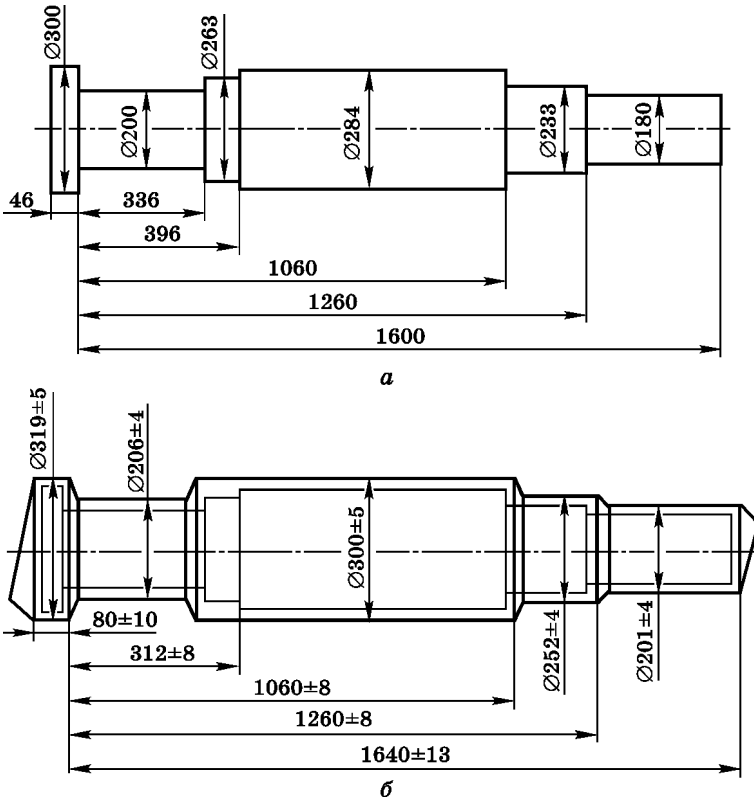


Рис. 28.1. Ескізи:

a - деталі; *б* - поковки з урахуванням припусків і граничних відхилень

Значення припусків і граничних відхилень регламентовані держстандартом. При виготовленні рівних поволок круглого, квадратного і прямокутного перерізів із вуглецевої і легованої сталі вільним куванням на моло-

Розділ 5

тах залежно від розмірів деталей, значення припусків і граничних відхилень рекомендується брати з табл. 28.1.

Припуски і допуски для поковок типу дисків, циліндрів, втулок, брусків, пластин як суцільних, так і з отвором, слід призначати з табл. 28.2.

1. Для прямокутних деталей розмір «*H*» потрібно брати як найменший, а розмір «*B*» — як найбільший розмір деталі.

2. Отвори в поковках діаметром менше ніж 40 мм дозволяється не прошивати. Отвори діаметром понад 60 мм можна не прошивати в поковках, висота яких становить понад 120 мм.

Припуски і допуски на поковки різних форм

Таблиця 28.1

Довжина поковки, мм	Припуски (δ) і допуски ($\pm\Delta$) залежно від розміру (перерізу — <i>D, B, H</i>) поковки, мм							
	До 50	51...70	71...90	91...120	121...160	161...200	201...250	251...300
До 250	5 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	—	—	—
250...500	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4
500...800	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4
800...1200	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4
1200...1700	—	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5
1700...2300	—	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5
2300...3000	—	—	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5
3000...4000	—	—	—	15 ± 5	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5

Примітка. Припуски і допуски для прямокутних деталей беруть залежно від найбільшого розміру перерізу.

Розрахунок маси і розмірів заготовки. Знаючи розміри поковки, визначають її масу, кг:

$$m_{\text{пок}} = V_{\text{пок}} \rho, \quad (28.1)$$

де: $V_{\text{пок}}$ — об'єм поковки, см^3 ;

ρ — щільність поковки, г/см^3 (для вуглецевої сталі $\rho = 7,85$).

Маса заготовки буде більшою від поковки на значення вигару металу та відходів на оброблення, кг:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{пок}} + m_{\text{об}} + m_{\text{виг}}, \quad (28.2)$$

де: $m_{\text{пок}}$ — маса поковки, кг;

$m_{\text{об}}$ — маса відходів на оброблення, кг;

$m_{\text{виг}}$ — маса відходів на вигар, кг.

Орієнтовно загальну масу відходів на оброблення і вигар можна брати залежно від маси поковок (табл. 28.3).

Припуски і граничні відхилення на диски, циліндри, втулки, бруски, пластини

Таблиця 28.2.

Розміри перерізу деталі, мм	Розміри деталей	Припуски і граничні відхилення на відповідні розміри деталей (H, D, L, B, d), мм									
		До 50	50...65	65...80	80...100	100...125	125...150	150...180	180...215	215...250	250...300
До 50	H,	6±2	6±2	7±2	-	-	-	-	-	-	-
	D, L, B,	6±2	6±2	7±2	-	-	-	-	-	-	-
	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50...80	H,	6±2	7±2	8±2	9±2	9±2	-	-	-	-	-
	D, L, B,	7±2	7±2	8±2	9±2	9±2	-	-	-	-	-
	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80...110	H,	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	-	-	-
	D, L, B,	8±2	8±2	9±2	10±2	10±2	11±3	12±4	-	-	-
	d	14±2	15±2	15±2	16±2	16±2	17±3	18±4	-	-	-
110...150	H,	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±5	-
	D, L, B,	9±2	9±2	10±2	11±3	11±3	12±4	13±4	14±5	14±5	-
	d	15±2	16±2	16±2	17±3	17±3	18±4	19±4	20±5	20±5	-
150...200	H,	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±5	15±5
	D, L, B,	10±3	10±3	11±3	12±4	12±4	13±4	13±4	14±5	14±5	15±5
	d	16±3	17±3	17±3	18±4	18±4	19±4	19±4	20±5	21±5	22±5

Розділ 5

<i>Продовження таблиці 28.2</i>											
Розміри перерізу деталі, мм	Розміри деталей	Припуски і граничні відхилення на відповідні розміри деталей (H, D, L, B, d), мм									
		До 50	50...65	65...80	80...100	100...125	125...150	150...180	180...215	215...250	250...300
200...250	H,	8±3	9±3	9±3	10±2	11±3	12±4	13±4	14±5	15±6	16±6
	D, L, B,	11±3	11±3	12±3	13±4	13±4	14±4	14±4	15±5	16±6	17±6
	d	17±3	18±3	18±3	19±4	19±4	20±4	20±4	21±5	22±6	23±6
250...300	H,	9±3	10±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6
	D, L, B,	12±4	12±4	13±4	14±5	14±5	15±5	15±5	16±6	17±7	18±7
	d	18±4	19±4	19±4	20±5	20±5	21±5	21±5	22±6	23±7	24±7
300...360	H,	9±3	10±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6
	D, L, B,	13±4	13±4	14±4	15±5	15±5	16±5	16±5	17±6	18±7	19±7
	d	19±4	20±4	20±4	21±5	21±5	22±5	22±5	23±6	24±7	25±7
360...420	H,	10±3	11±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7
	D, L, B,	14±5	14±5	15±5	16±6	16±6	17±6	17±6	18±7	19±8	20±8
	d	20±5	21±5	21±5	22±6	22±6	23±6	23±6	24±7	25±8	26±8
420...550	H,	10±3	11±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7
	D, L, B,	15±5	15±5	16±5	17±6	17±6	18±6	18±6	19±7	20±8	21±8
	d	21±5	22±5	22±5	23±6	23±6	24±6	24±6	25±7	26±8	27±8

Загальна маса відходів на оброблення і вигар для поковок

Таблиця 28.3

Поковки	Послідовність кування	Загальна маса відходів залежно від маси поковки, %
Глухі фланці, круглі, овальні, квадратні пластини, кубики, бруски	Осадка, обкатка, прогладжування	1,5...2,5
Фланці з отвором, втулки, обичайки	Осадка, кування в розмір, прошивка, розкатка	2
Розгінні кільця, втулки, обичайки	Осадка, прошивка, розкатка	2,5
Зубчасті колеса без центрального отвору	Осадка, обкатка, засічка, розтяжка, правка	8...10
Зварні кільця, втулки, обичайки, муфти	Гнуття, зварювання, правка	3...5
Гладенькі вали, вилки, бруски, квадратні, прямокутного і шестигранного профілю	Витяжка, обрубка, правка	5...7
Вали, вилки з двосторонніми уступами, шпindelі, тяги, вушка, скоби, болти	Витяжка двостороння, засічка, обрубка	10...12

Розміри заготовки визначають у такому порядку. Спочатку розраховують площу перерізу заготовки, $см^2$:

♦ для шестерень, дисків, шківів:

$$F_{заг} = F_{пок} K; \quad (28.3)$$

♦ для валів, пальців, болтів:

$$F_{заг} = F_{пок} / K, \quad (28.4)$$

де: $F_{пок}$ — площа перерізу поковки, $см^2$;

K — ступінь уковування (для вуглецевих сталей на рівних поверхнях $K = 0,3$; для вуглецевих сталей на фланцях і виступах $K = 1,75$; для легованих сталей на рівних поверхнях $K = 2,0$; для легованих сталей на фланцях і виступах $K = 1,5F$).

Якщо основною операцією при виготовленні поковки є осадка, то висота заготовки має бути меншою за три її діаметри. Це дає змогу уникнути викривлення заготовки при виготовленні поковки.

Довжина заготовки, см,

$$L_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} / F_{\text{заг}}, \quad (28.5)$$

де: $V_{\text{заг}}$ — об'єм заготовки, см^3 .

Розроблення технологічної карти виготовлення поковки. Технологічний процес вільного кування або штампування складається з операцій, які виконують у певній послідовності і забезпечують отримання із заготовки потрібних розмірів і форми поковки.

Визначення послідовності операцій і переходів вільного кування. До основних операцій вільного кування належать рубання, осадка, висадка, роздача, гнуття, прошивка, закручування, ковальське зварювання, кування у пристроях.

Розробляючи технологічний процес виготовлення поковки, потрібно прагнути до зменшення кількості операцій і переходів, зведення до мінімуму відходів металу та одержання деталі з високими механічними властивостями. З цією метою використовують спеціальні пристрої, замість пічного нагрівання заготовки виконують електронагрівання.

Для отримання високих механічних властивостей поковок має значення вибір температурного інтервалу кування, врахування сприятливого напрямку утвореної текстури металу.

Якщо поковки виготовляють із литих заготовок, то для роздроблення дендритної структури необхідне багаторазове обтискання в поздовжньому та поперечному напрямках.

Як приклад призначення послідовності операцій і переходів вільного кування наведено технологічну карту виготовлення поковки шестерні (табл. 28.4).

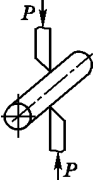
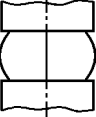
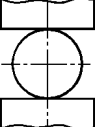
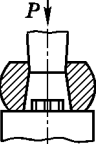
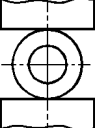
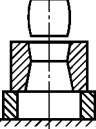
Вибір інструменту й обладнання для виготовлення поковки. Вибір інструменту залежить від розмірів і конфігурації поковки, для отримання якої потрібно виконати певні операції.

Наприклад, при куванні кільцевих поковок виконують осадку, прошивку, витяжку на оправці до діаметра. При виготовленні поковок типу валів основними операціями кування будуть витяжка і правка.

У зв'язку з цим при виборі інструменту в кожному конкретному випадку студент має користуватися плакатами на яких наведені операції та інструменти, які використовуються в процесі вільного кування заготовок.

Технологічна карта виготовлення поковки шестерні

Таблиця 28.4

Операції і переходи	Ескізи операцій і переходів	Обладнання	Інструмент	Температурний інтервал кування, °С	Температура термічної обробки поковки, °С
Рубання заготовки		Механічні ножиці	Ножі (верхній, нижній)	—	—
Нагрівання		Піч	—	1200...1250	—
Осадка заготовки		Молот	Бойки, кронциркуль	1250...850	—
Обкатка бочкоподібної поверхні		Молот	Той самий інструмент	1000...850	—
Підігрівання		Піч	—	1200...1250	—
Пробивання отвору		Молот	Бойки, прошивки, оправка	1250...1000	—
Обкатка по периметру		Молот	Бойки, кронциркуль	1000...850	—
Підігрівання		Піч	—	1100	—
Калібрування отвору		Молот	Калібр, бойки, оправка	1100...850	—
Відпал		Піч	—	—	650...700

Обладнання вибирають за масою падаючих частин ковальських молотів залежно від розмірів заготовки і виду операцій вільного кування, для виконання яких потрібно затратити максимальне зусилля (табл. 28.5).

Дані для вибору маси падаючих частин ковальського молота

Таблиця 28.5

Маса падаючих частин молота, кг	Максимальний переріз заготовки (сторона квадрата або діаметр заготовки), мм		Маса падаючих частин молота, кг	Максимальний переріз заготовки (сторона квадрата або діаметр заготовки), мм	
	Осадка	Витяжка		Осадка	Витяжка
100	50	90	750	135	200
200	70	120	1000	160	230
300	85	140	2000	225	280
400	100	160	3000	270	330
500	115	180	5000	350	400

Визначення режиму нагрівання заготовок і температурного інтервалу вільного кування. Заготовки для кування нагрівають у полумєневих і електричних печах, а також в електронагрівальних установках. Найпоширенішими є полумєневі печі, в яких нагрівають як дрібні заготовки, так і великі зливки масою 300...350 т.

Електричні печі частіше використовують для нагрівання кольорових металів та сплавів і рідше для нагрівання сталі. В електронагрівальних установках основними методами нагрівання є індукційний і контактний. Індукційне нагрівання здійснюють в індукторах підвищеної частоти (500...8000 Гц) для заготовок діаметром понад 15...70 мм. Порівняно з полумєневими печами, електро- нагрівання заготовок має такі переваги: зменшуються втрати на окалину з 3...4 до 0,5%; практично немає знеуглецьованого шару.

Вибираючи режим нагрівання, потрібно враховувати хімічний склад сплаву, від якого залежить теплопровідність. Щоб запобігти тепловим напруженням у сталі, для кожного виду сплаву потрібно крім температури вибирати конкретну швидкість і час нагрівання.

Час нагрівання заготовок у полумєневих печах можна визначити за формулою М.М.Доброхотова — В.Ф.Копитова, год:

$$\tau = \alpha K D \sqrt{D}, \quad (28.6)$$

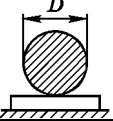
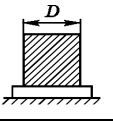
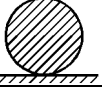
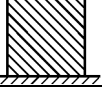
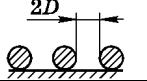
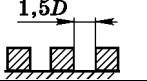
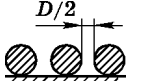
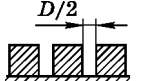
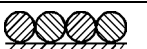

де: $\alpha = 1 \dots 4$ — коефіцієнт, який залежить від способу розміщення заготовок у печі (табл. 28.6);

K — коефіцієнт (для конструкційної і низьколегованої сталі $K = 10$, для високолегованої сталі $K = 20$);

D — діаметр круглої або сторона квадратної заготовки, м.

Значення коефіцієнта α залежно від способу розміщення заготовок

Таблиця 28.6

Розміщення заготовок	Коефіцієнт α	Розміщення заготовок	Коефіцієнт α
	1,0		1,0
	1,0		1,0
	1,3		1,8
	1,4		2,2
	2,0		4,0

Максимально допустима температура нагрівання заготовок визначається за формулою:

$$t_{\max} = \alpha t_c, \quad (28.7)$$

де: t_c — температура, яка відповідає лінії солідуса $AHJE$ на діаграмі сплавів залізо — цементит (рис. 28.2);

$\alpha = 0,85 \dots 0,95$ — коефіцієнт зниження температури.

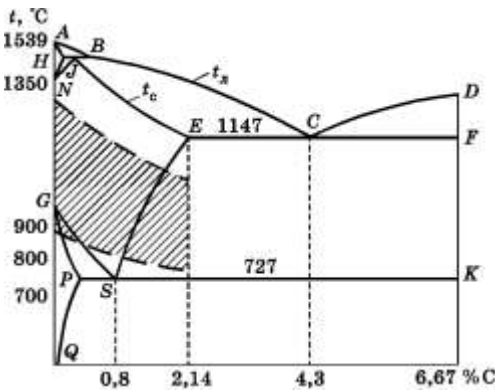


Рис. 28.2. Температурний інтервал гарячого оброблення тиском вуглецевих сталей

Нагрівання заготовок до вищих температур спричинює перегрівання або перепалювання сталі. При перегріванні зерна сталі ростуть і, отже, зменшується її пластичність. Перегрівання сталі можна усунути глибоким куванням з наступним термічним обробленням (відпалювання, нормалізація). Перепалювання характеризується оплавленням і окисленням сталі на межах зерен. Перепалена сталь є браком, який не можна виправити, таку сталь переплавляють.

На практиці часто для кожної марки сталі температуру початку і кінця кування вибирають, користуючись табл. 28.7.

Температурний інтервал кування сталей*Таблиця 28.7.*

Марка сталі	Температура початку кування, °С	Температура кінця кування, °С	Температура перепалювання, °С
10, 15	1300	900	1490
20, 25, 35	1280	880	1400
40, 45, 50	1260	880	1350
55, 60	1240	860	1300
65, 70	1220	850	1280
15Г...60Г	1200	800	1270
15Х, 20Х	1250	800	1350
45Х, 50Х	1200	800	1270
40ХН, 50ХН	1200	800	1300
12ХН3А, 20ХН3А	1200	880	1350
40ХН	1200	800	1350
30ХГС, 35ХГС	1180	800	1300
ШХ9, ШХ15	1180	800	1300
У12	1100	800	1180
Р9, Р18	1200	900	1380

Отриману поковку піддають термічній обробці (відпалюванню або нормалізації) для усунення крупнозернистої або різнозернистої структури і зняття внутрішніх напружень.

Послідовність виконання роботи

1. Спроекувати поковку (розробити креслення поковки, виходячи із креслення деталі з урахуванням припусків).
2. Розрахувати розміри і масу поковки.
3. Розробити технологічну карту виготовлення поковки:
 - а) визначити послідовності операцій та переходів вільного кування;
 - б) вибрати інструмент та обладнання для виготовлення поковки;
 - в) визначити режим нагрівання заготовки та температурного інтервалу вільного кування.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Розрахунок технологічного процесу.
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. **1.** У якій послідовності проєктують поковку? **2.** Залежно від чого визначають припуски на механічне оброблення поковок? **3.** Методи і агрегати для нагрівання заготовок перед гарячим обробленням тиском. **4.** Чим обмежується температура початку і кінця кування заготовок із сталей? **5.** Якій термічній обробці піддають поковки після їх виготовлення?



Розділ 6

ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Лабораторна робота 29 **Побудова зовнішньої характеристики електрозварювального трансформатора**

*Побудова зовнішньої
характеристики
електрозварюваль-
ного трансформа-
тора*

- ♦ *Визначення режимів і технологічних коефіцієнтів при електродуговому зварюванні сталі*
- ♦ *Розроблення технології і режимів газового зварювання*
- ♦ *Контроль якості зварних з'єднань*
- ♦ *Технологічні випробування матеріалів*

Мета роботи: ознайомитися з вимогами, що ставляться до джерел живлення при ручному електродуговому зварюванні металів, а також з методикою побудови, за якою побудувати зовнішню характеристику зварювального трансформатора та характеристику електричної дуги.

Обладнання та матеріали: електрозварювальний трансформатор, електродотримач, захисний щиток або маска-шолом, вольтметр, амперметр, електроди, зразки низьковуглецевої сталі.

Теоретичні відомості

Для живлення зварювальної дуги використовують спеціальні джерела струму - трансформатори змінного струму, генератори, випрямлячі та перетворювачі змінного струму на постійний. В залежності від призначення джерела повинні забезпечувати: надійне запалювання та стабільне горіння дуги, її саморегулювання, встановлення та підтримання заданого режиму зварювання, можливість регулювання режиму в певних межах, задовільне перенесення металу та формування швів, незначне розбризкування, та в кінцевому підсумку одержання високоякісного зварного з'єднання.

Крім того джерела струму повинні мати мінімальну металоємкість, економним, надійним і безпечним у експлуатації.

Зварювальні трансформатори оцінюються зовнішньою характеристикою, яка відображає взаємозв'язок напруги і сили струму залежно від умов виконання процесу зварювання металів і сплавів.

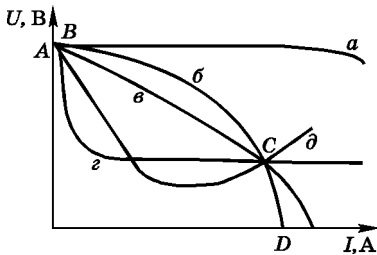


Рис. 29.1. Зовнішні характеристики джерел струму: *a* - для живлення силових агрегатів; *б* - крутоспадна; *в* - полого; *г* - жорстка; *д* - зростаюча

Цей взаємозв'язок зручно виражати у вигляді графіка з координатами «напряга U — сила струму I » (рис. 29.1).

У джерел живлення звичайних силових агрегатів (електродвигунів, приладів освітлення, опалювальних систем тощо) зовнішня характеристика має вигляд прямої, паралельної осі абсцис (рис. 29.1, *a*). Тобто у цьому разі при зміні сили струму напруга має залишатися постійною.

Джерела живлення з крутоспадними характеристиками використовують при ручному зварюванні (рис. 29.1, *б*).

Джерела живлення зі зростаючою характеристикою застосовують переважно для електрошлакового зварювання та зварювання в середовищі захисних газів (рис. 29.1, *г*).

Щоб забезпечити стійке горіння електричної дуги при ручному зварюванні, до джерел живлення ставлять певні вимоги.

1. Напряга холостого ходу U_{xx} має у 2,5...3 рази перевищувати робочу напругу U_p . При зварюванні постійним струмом металевим електродом $U_{xx} = 40...60 В$, при зварюванні вугільним електродом $U_{xx} = 50...80 В$. При зварюванні змінним струмом металевим електродом $U_{xx} = 50...70 В$.

2. Сила струму короткого замикання $I_{к.з}$ має бути більшою від сили робочого струму I_p .

Відношення сили струму короткого замикання до сили робочого струму називають *коефіцієнтом добротності* D , який визначають за формулою

$$D = \frac{I_{к.з}}{I_p}. \quad (29.1)$$

Коефіцієнт добротності характеризує стійкість горіння електричної дуги і стійкість роботи джерела струму. Він має задовольняти умову

$$I < D < 2.$$

3. Зварювальний агрегат має бути динамічним, тобто швидко реагувати на будь-які зміни в режимі зварювання. Наприклад, час відновлення напруги від моменту короткого замикання $U_{к.з} = 0$ до моменту напруги запалювання дуги U_3 не повинен перевищувати 0,02...0,05 с.

Розділ 6

4. Зварювальний агрегат повинен мати крутоспадну зовнішню характеристику (див. рис. 29.1, б). Це потрібно для збуджування і стійкого горіння електричної дуги при різних коливаннях режимів зварювання, а також для обмеження сили струму короткого замикання.

5. Зварювальний агрегат має забезпечити процес регулювання сили робочого струму і робочої напруги залежно від потреб процесу зварювання металу.

Крім сили струму, на напругу впливає довжина зварювальної дуги. Існує така емпірична залежність:

$$U_{з.д} = abL, \quad (29.2)$$

де: $a = 10 \dots 12$ — падіння напруги між анодом і катодом, яке не залежить від довжини дуги, B ;

$b = 2 \dots 3$ — середнє значення падіння напруги, віднесене до 1 мм довжини дуги, $B/мм$;

L - довжина дуги, $мм$.

Із формули (29.2) бачимо, що зі збільшенням довжини зварювальної дуги напруга зростає. Проаналізувавши залежність напруги від сили струму при постійній довжині дуги (рис. 29.2), дійдемо висновку, що напруга змінюється тільки за малих значень сили струму (до 30...40 А), а потім залишається незмінною (крива BbC).

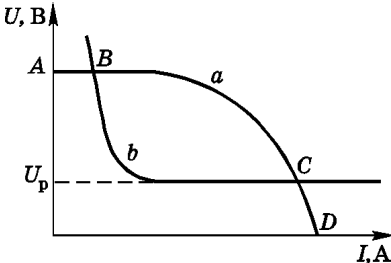


Рис. 29.2. Зовнішні характеристики електрозварювального трансформатора ($ABaCD$) і електродуги (BbC)

Оскільки при зварюванні металевих сплавів використовують великі значення сили струму, можна вважати, що робоча напруга U_p є постійною при зміні сили робочого струму I_p . Абсолютне значення напруги збільшуватиметься зі збільшенням довжини дуги. Інакше кажучи, якщо $L_1 > L_2 > L_3$, то й $U_1 > U_2 > U_3$.

Отже, відповідно зміщуватиметься вгору точка C перетину зовнішньої характеристики $ABaCD$ зварювального трансформатора і статичної характеристики дуги BbC (див. рис. 29.2).

Щоб регулювати силу робочого струму, потрібно впливати на зовнішню характеристику джерела струму. Для цього зварювальні агрегати обладнують регулювальними пристроями, наприклад дроселем. Це дає можливість змінювати напругу холостого ходу, силу струму короткого замикання та крутість зовнішньої характеристики джерела живлення.

Послідовність виконання роботи

Побудова зовнішньої характеристики електрозварювального трансформатора. З цією метою визначаємо кілька характерних точок, які виражають взаємодію напруги і сили струму залежно від зміни режимів зварювання.

Для того щоб визначити силу струму короткого замикання (точка *D* на рис. 29.2), потрібно щільно притиснути електрод *1* до зварювального стола *2* і за показаннями амперметра зафіксувати отримане значення (рис. 29.3). Напругу холостого ходу (точка *A* на рис. 29.2) визначають за показаннями вольтметра при розімкненому електричному колі зварювання. Силу робочого струму I_p і робочу напругу U_p визначають тоді, коли при виконанні зварювальних робіт електрична дуга горить стійко, зварювальний шов формується щільним і безпористим, а процес зварювання є продуктивним.

Для одержання проміжних значень сили струму і напруги на відрізку кривої *ABaCD* (див. рис. 29.2) потрібно під час експерименту змінювати довжину дуги від мінімальної (U_p) до максимальної. З'єднавши отримані експериментальні точки плавною кривою, одержимо зовнішню характеристику *ABaCD* зварювального трансформатора (див. рис. 29.2).

Побудова статичної характеристики дуги. Статична характеристика дуги має чітко виражені ділянки згідно з технологічними етапами зварювання. Відомо, що зварювання металу починається з короткого замикання електродом на масу. Другий етап характеризується відриванням електрода від поверхні зварювання. Для утворення електродугового розряду потрібна напруга запалювання дуги U_3 . На рис. 29.2 — це точка *A*. Третій етап — іонізація міжелектродного простору. У цьому разі напруга падає (відрізок лінії *Bb*) до рівня робочої напруги U_p (*bC*). У подальшому, коли відбуватиметься процес зварювання на робочому режимі, сила струму I_p і напруга на виході джерела живлення U_p дорівнюватимуть силі струму і напрузі електричної дуги (відрізок прямої *bC* майже паралельний осі абсцис). Отже, режим стабільного горіння електричної дуги визначатиметься точкою перетину зовнішньої характеристики джерела живлення і статичної характеристики дуги. На рис. 29.2 це положення відповідає точці *C*.

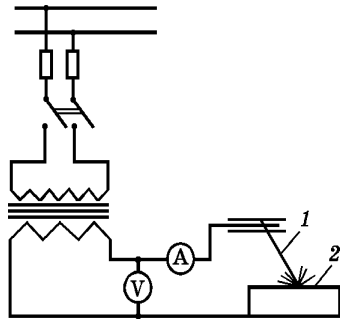


Рис. 29.3. Принципова схема установки для побудови зовнішньої характеристики зварювального трансформатора і статичної характеристики електродуги

Розділ 6

Результати одержаних експериментальних даних для побудови зовнішньої характеристики джерела живлення і статичної характеристики дуги, розрахунку коефіцієнта добротності та довжини зварювальної дуги потрібно занести в протокол (табл. 29.1).

Результати експерименту

Таблиця 29.1.

Тип зварювального агрегату	Марка електрода і його діаметр, мм	Дані для побудови зовнішньої характеристики зварювального агрегату і статичної характеристики дуги			
		Сила струму, A	Напруга, B	Коефіцієнт добротності, D	Довжина дуги, L , мм

За одержаними результатами виконаного дослідження зробити висновок про роботу зварювального агрегату згідно з вимогами, що ставляться до джерела живлення при ручному зварюванні металу.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати експерименту занести в протокол (див. табл. 29.1).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Джерела живлення для зварювання змінним струмом. 2. Вимоги до джерел живлення при ручному електродуговому зварюванні. 3. Як проводять досліди для побудови зовнішньої характеристики зварювального трансформатора. 4. Побудова статичної характеристики дуги при зварюванні змінним струмом. 5. Що таке коефіцієнт добротності зварювального агрегату?

Лабораторна робота 30

Визначення режимів і технологічних коефіцієнтів при електродуговому зварюванні сталі

Мета роботи: налаштувати зварювальний апарат на режим зварювання, розрахувати оптимальні режими електродугового зварювання; експериментально перевірити достовірність вибраних режимів визначенням технологічних коефіцієнтів зварювання сталі.

Обладнання та матеріали: електрозварювальний апарат, кабелі, електродотримач, захисний щиток або маска-шолом, електроди, зразки з низьковуглецевої сталі завдовжки не менш як 10 см і завтовшки 3...6 мм, амперметр, вольтметр, секундомір, електричні ваги, штангенциркуль, лінійка, дрютяна щітка, зубило, молоток.

Теоретичні відомості

Якість зварного з'єднання і продуктивність процесу залежать від таких факторів, як:

- вид зварних з'єднань;
- підготовка кромки у стикових з'єднаннях;
- розміщення зварних з'єднань у просторі;
- розміщення зварних швів відносно до діючих зусиль;
- параметрів режимів електродугового ручного зварювання.

Види зварних з'єднань, що використовуються при ручному зварюванні, наведені на рис. 30.1.

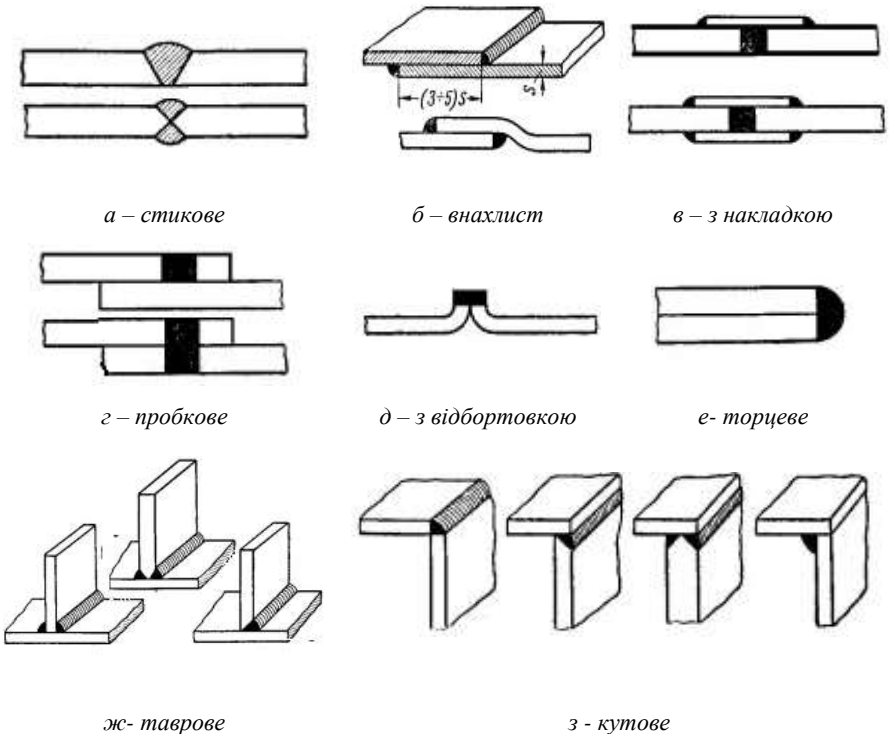


Рис. 30.1. Види зварних з'єднань

З метою забезпечення повного провару стикових з'єднань необхідно попередньо виконувати підготовку кромки. Характер підготовки кромки у стикових з'єднаннях в залежності від товщини металу, що зварюється, наведений на рис.30.2.

Розділ 6




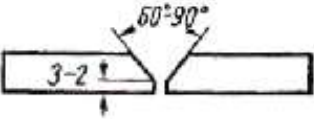
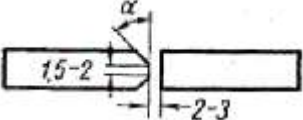
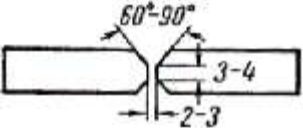
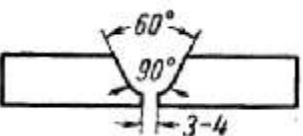
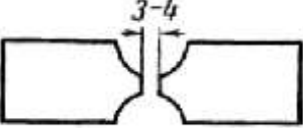
	<p>Відбортване з'єднання при товщині металу до 2-3 мм</p>
	<p>Прямокутні торці, використовуються для металів товщиною до 4 мм</p>
	<p>Односторонній скіс під кутом $\alpha = 30-45^\circ$ для товщин 13-15 мм</p>
	<p>V-подібна підготовка кромки для товщин 13-15 мм</p>
	<p>Двосторонній скіс одного листа під кутами $\alpha = 30-45^\circ$ з кожної сторони</p>
	<p>X-подібна підготовка кромки для товщин більше 15 мм</p>
	<p>Чашеподібна підготовка кромки для товщини менше 15 мм</p>
	<p>Чаше-подібна підготовка кромки для товщини більше 15 мм</p>

Рис. 30.2. Характер підготовки кромки у стикових з'єднаннях

Найбільш доцільною є чаше-подібна та X-подібна підготовка кромки стикового з'єднання, але в той же час і більш трудомісткою.

Ці дані є орієнтовними і використовуються в залежності способів зварювання. Підготовка кромки виконується на металообробних верстатах, спеціальному обладнанні або газовим різанням.

По відношенню до напрямку діючих зусиль розрізняють лобові, флангові і косі шви (рис. 30.3).

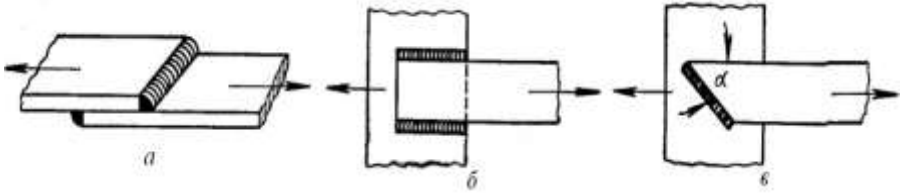


Рис. 30.3. Розміщення зварювальних швів по відношенню до діючих зусиль: *а* - лобовий шов ; *б* - фланговий шов; *в* - косий шов.

Лобові шви розміщені нормально (перпендикулярно до напрямку діючого зусилля); розраховуються на розтяг і стиснення.

Флангові шви розміщені паралельно напрямку діючого зусилля; їх розраховують на зріз.

Косі шви розміщують під кутом α до напрямку діючого зусилля. Їх розраховують в залежності від величини кута α . При $\alpha < 45^\circ$ - на зріз, при $\alpha > 45^\circ$ на розтяг.

Залежно від розміщення швів у просторі (рис. 30.4.) необхідне застосування певного технологічного виконання зварювання.

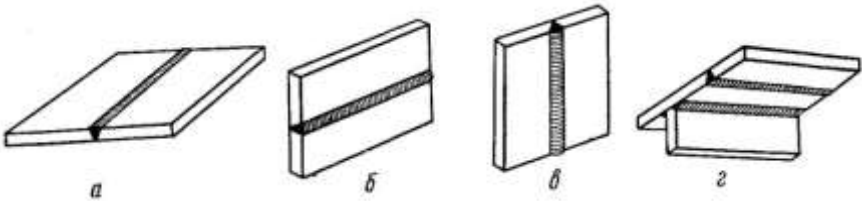


Рис. 30.4. Розміщення зварювальних швів у просторі:

а - нижні шви, які розміщені на нижній горизонтальній площині у різних напрямках (вони є найбільш легкими для виконання);

б - горизонтальні шви, які розміщені горизонтально на вертикальній площині (виконання цих швів є значно складнішим ніж нижніх);

в - вертикальні шви, які розміщені на вертикальній площині в будь-якому напрямку крім горизонтального ;








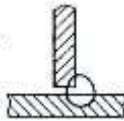


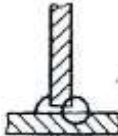








г - стельові шви, які розміщені на верхній горизонтальній площині в будь-якому напрямку (вони є найбільш трудомісткими) для виконання.

Основні типи швів, які виконують ручним електрозварюванням регламентовані ГОСТ 5264-80. Кожен тип зварного з'єднання має умовні позначення: С – стикове, У – кутове, Т – таврове, Н – внапусток. Приклади деяких зварних з'єднань в залежності від товщини деталей наведені у табл.30.1.

Розділ 6

Приклади позначення зварних з'єднань

Таблиця 30.1

Види зварних швів	Умовні позначення	Рекомендовані товщини, мм	Види зварних швів	Умовні позначення	Рекомендовані товщини, мм
	C1	1...4		У1	1...4
	C2			У4	1...6
	C5			У7	3...60
	C7	2...5		Т1	2...40
	C9				
	C11	3...60		Т3	
	C13	15...100			
	C16	30...120		Т5	30...120
	C23	15...100			
	C24	15...100		Н1	2...60
	C26	30...175			
				Н2	

До параметрів режимів електродугового ручного зварювання належать діаметр електрода, зварювальні сила струму і напруга, довжина зварювальної дуги та швидкість зварювання.

Для зварювання сталей Держстандартом передбачено чотирнадцять типів електродів. При цьому дев'ять типів електродів E38, E42, E42A, E46, E46A, E50, E50A, E55, E60 використовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей та п'ять типів E70, E85, E100, E125, E150 для зварювання легованих сталей підвищеної та високої міцності. Тип електрода позначається літерою «E» і цифрою, що вказує на гарантовану межу міцності металу шва в $кг/мм^2$. Літера «A» свідчить, що метал шва має підвищені пластичні властивості.

Кожному типу електрода відповідає кілька марок електродів. Так, наприклад, типу E 42 відповідають електроди марок OM2, АНО-6, МЭЗ-0,4, для E46 – MP-3, ОЗС-4; для E50 – УОНИ-13/55.

Марка електрода – це його умовне позначення, що характеризує сталевий дріт та покриття. Для виготовлення електродів використовують дріт, хімічний склад якого повинен відповідати марці металу, що зварюють. Стальний дріт по хімічному складу поділяють на три групи: вуглецевий, легований і високолегований. Розміри електродів відповідно до ДСТУ Б.В.2.6-50:2008 наведені в табл. 30.2.

Розміри електродів для ручного електродугового зварювання

Таблиця 30.2

Діаметр електрода, $D_{ел}$, мм	Довжина електрода із вуглецевого і легovanого дроту, l , мм	Довжина електрода з високолегovanого дроту, l , мм
1,6	200, 250	150, 200
2,0	250	200, 250
2,5	250, 300	250
3,0	300, 350	300, 350
4,0	350,450	350
5-12	450	350, 450

Дріт для електродугового зварювання маркують індексом «Св», що означає зварювальний, а також літерами та цифрами. Літери вказують на вміст легуючих елементів у сплаві. Так, наприклад, «Г» - означає марганець, «С» - кремній, «Х» - хром, «Н» - нікель, «М» - молібден, «В» - вольфрам, «Ф» - ванадій, «Т» - титан та ін.

Перші дві цифри – це вміст вуглецю у сотих частках відсотків. Цифри, що стоять після літери, вказують на вміст даного легуючого елементу у відсотках. Літера «А» в кінці марки означає, що кількість шкідливих домішок складає: $S \leq 0,25\%$, $P \leq 0,30\%$.

З метою отримання необхідної якості зварного з'єднання, на поверхню електродів наносять захисні покриття, які містять іонізуючі, газоутворюючі, розкислюючі, шлакоутворюючі, легуючі і зв'язуючі речовини.

За видами покриття електроди поділяють: з кислим покриттям, умовне позначення «А»; рутиловим – «Р»; целюлозним – «Ц»; основним – «Б»; з покриттям змішаного типу, наприклад, «АЦ»; з іншими видами – «П».

Розділ 6

За товщиною шару покриття електроди поділяють на дві групи; тонкі до 0,5 мм (стабілізуючі та іонізуючі) і товсті до 3,0 мм (якісні).

Приклад маркування електродів: Е46А – УОНИ – 13/45 – 4,0 – УД2, де: Е – тип електрода; 46 – межа міцності на розтяг зварювального шва, $\sigma_s = 46 \text{ кг/мм}^2$ (460 МПа); А – Зварювальний шов має підвищені пластичні властивості; УОНИ – марка електрода; 4,0 – діаметр електрода, 4 мм; У – призначений для зварювання конструкційних сталей з $\sigma_s < 600 \text{ МПа}$; Д – покриття електрода – товсте: 2 – група за якістю виготовлення: вищі вимоги.

При ручному зварюванні визначають тільки два параметри режиму: діаметр електрода $D_{\text{ел}}$ і силу зварювального струму $I_{\text{зв}}$. Напряга дуги U залежить від сили струму, марок електрода і сплаву, що зварюють, та від довжини зварювальної дуги. Довжину дуги зварник задає вручну; вона дорівнює приблизно 0,5...1,1 від діаметра електрода.

Діаметр електрода залежить від товщини зварюваного металу, типу та конфігурації з'єднання. Для того щоб забезпечити максимальну продуктивність зварювання, бажано діаметр електрода брати більшим. Проте це не завжди доцільно, особливо при зварюванні тонких заготовок через можливість їх пропалювання.

Для загального випадку рекомендується застосовувати таке співвідношення, мм:

$$D_{\text{ел}} = \frac{S}{2} + 1, \quad (30.1)$$

де: $D_{\text{ел}}$ — діаметр електрода, мм;

S — товщина зварювальної заготовки, мм.

При товщині заготовок понад 13 мм рекомендований діаметр електрода становить 5...6 мм. Сила зварювального струму залежить від виду і діаметра електрода, фізичних властивостей зварюваного сплаву, типу з'єднання, положення шва у просторі та швидкості зварювання.

При зварюванні мало- та середньовуглецевих сталей силу зварювального струму визначають за формулою:

$$I_{\text{зв}} = K D_{\text{ел}}, \quad (30.2)$$

де: K — коефіцієнт густини струму, А/мм.

При ручному зварюванні коефіцієнт густини електричного струму, А/мм, має становити: для електродів з низьковуглецевої сталі — 40...60; з високолегованих сталей — 35...40; для вугільних — 5...8; для графітових — 18...20.

При зварюванні сплавів з високою теплопровідністю силу струму збільшують у 1,3...1,5 рази. Навпаки, при зварюванні легованих сталей, теплопровідність яких низька внаслідок наявності в їхньому складі хрому, ванадію, вольфраму, мангану, нікелю тощо, виникає небезпека утворення термічних напружень і, отже, з'являються тріщини. Тому для легованих сталей використовують так званий м'який режим зварювання, при якому силу струму зме-

ншують на 10...20% порівняно з силою струму при зварюванні низько- та середньовуглецевих сталей.

Найзручнішим методом зварювання є горизонтальний, коли рідкому металу нікуди витікати, а тому силу струму для електрода можна брати максимальною. Отже, і продуктивність зварювання також буде максимальною.

Для живлення зварювальної дуги застосовують як постійний, так і змінний струм. У першому випадку використовують зварювальні генератори, у другому — трансформатори. У разі зварювання із застосуванням змінного струму, через недостатню іонізацію і охолодження міжелектродного простору при зміні полярності, силу зварювального струму потрібно підвищувати на 10...20%. Якщо певних даних про сплав немає, то силу зварювального струму орієнтовно можна визначити за формулою академіка К.К.Хренова:

$$I_{зв} = (\beta + \alpha)D_{ел}, \quad (30.3)$$

де: α , β — дослідні коефіцієнти (при ручному зварюванні звичайними сталевими електродами значення їх приймають, відповідно, 6 і 20).

Напругу зварювання можна визначити за довжиною зварювальної дуги за залежністю:

$$U = (\alpha + \beta)L. \quad (30.4)$$

Довжина дуги L , мм, залежить від діаметра електрода:

$$L = 0,5(D_{ел} + 2). \quad (30.5)$$

Достовірність вибраних режимів і економічну ефективність зварювання оцінюють за технологічними коефіцієнтами зварювання: K_H — коефіцієнт наплавлення; K_p — коефіцієнт розплавлення; K_B — коефіцієнт втрат.

Коефіцієнт наплавлення характеризує технологічну якість використаних електродів, тобто втрати металу через розбризкування при формуванні зварювального шва, випаровування, вигорання, визначається кількістю наплавленого металу у грамах на один ампер протягом однієї години, $г/(A \cdot год)$:

$$K_H = \frac{Q_H}{I_{зв} \tau}, \quad (30.6)$$

де: Q_H — маса наплавленого металу, г;

τ — час горіння зварювальної дуги, год.

Масу наплавленого металу визначають зважуванням зразків до і після зварювання.

Коефіцієнт наплавлення, $г/(A \cdot год)$, становить: для якісних електродів — 10...12; для стабілізувальних електродів — 8; для електродів широкого вжитку — 5...13. Коефіцієнт розплавлення враховує загальну кількість розплавленого металу електрода:

$$K_p = \frac{Q_p}{I_{зв} \tau}, \quad (30.7)$$

де: Q_p — маса розплавленого металу електрода, г.

Розділ 6

Чим більша різниця між коефіцієнтами наплавлення і розплавлення, тим більші втрати металу при зварюванні. Вважається нормальним, якщо ця різниця не перевищує 20...30 %.

Коефіцієнт втрат розраховують як відношення маси втраченого металу до маси розплавленого, %:

$$K_B = \frac{Q_P - Q_H}{Q_P} 100. \quad (30.8)$$

Швидкість зварювання, $m/год$, визначають за формулою

$$v = \frac{I_{зв} K_H}{Q_H}, \quad (30.9)$$

де: Q_H — маса наплавленого металу, яка вимірюється у грамах на один метр довжини зварювального шва ($г/м$).

Витрати електроенергії, $кВт \cdot год$, розраховують за формулою

$$P = \frac{UI_{зв} \tau}{\eta 1000} + M_{х.х} (\tau_{заг} - \tau), \quad (30.10)$$

де: η — коефіцієнт корисної дії зварювального апарата; при силі зварювального струму 100...450 А для генераторів $\eta = 0,3...0,4$, для трансформаторів $\eta = 0,8...0,85$;

$M_{х.х}$ — потужність холостого ходу зварювального апарата, $кВ \cdot А$ (для генераторів $M_{х.х} = 2...3$; для трансформаторів $M_{х.х} = 0,2...0,4$);

$\tau_{заг}$ — загальний час роботи зварювального апарата, який визначається проміжком часу від моменту ввімкнення зварювального апарата до моменту його вимкнення із джерела струму, $год$; τ — час горіння дуги, $год$.

Послідовність виконання роботи

1. Для заданих зразків визначити діаметр електрода і силу струму, а також налаштувати зварювальний апарат на потрібний режим зварювання.

2. Зважити зразки на електричних вагах з точністю до $\pm 0,1$ г.

3. Виміряти довжину електрода до початку зварювання зразків.

4. Зварити два зразки. Під час зварювання зафіксувати силу струму, напругу і час горіння дуги. Для визначення витрат електроенергії контролювати загальний час роботи зварювального апарата.

5. Зварені зразки зачистити від шлаку металевією щіткою. Якщо навколо шва є бризки застиглого металу, то обрубати їх зубилом. Після цього зразки зважити і розрахувати масу наплавленого металу.

6. Виміряти довжину електрода після зварювання і розрахувати масу розплавленого металу, г:

$$Q_{ел} = \frac{\pi D_{ел}^2}{4} (l_1 - l_2) \rho, \quad (30.11)$$

де: l_1, l_2 — довжина електрода відповідно до і після зварювання, $см$;

ρ — густина сплаву, $г/см^3$ (для сталі $\rho = 7,85$).

7. Визначити технологічні коефіцієнти K_H , K_P і K_B .

**Протокол визначення режимів та технологічних
коефіцієнтів при електродуговому зварюванні сталі**

Таблиця 30.3.

Параметри	Позначення	Одиниця виміру	Дані досліджу
Зразки:			
Сталь - марка			
товщина	S	мм	
маса:			
до зварювання		г	
після зварювання		г	
маса наплавленого металу	Q_H	г	
довжина зварного шва	L	м	
Електрод - марка			
діаметр	$D_{ел}$	мм	
довжина:			
до зварювання	l_1	см	
після зварювання	l_2	см	
маса розплавленого металу	Q_p	г	
Режими зварювання:			
сила струму	$I_{зв}$	А	
напруга	U	В	
довжина зварювальної дуги	L	мм	
швидкість зварювання	v	м/год	
витрати електроенергії	P	кВт·год	
Час горіння дуги	τ	год	
Загальний час роботи зварювального апарата	$\tau_{заг}$	год	
Технологічні коефіцієнти зварювання:			
коефіцієнт наплавлення	K_H	г/(А·год)	
коефіцієнт розплавлення	K_p	г/(А·год)	
коефіцієнт втрат	K_{θ}	%	

8. Розрахувати швидкість зварювання і загальні витрати електроенергії.

9. Експериментальні дані занести у протокол (табл. 30.3).

10. Скласти висновок про виконану роботу, в якому оцінити достовірність вибраних режимів зварювання, налаштування апаратури та якість безпосередньо виконаного зварювання зразків.

Розділ 6

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Результати експерименту занести в протокол (див. табл. 30.3).
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. В якій послідовності визначають режим електродугового зварювання? 2. Залежно від чого вибирають діаметр електрода і силу зварювального струму? 3. Чим оцінюється економічна ефективність процесу зварювання? 4. Як визначають коефіцієнт наплавлення і розплавлення? 5. Коефіцієнт наплавлення для якісних електродів.

Лабораторна робота 31

Розроблення технології і режимів газового зварювання

Мета роботи: вивчити види зварних з'єднань зварних швів і способи газового зварювання. Засвоїти технологію і обґрунтування параметрів режиму газового зварювання.

Обладнання та матеріали: зразки для зварювання, флюси, обладнання для газового зварювання (газогенератор або балон з газом, кисневий балон з редуктором, газовий пальник, газовий редуктор, шланги), змінні мундштуки, присадний дріт, напилки або точило для підготовки торців заготовок, штангенциркуль, лінійка, костюм зварювальника, окуляри, щитки.

Теоретичні відомості

Якісний шов забезпечується правильним підбором потужності пальника, видом зварювального полум'я, способом зварювання, кутом нахилу пальника, використанням відповідного присадного матеріалу і флюса.

Технологія газового зварювання включає: підготовку місця зварювання заготовок, вибір потужності газового полум'я, присадного матеріалу і діаметра дроту, обґрунтування способу і режиму газового зварювання та контроль якості зварного з'єднання.

Підготовка місць зварювання заготовок.

За конструкцією виробу встановлюють види зварних з'єднань, і розміщення швів у просторі. Види і класифікація зварних швів наведені в роботі 30. Для забезпечення якісного зварного шва виконують підготовку місць зварювання залежно від товщини заготовок у місці зварювання і типу з'єднання (стикове С, в напусток Н, таврове Т, кутове У) (див. роботу 30).

Стикові з'єднання товщиною до 2 мм зварюють з відбортуванням кромки без присадного матеріалу або встик без скосу кромки і без зазору, але з присадковим дротом. Метал товщиною 2...5 мм зварюють встик без скосу кромки, але із зазором 1...2 мм між ними. При зварюванні матеріалів товщиною

більше 5 мм застосовують V – або X – подібну підготовку кромки. Кут скосу кромки вибирають у межах 70...90°, що забезпечує повний провар вершини шва. Глибину скосу кромки під зварювання при односторонньому скосі приймають рівною товщині - t , а при двосторонньому скосі - $0,5 t$. Кутіві з'єднання виробів малої товщини виконують без присадного дроту. Односторонні шви для з'єднань внапусток і таврові допустимі тільки при зварюванні матеріалів товщиною меншою за 3 мм.

Шви накладають одно- і багатошарові: за товщини виробу до 6...8 мм використовують одношарові шви, до 10 мм – двошарові шви, а при товщині заготовок більше 10 мм шви накладають у три і більше шарів. Товщина шару при багатошаровому зварюванні залежить від розмірів шва і товщини матеріалу і складає 3...7 мм.

Найзручніше виконувати нижні шви, важче вертикальні. Вертикальні шви переважно зварюють знизу догори. Для зварювання горизонтальних швів на вертикальній поверхні скошують кромки тільки на верхній заготовці.

Перед зварюванням проводиться прихватки крайок зварюваних деталей, щоб уникнути зміни їх положення і зазору між кромками протягом усього процесу зварювання. При зварюванні тонкого металу і коротких швів довжина прихваток складає 5-7 мм, а відстань між прихватками - 70-100 мм. При зварюванні товстого металу і швах значної довжини прихватки роблять довжиною 20-30 мм, а відстань між ними приймають 300-500 мм.

Способи газового зварювання

Продуктивність зварювання і якість шва у значній мірі залежать від положення пальника і напрямку переміщення вздовж шва. Прийнято, що пальник 3 знаходиться з правої сторони, а присадний пруток 2 (дріт) зліва.

Розрізняють два основних способи газового зварювання: *правий і лівий*. (рис. 31.1).

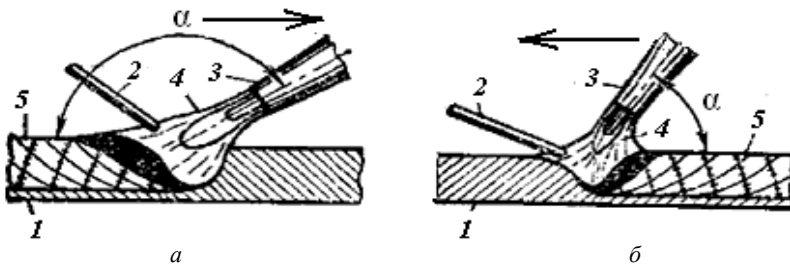


Рис. 31.1. Способи зварювання: а - правий; б - лівий

При правому способі зварювання ведуть зліва направо, пальник переміщується попереду присадного прутка, а полум'я 4 спрямоване на шов 5, що формується. Це забезпечує захист зварювальної ванни від дії атмосферного

Розділ 6

повітря і уповільнене охолодження шва. Правий спосіб застосовують при зварюванні металу товщиною більше ніж 5 мм, тому що забезпечує більш глибоке проплавлення.

При лівому способі зварювання ведуть з права наліво, палик переміщується за присадним прутком, розміщеному під кутом $40\ldots 50^\circ$ до поверхні заготовок, а полум'я спрямовується на незварені кромки *1* і підігріває їх, готуючи до зварювання.

Лівим способом слід виконувати зварювання вертикальних швів знизу вгору, а також при зварюванні горизонтальних швів металів незначної товщини (до 5 мм) полум'я палика направляють на заварений шов і зварку ведуть з права наліво. Щоб уникнути витікання розплавленого металу зварювальну ванну формують з невеликим перекосом.

Стельові шви зручніше зварювати правим способом.

У процесі зварювання мундштук палика і присадний пруток (дріт) здійснюють одночасно два рухи: перший - вздовж осі зварного шва і другий - коливальний рух поперек осі шва. При цьому кінець присадного прутка рухається в напрямку, зворотному руху мундштука.

При правому способі зварювання діаметр присадного прутка дорівнює половині товщини зварюваного металу. При зварюванні металу товщиною більше 15 мм діаметр присадного прутка повинен бути 6-8 мм.

Продуктивність правого способу зварювання на 20-25 % більше ніж лівого з меншою на 15-25% витратою газу.

Залежно від товщини заготовок, які зварюються палик нахиляють під різними кутами (рис.31.2).

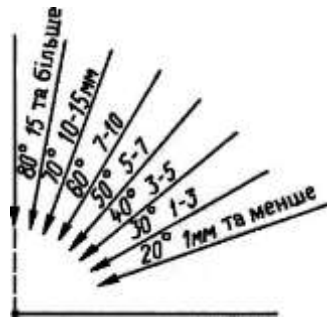


Рис. 31.2. Кути нахилу мундштука палика залежно від товщини металу

Присадні матеріали для газового зварювання

Для газового зварювання, як присадний матеріал використовують дріт, або прутки близькі за хімічним складом до металу або сплаву зварюваних заготовок.

Сталевий зварювальний холодно-тягнутий дріт випускається діаметрами 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 і 12,0 мм.

Газове зварювання низьковуглецевих сталей виконується нормальним полум'ям, зварювальним дротом марок Св-08; Св-08А; Св-08АА; Св-08ГА; Св-10ГА; Св-10Г2, а відповідальні конструкції дротом із сталей марок Св-08ГА; Св-10Г2; Св-08ГС; Св-08 Г2С та ін.

Зварювання середньовуглецевих сталей виконують полум'ям, що має слабку здатність до науглецювання і рекомендується лівий спосіб зварювання. При товщині з'єднання більше 3 мм потрібно здійснити попереднє підігрівання виробу до 250...300° С або місцевий до 650...700°С. Присадним матеріалом є зварювальний дріт тих же марок, що і для низьковуглецевої сталі та дріт марки Св-12ГС.

Зварювання низьколегованих і теплостійких сталей виконують дротом марок Св-08ГС; Св-12ГС; Св-08Г2С; Св-08ХМ; Св-08ХГ2С та ін.

Мідь і її сплави зварюють дротом і прутками із міді і сплаві на її основі. Алюміній і його сплави зварюють дротом із алюмінію і його сплавів.

Розрахунок режиму газового зварювання

Режим газового зварювання встановлюють у такій послідовності:

1. Вибирають спосіб зварювання (лівий чи правий) і кут нахилу мундштука пальника залежно від товщини заготовок.

2. Вибирають матеріал присадного дроту.

3. Визначають діаметр присадного дроту.

Для товщини заготовок S до 10 мм діаметр дроту визначається:

- для лівого способу зварювання

$$d = 0,5 S + 1 \text{ мм}, \tag{31.1}$$

- для правого способу зварювання

$$d = 0,5 S + 4 \text{ мм}. \tag{31.2}$$

Якщо товщина заготовок більше 15 мм діаметр дроту беруть 8 мм.

3. Визначають потужність зварювального полум'я (витрату ацетилену) за формулою:

$$V_a = K S, \text{ л/год}. \tag{31.3}$$

де: K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей матеріалів, що зварюються.

Для вуглецевої сталі і чавуну: K=100...120 – для лівого способу і K=120...130 – для правого способу;

для нержавіючої сталі K=70...80;

для міді та її сплавів - K=160...200;

алюмінію і його сплавів K=75.

4. Вибирають номер наконечника за товщиною з'єднань, що зварюються і витратою ацетилену з табл. 31.1.

5. Визначають основний (технологічний) час T_o :

$$T_o = q_m / K_n \text{ хв} \tag{31.5}$$

де: q_m – маса наплавленого металу, г.

K_n – коефіцієнт наплавлення, г/хв. (визначається за табл. 31.2).

Розділ 6

Технологічні характеристики газових пальників

Таблиця 31.1.

№ наконечника	Товщина зварюваної низько вуглецевої сталі, мм	Витрати, л/год.		Тиск на вході пальника, МПа	
		ацетилен	кисень	ацетилен	кисень
0	0,2-0,5	40-50	45-55	0,001-0,1	0,15-0,3
1	0,5-1	65-90	70-100	0,001-0,1	0,2-0,3
2	1-2	130-180	140-200	0,001-0,1	0,2-0,3
3	2-4	250-350	270-380	0,001-0,1	0,2-0,3
4	4-7	420-600	450-650	0,001-0,1	0,2-0,3
5	7-11	700-950	750-1000	0,001-0,1	0,2-0,3
6	11-17	1130-1500	1200-1650	0,001-0,1	0,2-0,35
7	17-30	1800-2500	2000-2800	0,01-0,1	0,2-0,35
8	30-50	2500-4500	3000-5600	0,03-1,0	0,25-0,5
9	750	4500-7000	4700-9300	0,03-1,0	0,25-0,5

Маса наплавленого металу визначається за формулою:

$$q_m = S_{ш} \cdot L \cdot \gamma, \text{ г} \quad (31.6)$$

де: L – довжина шва, см;

$S_{ш}$ – площа поперечного перерізу шва, см^2 , визначається за формулами площ простих геометричних фігур;

γ – густина наплавленого металу г/см^3 , ($\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ – для сталі; $\gamma = 7,1 \dots 7,3 \text{ г/см}^3$ – для сірого чавуну, $\gamma = 8,6 \text{ г/см}^3$ – для бронзи і латуні; $\gamma = 2,55 \dots 2,83 \text{ г/см}^3$ – для алюмінієвих сплавів).

Коефіцієнти наплавлення для номерів наконечника пальника

Таблиця 31.2

№ наконечника пальника	Коефіцієнт наплавлення, г/см^3	
	сталь	чавун
1	4-6	-
2	6-7	3,5
3	7-10	6,0
4	13-14	9,0
5	16-18	12,0
6	17-18	13,0
7	18-21	15,0

6. Вибирають вид газового полум'я за видом робіт, які виконуються і матеріалом зварюваних заготовок за табл.31.3.

Застосування видів газового полум'я.

Таблиця 31.3

Вид полум'я	Відношення кисню до ацетилену	Температура полум'я, °С	Галузь застосування
Навуглецювальне	0,8-0,9	2700-3100	Наплавлення твердих сплавів, зварювання чавуну і високовуглецевих сталей
Нормальне	1,0-1,2	3150	Зварювання низьковуглецевої та середньовуглецевої сталей, алюмінієвих сплавів, бронзи, міді. Різання металів, паяння, металізація.
Окислювальне	1,2-1,5	3000-3100	Різання та паяння, зварювання латуні і чавуну бронзою, поверхнєве гартування і вогняне очищення поверхні.

Послідовність виконання роботи

1. Вибрати варіант завдання з табл.31.5 за номером під яким є прізвище студента у журналі викладача.

2. Залежно від товщини зварюваних заготовок виду з'єднання і розміщення зварного шва обґрунтовувати способи і форму підготовки зварних країв. Дати ескіз з'єднання підготовленого для зварювання з розмірами.

3. Вибрати спосіб газового зварювання і кут нахилу мундштука пальника.

4. Підібрати матеріал присадного дроту.

5. Визначити діаметр присадного дроту (формули 31.1 і 31.2) і взяти стандартне значення.

6. Визначити потужність зварювального полум'я.

7. Вибрати номер наконечника пальника з табл.31.1, давши витрати газів для нього та їх тиск на вході.

8. Дати ескіз зварного з'єднання зі швом, вказавши розміри шва.

9. Визначити площу перерізу зварного шва і масу наплавленого металу.

10. Визначити основний час зварювання.

11. Вибрати вид газового полум'я.

12. Підібрати і підготувати зразки та дріт необхідного діаметра для зварювання.

13. Закріпити мундштук необхідного номера в пальнику.

14. Відрегулювати тиск ацетилену і кисню.

15. Зварити зразки на деякій довжині і оцінити якість зварювання.

16. Результати розрахунків звести до табл. 31.4.

Результати розрахунків

Таблиця 31.4

Товщина заготовок S , мм	Вид підготовки країв	Спосіб зварювання	Діаметр присадного дроту, мм	Марка сталі дроту	Потужність полум'я, л/год	Номер наконечника	Площа перерізу зварного шва, мм ²	Маса наплавленого металу, г	Час зварювання, хв

Варіанти завдань

Таблиця 31.5

Варіант	Марка сталі	Товщина зварюваних країв S , мм	Довжина шва L , мм	Вид шва за розміщенням
Стикове з'єднання				
1.	15	2	520	горизонтальний
2.	20	3	430	нижній
3.	25	4	120	вертикальний
4.	Ст2пс	5	150	стельовий
5.	Ст2сп	6	180	нижній
6.	Ст3пс	8	200	горизонтальний
7.	Ст3сп	10	220	вертикальний
8.	09Г2	12	250	стельовий
9.	09Г2С	14	300	вертикальний
10.	12ГС	16	350	нижній
11.	16ГС	18	400	горизонтальний
Таврове з'єднання				
12.	15	2	500	стельовий
13.	20	3	450	нижній
14.	25	4	420	горизонтальний
15.	30	5	400	стельовий
16.	40	6	450	вертикальний
17.	Ст2	7	500	горизонтальний
18.	Ст3	8	360	нижній
19.	Ст5	9	340	вертикальний
20.	09Г2С	10	320	стельовий
21.	12ГС	12	270	нижній
22.	20Г	14	250	горизонтальний
23.	20Г2С	16	200	вертикальний
24.	Ст5пс	18	550	стельовий
25.	15Г	20	650	нижній

Зміст звіту

1. Види підготовки місця зварювання заготовок.
2. Способи газового зварювання і їх застосування.
3. Присадні матеріали для газового зварювання.
4. Складові режими газового зварювання.
5. Розроблення технології і режиму газового зварювання за завданням.

Контрольні запитання.

1. Як підготовляють місця зварювання заготовок залежно від їх товщини? 2. Які є способи газового зварювання і коли їх використовують? 3. Марки дроту для зварювання сталей. 4. Назвати складові режими газового зварювання. 5. Як вибрати діаметр присадного дроту? 6. Чим забезпечується необхідна потужність газового полум'я? 7. Які є види газового полум'я і коли їх використовують?

Лабораторна робота 32

Контроль якості зварних з'єднань

Мета роботи: освоїти методику контролю якості зварних з'єднань і виявити дефекти контрольних зварних зразків.

Обладнання та матеріали: розривна машина, лабораторний прес, пристрої для згину зразків, зразки на розтяг та згин (суцільні та зварні), штангенциркуль, кутомір, крейдова обмазка, гас.

Теоретичні відомості

Роботоздатність зварних з'єднань і зварних конструкцій визначається якістю зварних швів. Під час зварювання здебільшого утворюються різні дефекти внаслідок порушення технології процесу, недостатньої кваліфікації зварника, неякісної підготовки зварних кромок.

Дефектами зварних швів є відхилення від вимог креслення і технологічного процесу зварювання, що погіршує якість зварного з'єднання (механічні властивості, герметичність). Дефекти бувають зовнішні і внутрішні (рис. 32.1). До зовнішніх дефектів належать невідповідність геометричних розмірів шва, подрізи, напливи, шлакові вкраплення, тріщини, кратери. Внутрішніми дефектами є непровари, пористість, тріщини, шлакові вкраплення.

Подрізи - зменшення товщини основного металу в зоні переходу від основного металу до наплавленого шва (рис. 32.1,а).

Нeproвари - незаплавлені частини кромок зварних заготовок (рис. 32.1, з,д).

Напливи - натікання розплавленого металу шва на недостатньо прогріту поверхню заготовки (рис. 32.1, в,з).

Розділ 6

Шлакові вкраплення у зварному шві показано на рис. 32.1, б, д.

Зовнішні і внутрішні тріщини — на рис. 32.1, е.

Пористість шва — наявність газових раковин — на рис. 32.1, е.

Невідповідність геометричних форм шва — відхилення по ширині й висоті шва через порушення режиму зварювання і незадовільної підготовки кромок зварних заготовок (рис. 32.1, ж).

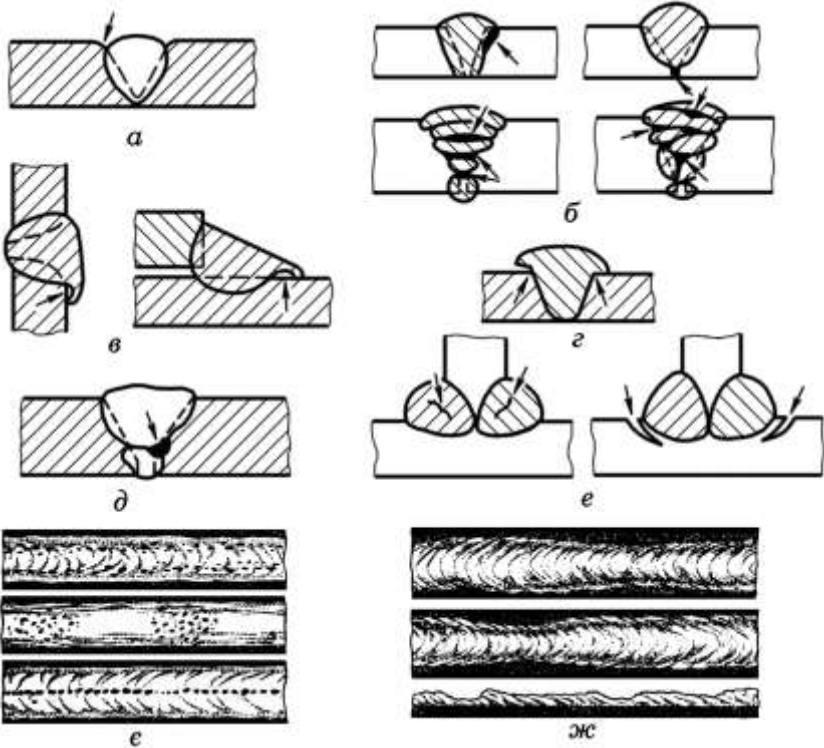


Рис. 32.1. Дефекти зварних швів:

а — підріз; *б* — непровар і шлакові вкраплення; *в, г* — напливи і непровар; *д* — непровар і шлакові вкраплення; *е* — тріщини; *є* — пористість шва; *ж* — дефекти форми шва

На всіх стадіях виконання зварних робіт слід проводити систематичний поопераційний контроль до зварювання, в процесі зварювання і після його закінчення. Контроль проводять зовнішнім оглядом, випробуванням на механічні властивості, герметичність, вивченням макроструктури і мікроструктури, просвічуванням рентгенівським випромінюванням, ультразвуком тощо.

Послідовність виконання роботи

Ознайомившись із методикою і приладами для виконання роботи, студенти під керівництвом викладача приступають до її виконання у певній послідовності.

Контроль механічних властивостей зварних швів. Випробування на розтяг проводять у лабораторії для визначення механічних властивостей основного металу і зони зварного шва (твердість, міцність на розтяг, на згин, ударну в'язкість), використовуючи відповідне обладнання.

Для визначення міцності на розтяг і згин використовують спеціальні зразки (рис. 32.2, табл. 32.1).

Розміри зразків для визначення міцності зварних з'єднань

Таблиця 32.1

Товщина зразка S , мм	Ширина робочої частини зразка b , мм	Довжина робочої частини зразка l , мм
До 4,5	$15 \pm 0,5$	50
4,5...10	$20 \pm 0,5$	60
10...25	$25 \pm 0,5$	70

Загальна довжина зразка, мм,

$$L = l + 2h, \quad (32.1)$$

де: l — довжина робочої частини зразка, мм;

h — довжина захоплювальної частини зразка, мм.

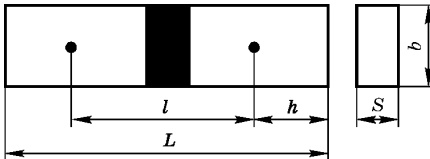


Рис. 32.2. Зразок із зварним швом для випробування на розтяг у двох проекціях

Перед випробуванням із зварних зразків механічним способом (фрезеруванням, шліфуванням) знімають верхній шар шва, який виступає над основним металом. Гострі кути закругляють до радіуса не більше ніж 1,0 мм.

Зразки, суцільні та зварені електродуговим і газовим зварюванням, випробовують на розтяг у такій послідовності:

1. Вимірюють штангенциркулем з точністю до 0,1 мм ширину і товщину зразка й розраховують його площу перерізу, мм,

$$F = bS. \quad (32.2)$$

2. На розривній машині розтягують зразок і визначають граничну міцність, МПа,

$$\sigma_m = \frac{P}{F}, \quad (32.3)$$

де: P — максимальне зусилля, при якому розірвався зразок, H (кгс).

Розділ 6

3. Досліджують місце зварювання (шов, зону термічного впливу, основний метал) і характер поверхні руйнування, виявляють дефекти у зламі зварного з'єднання.

4. Порівнюють результати випробувань не менше ніж трьох зразків кожного виду і складають висновок про вплив способу зварювання на міцність при розтягу. Результати досліджень заносять у протокол випробувань (табл. 32.2).

Протокол випробувань зварних з'єднань на розтяг

Таблиця 32.2.

Матеріал зразка	Площа зразка F , мм	Максимальне зусилля P , Н	Гранична міцність σ , МПа	Місце руйнування	Дефекти на поверхні злому

Випробування на згин. При випробуванні на згин форму і розміри зразків беруть відповідно до стандарту. Зразки зварюють на всю товщину заготовки. Довжину зразка визначають за залежністю

$$L = D + 2,5S + 80, \quad (32.4)$$

де: D — товщина згинальної оправки (пуансона) (рис. 32.3, a);

S — товщина заготовки, мм.

Ширину зразка беруть $b = 1,5S$, але не менше ніж 10 мм.

Верхній шар зварного шва, як і для зразків на розтяг, знімають до рівня товщини заготовки. Кромки робочої частини закругляють до радіуса, що дорівнює 0,2 товщини зразка.

Випробування здійснюють на пресі. При цьому використовують пристрій (рис. 32.3), який має дві опори з радіусом закруглення $R=4$ мм (для зразків завтовшки 2...4 мм).

Зразки випробовують на згин у такій послідовності:

1. Встановлюють зразок на пристрій для згину, як показано на рис. 32.3, a .

При цьому слід контролювати, щоб на верхні шари шва з боку його оброблення діяли сили розтягу, а згинальна оправка розміщувалася напроти середини шва.

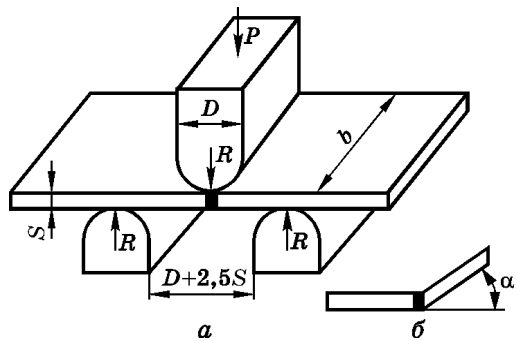


Рис. 32.3. Випробування зварного з'єднання на згин:

a — пристрій для випробування; b — вимірювання кута згину зразка

2. Згин здійснюють зі швидкістю ≤ 15 мм/с і в момент появи тріщин випробування припиняють.

3. Вимірюють кутоміром кут загину α так, як показано на рис. 32.3, б. Кут згину встановлюються за технічними умовами для зварних виробів, вирізаних з певних матеріалів. Для зразків зі сталі марки 30ХГСА у нормалізованому стані, вирізаних з кисневих балонів, кут згину має становити не менш як 45° .

4. Виявляють дефекти на зігнутих зразках в місцях утворення тріщин.

5. За результатами випробувань складають висновки про вплив способу зварювання на пластичність металу шва. Результати випробувань заносять у протокол (табл. 32.3).

Протокол результатів випробувань

Таблиця 32.3

Матеріал зразка	Спосіб зварювання	Кут згину зразка при появі першої тріщини	Дефекти в місцях утворення тріщин

Випробування на щільність зварного шва. Щільність зварних з'єднань перевіряють повітрям (газовим) або гідравлічним тиском, а також гасовою пробою. У перших двох випадках дефектні місця визначають за появою бульбашок повітря або течією води. При гасовій пробі зварний шов з одного боку покривають обмазкою з крейди, а з протилежного змочують гасом. Якщо зварне з'єднання нещільне, то на крейдяній обмазці виступають плями гасу.

Контроль щільності зварних з'єднань виконують у такій послідовності:

1. Щіткою на зовнішній бік зварного з'єднання з листової сталі, виконаного у стик або внапусток, наносять обмазку з крейди. Для приготування обмазки беруть 500...600 г крейди на 1 л води.

2. Висушують нанесену обмазку, а потім щіткою протилежний бік зварного з'єднання змочують гасом. Щоб краще виявити дефекти, гас підфарбовують фарбою «Судан» (1 г фарби на 1 л гасу).

3. Через 3...5 хв після змочування гасом покрити крейдяною обмазкою поверхню оглядають. Щілини виявляють за появою жирових плям на поверхні зварного з'єднання, покритої крейдою. Ці місця позначають олівцем.

4. Виявлені дефекти вивчають і визначають способи їх усунення.

5. Результати випробувань заносять у протокол (табл. 32.4).

Протокол результатів випробувань на щільність шва

Таблиця 32.4

Матеріал зразка	Спосіб зварювання	Характер дефекту	Причина виникнення дефекту	Висновок про придатність зразка і спосіб усунення дефекту

Розділ 6

Зміст звіту

1. Мета роботи
2. Теоретичні відомості.
3. Результати експерименту.
4. Висновки.

Контрольні запитання і завдання. 1. Перерахуйте види дефектів зварного шва. 2. Які методи контролю використовують для виявлення дефектів зварного шва? 3. Як визначають герметичність зварного шва? 4. Що вивчають при визначенні якості зварного шва? 5. Як визначають кут згину зварного зразка?

Лабораторна робота № 33

Технологічні випробування матеріалів

Мета роботи: Ознайомитись з технологічними властивостями конструкційних матеріалів, методами їх визначення; конструкцією обладнання і пристроїв, що використовують; набути практичні навички з проведення технологічних випробувань.

Обладнання та матеріали: розривна машина, механічний чи гідравлічний прес, молот, пристрої для випробування на перегинання листів (стрічок), пристрій на перегинання дроту; випробування прокату, труб, зварних швів; оправки для загинання пластин, оправки для витискування листового матеріалу за Еріксоном; конусні оправки для роздавання труб, ливарна форма для визначення рідкотекучості сплаву.

Теоретичні відомості

Технологічні властивості металів і сплавів характеризують їхню здатність піддаватися різним способам гарячої і холодної обробки: литтю, обробці тиском, термообробці, зварюванню, різанню та ін..

Ливарні властивості матеріалу визначають його здатність до переробки в рідкому стані з метою отримання виливків заданих розмірів, форми та властивостей.

Показники ливарних властивостей:

- *рідкотекучість* - здатність розплавлених матеріалів, в основному металів (сплавів), заповнювати ливарну форму;
- *усадка* - зменшення лінійних розмірів і об'єму матеріалів в процесі кристалізації металів та сплавів, а також твердіння полімерних матеріалів
- *газопоглинання* — здатність ливарних сплавів розчиняти водень, азот, кисень та інші гази у розплавленому стані;
- *схильність до ліквіації* - схильність до утворень неоднорідності хімічного складу сплаву в різних частинах виливка.

Визначення ливарних властивостей проводяться випробуваннями на рідкотекучість, усадку, схильність до ліквіації.

Деформівність (оброблюваність тиском) - це здатність матеріалу сприймати пластичну деформацію без порушення цілісності в процесі формозміни тиском в холодному або гарячому стані. Цю властивість враховують при вальцюванні, куванні, волочинні, штампуванні та інших видах обробки матеріалів. Деформівність заготовки при пресуванні, вальцюванні, штампуванні, волочинні тощо називається, відповідно, пресованістю, вальцюваністю, штампованістю, протягуваністю і т. д.

Термін «Ковкість», виходячи із технологічних основ кування, у більшій мірі відноситься до здатності матеріалу деформуватися при стисненні, це часто характеризуються здатністю матеріалу до набуття форми тонких пластин при куванні чи вальцюванні. Деформівність і ковкість не завжди корелюють одна з одною: наприклад, золото і деформівних і ковкий метал, тоді як свинець проявляє себе лише як ковкий матеріал. Дуже часто термін «деформівність» через схожість використовується стосовно до обох концепцій. Коли треба підтвердити, що деформівність вживається у смислі «ковкість» часто вживають поняття «технологічна деформівність» як сукупність деформівності, опору деформації та інших технологічних характеристик в умовах конкретного процесу обробки тиском.

Показники деформівності:

- ступінь деформації (відносна деформація);
- швидкість деформації;
- температура деформації.

Визначення показників деформівності проводять випробуваннями на згин, на перегин, осадку, видавлювання, твердість тощо.

Термооброблюваність - це здатність металів або сплавів набувати заданого рівня механічних та технологічних властивостей в процесі нагрівання, витримки та охолодження за певних режимів та у відповідних середовищах. Показники термооброблюваності:

- *загартовуваність* - характеризує здатність металу (сплаву) до підвищення твердості при гартуванні;
- *прогартуваність* - глибина проникнення загартованої зони;
- *схильність до росту зерна* під впливом високих температур.

Визначають ці показники: випробуванням на твердість, ударну в'язкість, визначенням прогартуваності методом торцевого гартування, характером зламу.

Зварюваність визначає властивість матеріалу утворювати нероз'ємне з'єднання, якість якого відповідає суцільному матеріалу. Металевий матеріал вважається зварним до встановленого ступеня даним способом, якщо за відповідної технології зварювання досягається суцільність металу, яка гарантує

Розділ 6

відповідність вимогам до зварних з'єднань, як щодо їх власних властивостей, так і щодо їхнього впливу на конструкцію, складовою частиною якої вони є. З цього визначення випливає, що зварюваність залежить від чотирьох параметрів: матеріалу, технологічного процесу, типу конструкції і її функціонального призначення.

Показники зварюваності:

- міцність зварного з'єднання;
- опір тріщиноутворенню тощо.

Способи визначення зварюваності: випробування зварного з'єднання на міцність, твердість та ударну в'язкість.

Здатність до паяння – це властивість матеріалу утворювати паяне з'єднання з потрібною міцністю, пластичністю, герметичністю, електропровідністю, корозійною стійкістю тощо.

На здатність до паяння впливає низка факторів, які можна поділити на три групи:

- *фізико-хімічні* (фізико-хімічні властивості матеріалів, вплив флюсувальних середовищ, умови і характер кристалізації при паянні),
- *технологічні* (стан поверхні перед паянням, спосіб видалення окисної плівки, режим паяння, обробка паяних з'єднань тощо),
- конструктивні (геометричні параметри і розташування паяних з'єднань у виробі).

Для оцінки здатності до паяння використовують різні методи випробувань та контролю:

- метод визначення змочування матеріалів припоями;
- метод визначення заповнення зазору припоєм;
- метод визначення ерозії паяного матеріалу;
- метод виявлення і визначення товщини прошарку хімічної сполуки;
- метод визначення температури розпаювання;
- метод випробувань для оцінки впливу рідкого припою на механічні властивості паяного матеріалу;
- механічні випробування;
- методи неруйнівного контролю якості та інші.

Оброблюваність різанням визначає при обробленні матеріалу різанням його опір стружкоутворенню при заданих параметрах шорсткості, точності та якості оброблених поверхонь. Показники оброблюваності різанням:

- продуктивність оброблення;
- вид стружки.
- шорсткість поверхні;
- точність розмірів;
- допустима швидкість та сила різання.

Визначення показників: випробування на оброблюваність різанням, на твердість, на ударну в'язкість.

Електрофізична та електрохімічна оброблюваність матеріалу визначає його здатність до розплавлення та випаровування під дією електричного розряду або розчинення в електроліті при електролізі. Показники оброблюваності електрофізичними та електрохімічними методами поділяються на:

- електроерозійні;
- електрохімічні;
- променеві.

Визначення параметрів: шорсткість поверхні, продуктивність обробки.

Металокерамічна технологічність визначає здатність матеріалу до утворення порошкових формовок та спечених виробів. Показники:

- текучість порошків;
- пресуємість;
- здатність до спікання.

Визначення показників: випробування на текучість, пресуємість та здатність до спікання.

Технологічні властивості матеріалу зумовлюють застосування відповідних методів їх обробки. Так, основним ливарним сплавом є чавун завдяки його ливарним властивостям; сталь же головним чином обробляють тиском; низьковуглецева сталь добре зварюється, але вона не може зміцнюватись гартуванням, високовуглецева сталь - навпаки. Проблеми надійності функціонування технологічних процесів, їх безвідходності та перспективності вирішуються на основі достовірної оцінки оброблюваності матеріалів. Таку оцінку отримують шляхом вимірювань, технологічних випробовувань та проб. Ними визначають ступінь оброблюваності матеріалу тим чи іншим способом.

Технологічні проби

Найпростіший метод оцінки властивостей оброблюваного матеріалу у виробничих умовах є метод технологічних проб. Його суть полягає в тому, що зразки матеріалу піддають технологічному впливу за видом оброблення за умов, які аналогічні або близькі до умов реальних технологій виготовлення виробів. Якість проби визначається відсутністю ознак браку – тріщин, розшарувань, зламів та інших дефектів, а також за оптимальністю режиму випробування. Багато проб нормалізовані відповідним ДСТУ.

Проби на оброблюваність тиском.

1. Проба на осаджування прутків, дроту чорних металів і сплавів, алюмінієвих сплавів призначена для визначення їх придатності до деформування, а також для виявлення дефектів поверхні виробів у холодному (завтовшки до 30 мм) або гарячому (завтовшки 5...150 мм) станах. Зразки діаметром, що дорівнює діаметру виробу, випробують осаджуванням під пресом або мо-

Розділ 6

лотом. Довжина зразка повинна дорівнювати двом діаметрам для чорних металів і півтора діаметра для алюмінієвих сплавів. Ступінь деформації під час осаджування приймають: 50, 65 та 75% для чорних металів і 50% для алюмінієвих сплавів.

Пробу на розплющування в гарячому та холодному станах проводять, щоб визначити здатність деформуватися та виявити дефекти поверхні напівфабрикатів, які постачають як штабики, стрічки, листи та заклепки. Ширина зразків зі стручок та листів має бути втричі більшою від товщини. Зразки зі стрижнів виготовляють заввишки у 2,2 рази більшими за їх діаметр. Зразки випробовують під пресом, механічним або гідравлічним молотом до одержання розмірів, встановлених стандартом на виріб. Матеріал вважають придатним для виготовлення виробу, якщо на поверхні випробуваних зразків відсутні тріщини та надриви.

Проба за Еріксоном призначена для порівняння пластичності листових матеріалів та визначення їх придатності до витягування, об'ємних виробів, з плоскої заготовки, тиском. Випробування на видавлювання (витагування) ямки у вигляді кульки проводять за стандартом. Ця технологічна проба є основним способом випробування тонкого листа та стрічки завтовшки 0,1...2,0 мм зі сплавів чорних та кольорових металів. Зразок листового матеріалу 3 затискають притискачем 2 на ручному приладі й витискають ямку пуансоном зі сферичним наконечником (рис. 33.1, а).

Залежно від товщини листа вибирають номер та діаметр пуансона 1, матриці 4 та притискача 2. Показником пластичності та здатності матеріалу до витягування є глибина витиснутої ямки h , яка відповідає початку зменшення зусилля витискання та утворення тріщини (рис. 33.1, б). Якісний матеріал повинен забезпечити глибину утвореної ямки не нижче норм наведених в табл. 33.1.

Як результат випробування визначають також форму розриву та будову поверхні матеріалу поблизу вершини ямки. Форма тріщини засвідчує ступінь анізотропії листового матеріалу: відривання по колу свідчить про однаковість властивостей листа в різних напрямках, а по прямій - про наявність анізотропії. Чиста, без ліній ковзання, поверхня ковпачка є ознакою дрібнозернистої структури металу. Шорстку поверхню дає метал з грубозернистою структурою.

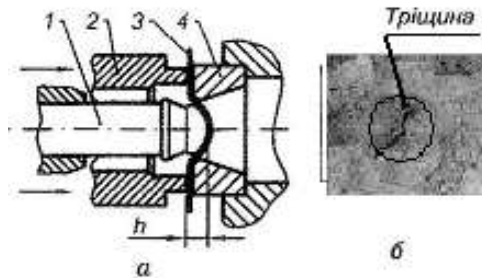


Рис. 33.1. Схема випробування листового металу на витискування за Еріксоном - (а) та вигляд ямки, що утворилася (б)

Глибини витискування в залежності від товщини матеріалу

Таблиця 33. 1

Матеріал	Товщина, мм									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Латунь	11,3	12,2	12,7	13,0	13,3	13,5	13,7	13,8	14,1	14,3
Мідь	9,6	10,5	11,1	11,4	11,8	12,1	12,3	12,6	12,8	13,0
Сталева стрічка	8,6	9,5	10,1	10,6	11,0	11,4	11,8	12,1	12,3	12,5
Сталь листова	7,3	8,3	9,5	10,1	10,6	10,9	11,3	11,3	11,7	12,2
Алюміній листовий	7,6	8,7	9,2	9,5	9,9	10,2	10,7	11,1	11,2	11,7
Жерсть біла	6,2	7,5	8,3	8,9	9,5	9,9	10,3	10,8	11,2	11,6

Проба на перегинання характеризує здатність матеріалу витримувати повторні згинання та розгинання. Умови випробувань листів та стрічки

завтовшки близько 4 мм регламентує стандарт, за іншим стандартом проводять технологічну пробу на перегинання дроту та прутків завтовшки 0,8...7,0 мм.

Для випробувань на згин зразків, виготовлених з листів та стрічки, використовують спеціальний пристрій (рис. 33.2).

Розміри R , a та b призначають згідно з технічними умовами на металопродукцію або стандартом.

Випробування полягає у визначенні кількості повторних згинань та розгинань зразка, затиснутого між губками лещат у пристрої (рис. 33.2). З листів завтовшки до 4 мм і стрічки виготовляють зразки завширшки 20 мм та завдовжки 100...150 мм. Якщо використовують стрічку або смугу завширшки до 20 мм, то ширина зразка дорівнює ширині заготовки в стані постачання.

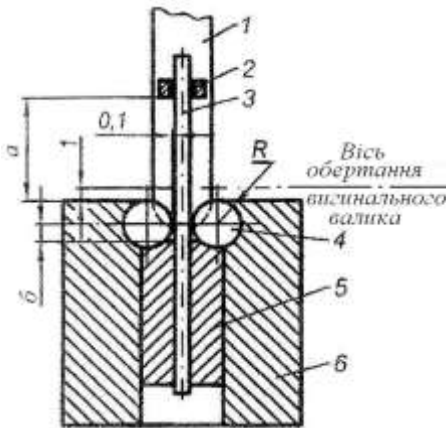


Рис. 33.2. Пристрій для випробування на перегинання: 1 - важіль; 2 - змінний хомутик; 3 - зразок; 4 - змінні валіки; 5 - змінні губки; 6 - лещата; R - радіус валіків; a - відстань від нижнього краю хомутика до верхньої твірної валіків; b - відстань від верхньої грані губок до лінії, що з'єднує центри валіків

Спочатку зразок вигинають вправо або вліво на 90° , а потім на 180° — у протилежні боки зі швидкістю не більше 60 згинів за 1 хв. Згинання проводять до ламання або до заданої кількості згинів, які встановлені технічними умовами. У разі згинання до наперед заданої кількості зги-

Розділ 6

нів оглядають ребра та зовнішню поверхню зразка в місці деформування. У протоколі випробувань зазначають, чи витримав зразок задану кількість згинів або ж кількість згинів до появи тріщини чи його руйнування.

Випробування труб на роздавання полягає у втисканні оправки з кутом конусності α , що дорівнює 30° , 45° , 60° , 90° , 120° , в патрубок труби (рис. 33.3. а).

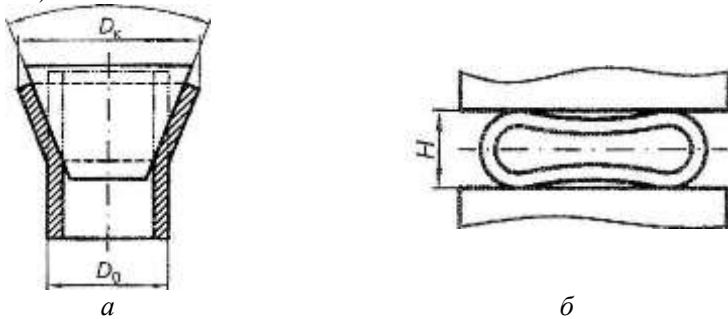


Рис. 33.3. Схеми випробування труб:
а - на роздавання конусом; б - сплющуванням

Для випробувань використовують зразки завдовжки $1,5D_o$ за кута конусності оправки 30° та $2D_o$ — за кута понад 30° (тут D_o — зовнішній діаметр труби).

Зразок випробовують плавним роздаванням до одержання на його торці заданого зовнішнього діаметра D_k . Ознакою того, що зразок труби витримав випробування, є відсутність тріщин і надривів на зовнішній поверхні труби після роздавання. Значення роздачі X у відсотках розраховують з точністю 0,5% за формулою:

$$X = (D_k - D_o) / D_o \cdot 100\% \quad (33.1)$$

Випробування труб на сплющування проводять з метою визначення здатності виробу сприймати заданий ступінь деформації в тангенціальному напрямі під дією зусилля, що створюється молотом, пресом або молотком. Спосіб деформування в гарячому або холодному стані визначається технічними умовами на виріб. Вважають, що зразок витримав випробування, якщо після наближення поверхонь стискання на задану величину H на ньому візуально не виявлені порушення суцільності металу на зовнішній та внутрішній поверхнях труби (рис. 33.3, б).

Проба на рідкотекучість полягає в заливанні рідкого металу в ливарну форму, що має порожнини у вигляді каналів. Ступінь заповнення розплавом каналів характеризує його рідкотекучість; Існує декілька видів ливарних форм для технологічного випробування на рідкотекучість:

сталого перерізу (спіральна, пруткова, лабіринтна, U-подібна, гвинтова); *змінного перерізу* (клинова, куляста); *комбіновані*. У випадку визначення рідкотекучості за допомогою проб сталого перерізу (круглого та трапецієдного) довжину та площу перерізу форми встановлюють такими, щоб метал до моменту зупинки не заповнив усю її порожнину. Рідкотекучість сплаву оцінюють за довжиною шляху в міліметрах, на який розповсюдився метал у формі.

Найпоширенішою є проба, яку виконують заливанням розплаву металу в *спіральну форму Керрі* (рис. 33.4).

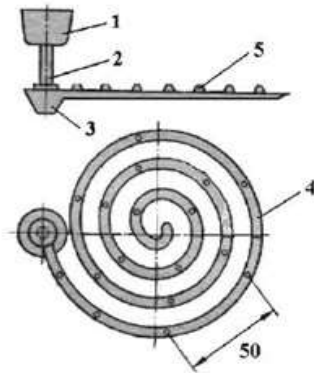


Рис. 33.4 . Технологічна спіральна проба (спіраль Керрі):

1 - чаша, 2 - стояк, 3 - металоприймач, 4 - спіральний канал, 5 - виступи

Ливарну форму проби виготовляють у двох опоках і встановлюють під заливання горизонтально за рівнем. Через ливникову систему 1,2 (рис. 33.4) розплавлений метал надходить до порожнини форми.

Конструкція ливникової системи повинна забезпечувати надходження металу з певною постійною швидкістю. Рідкотекучість визначають за шляхом, пройденому рідким металом до затвердіння, тобто по довжині прутка. Невеликі виступи, нанесені через 50 мм полегшують вимір довжини спіралі (прутка) (рис. 33.4).

Спіральний канал дозволяє отримати довгі прутки в порівняно невеликих формах

Проба на міцність зварного з'єднання дозволяє оцінити зварюваність різних матеріалів. Для цього зразки зварюються заданим швом.

Зварне з'єднання піддають випробуванню на згин до заданого кута, наприклад, 90°. Фіксується кут згину, при якому з'являються тріщини або відбувається руйнування з'єднання. Результати порівнюють з даними подібних випробувань основного матеріалу.

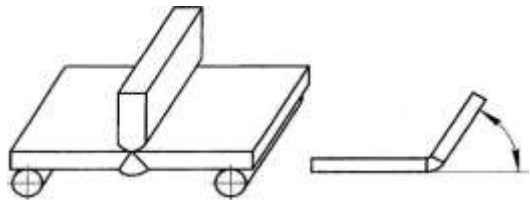


Рис. 33.5. Схема випробування зварних швів на згин

Розділ 6

Зварюваність оцінюється відношенням кутів згину, при яких утворюються тріщини, у вигляді коефіцієнта:

$$K_{зв} = a_x / a_o, \quad (33.2)$$

де: a_x - кут згину зварного з'єднання;
 a_o - кут згину основного матеріалу.

Випробування виконують на спеціальних пристроях або в лещатах з заокругленими губками.

Проба на оброблюваність різанням виконується різними способами. За основу більшості з них береться порівняння оброблюваності еталону (сталь 45) та матеріалу, що випробовується.

Для класифікації матеріалу за оброблюваністю застосовують метод Кеснера, суть якого полягає в свердлінні отвору діаметром 10 мм при частоті обертання близько 400 хв^{-1} . При цьому подача свердла відбувається під дією постійного зусилля 50 кГс .

Характеристикою оброблюваності є глибина проникнення свердла в метали за 100 обертів шпинделя верстата.

Оброблюваність оцінюється коефіцієнтом, що визначається за формулою

$$K_{рвз} = (l_x / l_{45}) 100\%, \quad (33.3)$$

де: l_x - глибина отвору у випробовуваному матеріалі;
 l_{45} - глибина отвору в еталонному матеріалі.

Випробування виконуються на вертикально-свердлильному верстаті.

При випробуванні тонких матеріалів 5... 10 мм можна порівнювати час, за який просвердлюються наскрізні отвори.

Послідовність виконання роботи

Проба на перегин

1. Встановіть зразок у пристрої для випробування на перегин та затисніть у губках пристрою перпендикулярно до площини, яка проходить через вісь валиків. Початковим положенням перед випробуванням є таке, коли верхній кінець зразка проходить через паз у хомутику, який закріплений у важелі пристрою.

2. Зігніть зразок на 90° , а потім повторно згинайте на 180° у протилежні боки, рахуючи кількість перегинів. Першим перегином є загинання зразка вправо або вліво на 90° , другим — на 180° у протилежний бік, третім — на 180° у бік, протилежний попередньому, і так до руйнування зразка.

3. Випробуйте відпалені та холоднодеформовані зразки виготовлені зі сталі та міді.

4. Запишіть результати випробувань у протокол (табл. 33.2).

Протокол випробування на перегин

Таблиця 33.2

Матеріал	Структурний стан	Кількість перегинів
Сталь	наклепаний	
	відпалений	
Мідь	наклепаний	
	відпалений	

Проба труб на роздавання

1. Встановіть патрубок труби на нижній опорі гідравлічного преса.
2. Нанесіть консистентне мастило на оправку.
3. Встановіть оправку співвісно зі зразком.

Наперед розрахуйте поточне значення D_k для заданої величини роздачі X за формулою:

$$D_k = D_t \left(\frac{X}{100} + 1 \right) \quad (33.4)$$

4. Послідовно втискайте оправку у патрубок труби до одержання значень зовнішнього діаметра її торця, який відповідає наперед заданим дискретним величинам роздачі з кроком у 5%, аж до появи тріщин або надривів.

6. Запишіть результати випробувань у протоколі (табл. 33.3).

Протокол випробувань труби на роздачу

Таблиця 33.3.

Кут конусності оправки α , град.	Початковий зовнішній діаметр зразка D_o , мм	Довжина зразка L , мм	Роздача X , %	Кінцевий зовнішній діаметр зразка D_k , мм
			5	
			10	
			15	
			...	

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Сформулювати основні поняття про технологічні властивості матеріалів та методи їх випробування.
3. Оформити протоколи випробувань на перегинання листів або стрічки і дроту зі сталі та міді, труби на роздавання.

Розділ 6

4. Проаналізувати результати випробувань і зробити висновки по роботі, в яких висвітлити вплив матеріалу, його структурного стану і розмірів на результати випробувань.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте основні технологічні властивості металів. 2. За якими ознаками класифікують технологічні випробування і для чого їх проводять? 3. Які чинники впливають на розглянуті технологічні властивості? 4. За якими характеристиками оцінюють здатність металів оброблятися тиском, відливатися, загартовуватися, оброблятися різанням? 5 Яку нормативно-технічну документацію використовують під час технологічних випробувань? 6. Охарактеризуйте основні технологічні проби металів. 7. У чому полягає різниця між механічними й технологічними властивостями? 8. Якими технологічними пробами визначають придатність металу для виготовлення виробів методами оброблення тиском, та як їх проводять? 9. Які способи випробування на згинання застосовують на практиці? 10. Які умови проведення випробування труб на роздачу конусом і розплющування? 11. Охарактеризуйте способи визначення рідкотекучості ливарних сплавів. 12. Назвати проби для визначення якості зварних швів.



Розділ 7 ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

Лабораторна робота 34 Конструкція і геометрія різців

- Конструкція і геометрія різців
- Конструкція і геометрія багатолезових інструментів
- Вплив елементів режиму різання і переднього кута різця на деформацію стружки
- Вплив елементів режиму різання на складові сили різання при точінні
- Дослідження зношування різців
- Вплив параметрів режиму різання на температуру різання при точінні
- Загострювання різальних інструментів
- Будова і налагодження токарно-гвинторізного верстата
- Аналіз кінематики коробки швидкостей верстата
- Перевірка токарного верстата на точність
- Будова і налагодження універсально-фрезерного верстата і ділальної головки
- Будова і налагодження зубцефрезерного верстата 5Д32
- Будова і налагодження зубцедовального верстата
- Будова і налагодження шліфувальних верстатів

Мета роботи: вивчити конструкцію і геометричні параметри різців; отримати навички вимірювання кутів і їх розмірів.

Обладнання, матеріали та інструменти: кутоміри універсальний і настільний, кутомір Бабчиніцера, мікрометр, штангенциркуль, лінійка, макет різця з координатними площинами, набір різців.

Теретичні відомості

Конструктивні елементи і геометрія різців. Основою всіх різальних інструментів є різець (рис. 34.1, а), який складається з робочою A (головка) і кріпильною B (стрижень) частин. Робоча частина має лезо. *Лезо* — це клиноподібна частина інструменту (різця), яка заглиблюється в заготовку і здійснює різання.

На лезі розрізняють поверхні: передню A_f , яка контактує в процесі різання зі зрізуваним шаром заготовки і стружкою; головну задню A_α , яка контактує в процесі різання з оброблюваною поверхнею і примикає до головної різальної кромки леза K ; допоміжну задню A'_α , яка контактує в процесі різання з обробленою поверхнею і примикає до допоміжної різальної кромки леза K' .

Різальна кромка леза $K-K'$ утворюється перетином передньої і задніх його поверхонь. Головна різальна кромка K — частина різальної кромки, яка формує більшу сторону перерізу зрізуваного шару. Вона

утворюється перетином головної задньої і передньої поверхонь.

Допоміжна різальна кромка K' — частина різальної кромки, яка формує меншу сторону перерізу зрізаного шару. Допоміжна кромка утворюється перетином передньої і допоміжної задньої поверхонь.

Вершина різця B — ділянка різальної кромки в місці перетину двох задніх поверхонь з передньою. Вершину різця виконують закругленою радіусом r_θ , який називають радіусом кривини вершини леза.

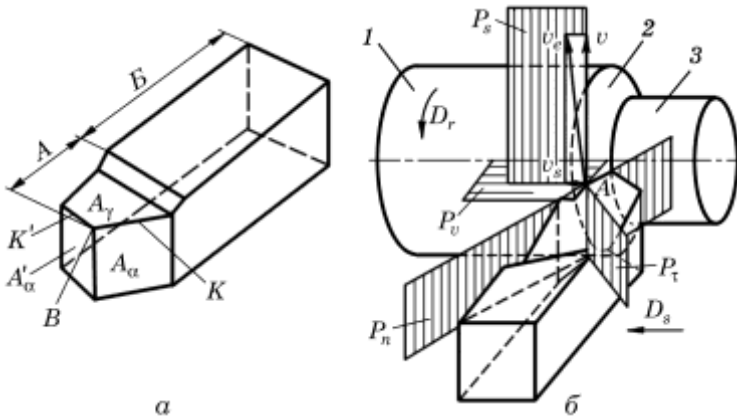


Рис. 34.1. Елементи прохідного токарного різця (а), поверхні заготовки та координатні площини (б)

Класифікація різців

Різці класифікують: за видом оброблення, матеріалом різальної частини, матеріалом робочої частини, характером оброблення, розміщенням робочої частини (головки) відносно стрижня, напрямом руху подачі, способом виготовлення, формою різця, перерізом стрижня, встановленням стрижня відносно заготовки і призначенням.

За видом оброблення розрізняють токарні, стругальні, довбальні, автоматноревольверні, розточувальні і спеціальні.

За матеріалом робочої частини розрізняють сталеві різці (з лезами з вуглецевої, легваної або швидкорізальної сталей), тврдосплавні, мінералокерамічні, алмазні та з композитних матеріалів (ельборові, гексанітові і т.п.), і з нітриду бору.

За напрямом руху подачі різці поділяють на праві і ліві 4, 6, 8 (рис. 34.2). У правих різцях головна різальна кромка знаходиться з боку великого пальця правої руки, а лівих з боку великого пальця лівої руки, покладених на різець (рис. 34.2). У процесі точіння ліві різці рухаються зліва направо (від передньої бабки до задньої), а праві справа наліво (від задньої до передньої бабки).

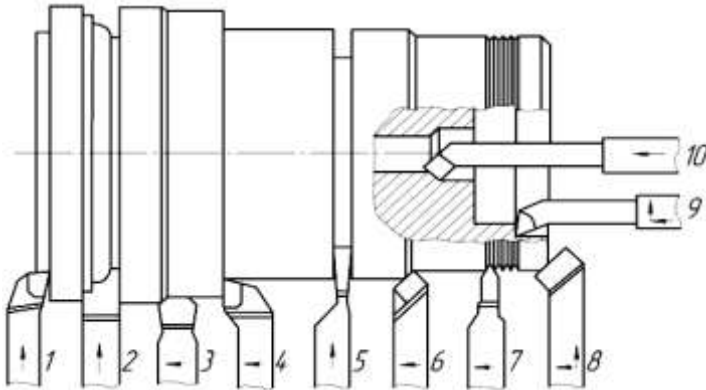


Рис. 34.2. Основні типи токарних різців (за призначенням): 1 – підрізний (лівий); 2 – фасонний, 3 – різець для чистового оброблення, 4 – прохідний упорний, 5 – відрізний і прорізний, 6 і 8 – прохідні, 7 – для нанарізи, 9 і 10 – розточувальні

За розташуванням робочої частини різця відносно стрижня – різці поділяють на прями 2, 3, 6, 7 (рис. 34.2), відігнуті ліві 1 й праві 4, 8 зігнуті вверх і вниз, відтягнуті – ліві 5, 7 симетричні 2, 3 та праві.

Ліві чи праві різці, за напрямом подачі, відігнуті або відтягнуті визначають накладанням лівої чи правої рук на різець пальцями до вершини різця, а відхилений у сторону великий палець був направлений, відповідно, у напрямі головної різальної кромки, відгину головки різця відносно стрижня або відтягування головки різця відносно стрижня (лівий, симетричний, правий).

За способом виготовлення розрізняють: *цілісні* (головка і стрижень виготовлені з одного й того ж матеріалу) і *збірні* – з привареною, припаяною, або механічно-закріпленою пластиною, чи вставкою з пластиною. Цілісні різці виготовляють невеликих розмірів із швидкорізальних сталей і застосовують у точному машинобудуванні і приладобудуванні. З метою економії дорогих інструментальних матеріалів леза різців виготовляють з інструментального матеріалу, а крипильну частину – з конструкційних сталей.

За формою різці є стрижневі, призматичні і дискові.

За перерізом *стрижня* різці виготовляють прямокутні, квадратні і круглі.

За встановленням *стрижня різця* відносно *заготовки* є радіальні і тангенціальні різці. Радіальні, найпоширеніші, їх встановлюють по радіусу до осі *заготовки*. Тангенціальні встановлюються по дотичній до *заготовки* і застосовуються на токарних автоматах і напівавтоматах.

За *призначенням* токарні різці (рис. 34.2) поділяють на прохідні 3, 6, 8, прохідні упорні 4, підрізні 1, розточувальні 9 (для глухих отворів) і 10 (для наскрізних отворів), відрізні і канавкові 5, фасонні 2 і для нарізі 7.

За *характером операцій, що виконуються*, різці (рис. 34.2) є чорнові 6 і чистові 3. Геометричні параметри різальної частини цих різців такі, що вони пристосовані до роботи з великою і малою площею перерізу шару, що зрізується. Прокідні прямі 6 і відігнуті 8 різці застосовують для оброблення циліндричних і конічних поверхонь.

Поверхні заготовки і координатні площини

При обробленні різанням на *заготовці* розрізняють такі поверхні (рис. 34.1, б): оброблювану 1, яка частково чи повністю видаляється під час оброблення; оброблену 3, утворену на *заготовці* в результаті оброблення; поверхню різання 2, утворену різальною кромкою при результуючому русі різання.

Для визначення геометричних параметрів інструментів застосовують три координатні площини: основну P_v , площину різання P_n , січну площину P_τ (див. рис. 34.1, б) та робочу площину P_S . Основна площина P_v — координатна площина, проведена через розглядувану точку різальної кромки A перпендикулярно до напрямку швидкості головного або результуючого руху різання в цій точці. Площина різання P_n — координатна площина дотична до різальної кромки в розглядуваній точці і перпендикулярна до основної площини. Головна січна площина P_τ — координатна площина, перпендикулярна до лінії перетину основної площини і площини різання. Робоча площина P_S — площина, в якій розміщені напрямки швидкостей руху різання і руху подачі.

Кути леза різця

Кути різця (інструменту) розглядають в основній площині (кути в плані), січних (головній і допоміжній) і в площині різання (рис. 34.3).

Кути в основній площині:

φ — головний кут у плані різця — кут між площиною різання P_n і робочою площиною P_S ;

φ_1 — допоміжний кут у плані — кут між допоміжною площиною різання P'_n і робочою площиною P_s .

ε — кут при вершині леза — кут між головною P_n і допоміжною P'_n площинами різання. Сума кутів $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$.

Кути в головній січній площині:

γ — передній кут — кут між передньою поверхнею леза інструменту і основою площинною;

α — головний задній кут — кут між головною задньою поверхнею леза і площиною різання;

β — кут загострення — кут між передньою і головною задньою поверхнями леза;

δ — кут різання — утворюється передньою поверхнею леза і площиною різання.

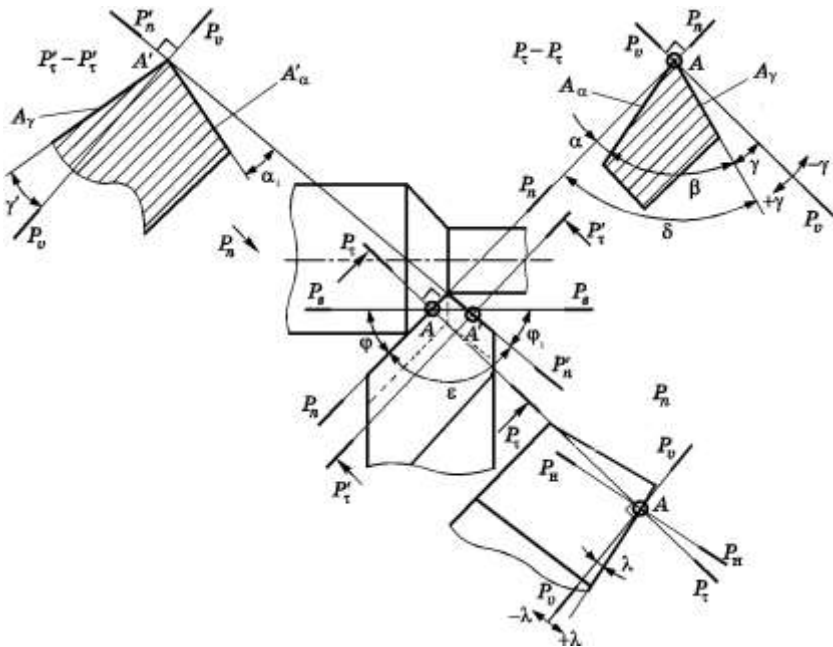


Рис. 34.3. Кути різця в статичі

Сума кутів $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Умовно приймають, що кут γ може бути додатним і від'ємним. Від'ємний передній кут ($-\gamma$) буде при куті різання $\delta > 90^\circ$, тобто витримується умова $\alpha + \beta + (-\gamma) = 90^\circ$.

Іноді кути α і γ розглядають у нормальній січній площині P_H , яка проходить перпендикулярно до різальної кромки.

У площині різання розглядають *кут нахилу кромки* λ — кут між різальною кромкою або дотичною до неї і основною площиною.

Кути різальної частини різця впливають на процес різання. Задні кути α і α_1 зменшують тертя між задніми поверхнями леза різця і поверхнями оброблюваної заготовки, що знижує сили різання і зменшує зношування леза. При обробленні сталевих і чавунних деталей рекомендується α і α_1 брати $6...12^\circ$.

Збільшення переднього кута γ зменшує роботу різання і шорсткість обробленої поверхні та краще сходять стружка.

У разі оброблення сталей з $\sigma_B < 1000$ МПа, $\gamma = 10...25^\circ$, чавунів і мідних сплавів $\gamma = 5...12^\circ$, а при обробленні дуже твердих сталей різцями з пластинами із твердих сплавів з $\sigma_B > 1000$ МПа, $\gamma = -(5...10)^\circ$.

Головний кут у плані ϕ визначає співвідношення між радіальною і осьюовою складовими сили різання, впливає на стійкість різця. Із зменшенням ϕ зменшується шорсткість обробленої поверхні. Залежно від умов роботи беруть $\phi = 30...90^\circ$. Найпоширенішими є прохідні різці з $\phi = 45^\circ$. Допоміжний кут у плані $\phi_1 = 0...45^\circ$, найпоширеніший $\phi_1 = 12...15^\circ$.

Кут нахилу головної різальної кромки λ визначає напрямок сходу стружки. При додатному куті стружка сходить на оброблену поверхню, а при від'ємному λ — на оброблювану. Кут λ становить $+15...-10^\circ$. При чистовому обробленні кут λ не рекомендується брати додатним, оскільки стружка, яка сходить, збільшує шорсткість обробленої поверхні.

Вимірювання кутів різця

Для вимірювання кутів різця використовують універсальний кутомір. Настільний універсальний кутомір (рис. 34.4) складається з основи 1 і стояка 5, по якому переміщується вимірювальний блок 14, і може повертатися навколо нього. В потрібному положенні пристрій закріплюють фіксатором 13. Блок має три пристрої для вимірювання кутів: ϕ і ϕ_1 у плані різця — 15, кутів α і γ в головній січній площині 2 і кута λ нахилу головної різальної кромки — 7.

Вимірювальні пристрої мають пластини 11, 3, 8 з шкалами і поворотні лінійки 12, 4, 9 з трьома ніжками. Одна з ніжок поворотних лінійок має риску на її

кінці для відліку величини кутів: 12 – кутів φ і φ_1 ; 4 – кутів α і γ і 9 – кута λ , за відповідною шкалою: 11 – кутів φ і φ_1 ; 3 – кутів α і γ і 8 – кута λ . Дві інші ніжки поворотних лінійок суміщають з поверхнями або різальними кромками лева різця. Поворотні лінійки в необхідному положенні фіксують гайками. В попере- речних пазах 10 основи 1 ставиться установочна планка 6, яка забезпечує прави- льне встановлення різця при вимірюванні кутів φ і φ_1 .

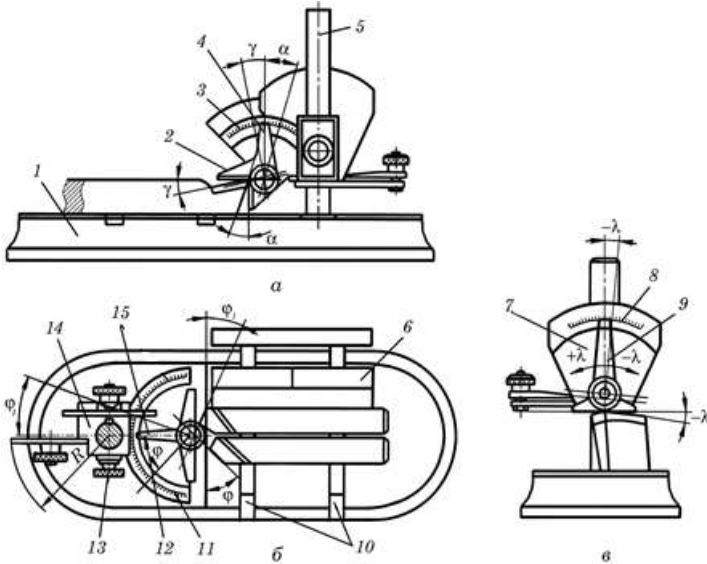


Рис. 34.4. Універсальний кутомір для вимірювання кутів різця:
 а — кутів α і γ ; б — кутів φ і φ_1 ; в — кута λ

Для вимірювання кутів α і γ блок 14 розміщують так, щоб ніжки поворотної лінійки 4 були перпендикулярні до головної різальної кромки різця (дивлячись зверху), встановленого на площині основи кутоміра (рис. 34.4, а). Притискуючи ніжки ножа 4 послідовно до головної задньої і передньої поверхонь, за шкалою 3 вимірюють відповідно значення кутів α і γ .

Кути φ і φ_1 вимірюють, коли вимірювальний пристрій 11 розміщується з боку головки різця, притиснутого до планки 6 (рис. 34.4, б). Блок 11 виставляють так, щоб ніжки поворотної лінійки 15 були на рівні різальних кромки різця.

Притискуючи ніжки лінійки 15 до головної і допоміжної різальних кромки, вимірюють відповідно кути φ і φ_1 .

Для вимірювання кута нахилу головної різальної кромки λ використовують вимірювальний пристрій 7 (рис. 34.3, в). Блок 14 і різець встановлюють так, щоб ніжки вимірювального пристрою 7 торкалися головної різальної кромки і були паралельні або дотичні до неї. Риска на ножі 9 показує на шкалі значення вимірюваного кута. Якщо ніж з рискою повернутий за часовою стрілкою від “0” шкали 8, то λ від’ємний, а якщо проти часової – λ додатній.

При вимірюванні кутів різців між ними слід використовувати такі співвідношення: $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$; $\alpha + \beta = \delta$; $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$.

Послідовність виконання роботи:

1. Розглянути набір різців, визначитись з їх назвою за призначенням, поверхнями, кромками і кутами леза кожного різця.

2. Виміряти довжину різців L , ширину B і висоту H кріпильної частини (стрижня) і результати занести до табл. 34.1.

Розміри і кути різців

Таблиця 34.1

Назва різця	Розміри, мм			Кути, град.							
	L	B	H	α	β	γ	δ	φ	φ_1	ε	λ

3. Виміряти величину кутів різців кутоміром і результати занести до табл. 34.1.

4. Дати ескізи прохідного, прохідного упорного, відрізного, підрізного і розточувального різців, з позначенням напрямів руху, поверхонь леза і заготовки, площин і кутів. Описати кожен різець за ознаками класифікації.

Зміст звіту

1. Конструктивні елементи поверхні і кромки леза різця, їх позначення і визначення. Вказати ознаку передньої поверхні.

2. Поверхні заготовки і площини для визначення кутів леза різця. Дати їх позначення і визначення.

3. Класифікація різців.

4. Ескізи розглянутих різців з координатними площинами, поверхнями заготовки і кутами. Опис різців згідно з класифікацією.
5. Результати вимірювань розмірів і кутів різців.

Контрольні запитання. **1.** Назвати основні частини різця(інструменту), елементи лека і їх визначення. **2.** Що є ознакою передньої поверхні лека інструменту? **3.** Назвати поверхні заготовки при різанні і їх визначення. **4.** Які площини використовують для визначення кутів лека різця (інструменту) та їх визначення? **5.** Між чим вимірюються кути лека різця в основній площині (у плані), їх назви? **6.** Назвати кути лека різця в головній січній площині, дати їх визначення і на що впливають. **7.** Які величини кутів лека токарних різців? **8.** Дайте класифікацію токарних різців. **9.** Як вимірюють кути різця універсальним кутоміром?

Лабораторна робота 35

Конструкція і геометрія багатолезових інструментів

Мета роботи. Вивчити конструкцію, призначення і геометричні параметри (кути) осьових інструментів, фрез, зубце- і нарізеобробних інструментів, протяжок. Навчитися вимірювати кути і розміри інструментів. Визначати їх розміри, матеріал та інші характеристики за позначеннями на них.

Обладнання, матеріали та інструменти: кутоміри універсальний і настільний, кутомір Бабчинцера, свердла, зенкери, розвертки, фрези, протяжка, зубцеобробний інструмент, мітчик, плашка, лінійка, пристрій для вимірювання заднього кута свердла.

Теоретичні відомості

Осьовий інструмент

До осьових інструментів відносяться свердла, зенкери і розвертки. Різання такими інструментами здійснюється поєднанням рухів – головного (обертального) руху навколо осі і руху подачі вздовж осі інструменту.

Свердла — найпоширеніший інструмент для оброблення отворів. За конструктивними ознаками свердла поділяють на спіральні, перові, для глибоких

отворів, шнекові, центрувальні, кільцеві та ін. Найпоширенішими є спіральні свердла, які мають два зубці. Спіральне свердло складається з таких елементів (рис. 35.1): робочої частини l_0 , хвостовика l_1 з лапкою l_3 і шийки l_2 .

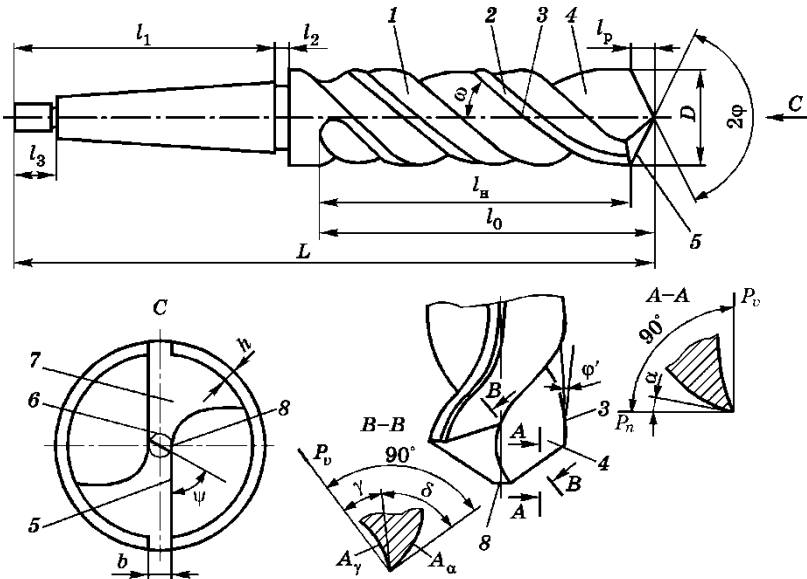


Рис. 35.1. Конструкція і геометрія свердла

Робоча частина має різальну l_p і напрямну l_n частини. Напрямна частина має вигляд двох гвинтових канавок 4, по яких транспортується стружка з оброблюваного отвору. Різальну частину утворюють два зубці (пера), які з'єднані серцевиною 6 ($d_0 \approx 0,1D$). Напрямна частина l_n забезпечує центрування свердла в отворі і є його резервом при перезагострюваннях. Для зменшення тертя напрямна частина свердла має гвинтові стрічки 2 і зворотну конусність (0,03...0,12 мм на 100 мм довжини робочої частини свердла). Зубець свердла має спинку 1, яка менша за діаметром і не дотикається до отвору. Хвостовик l_1 з лапкою l_3 призначений для закріплення свердла в шпинделі верстата. Хвостовики можуть бути конічними і циліндричними.

Передніми поверхнями A_γ свердла є поверхні гвинтових канавок 4, по яких сходять стружка. Головні задні поверхні 7 утворюються загострюванням торця свердла на його різальній частині. Допоміжними задніми поверхнями A'_α є зовнішні поверхні стрічок 2.

Свердло має п'ять різальних кромок: дві головні 5, перемичку (поперечну кромку) 8 і дві допоміжні 3. Головні різальні кромки 5 утворюються перетином передніх A_γ і задніх A_α поверхонь. Перемичка 8 утворюється перетином головних задніх поверхонь. Допоміжні різальні кромки 3 утворюються перетином передньої поверхні з поверхнею стрічки 2. Основну роботу різання виконують головні різальні кромки, а допоміжні беруть участь у різанні лише по довжині, яка дорівнює подачі. При свердлінні і розсвердлюванні отворів обробленою є поверхня готового отвору. Поверхні різання утворюються різальною кромкою під час її руху в процесі обертання свердла. Оброблюваною поверхнею при розсвердлюванні є поверхня отвору, який обробляється.

Головним кутом у плані ϕ називають кут в основній площині між головною різальною кромкою і напрямом подачі. Дві головні різальні кромки утворюють кут при вершині 2ϕ . Цей кут для свердління сталей середньої твердості становить $116...120^\circ$, корозійностійких сталей, жароміцних сплавів, латуні, сплавів алюмінію, міді і твердих чавунів — $125...150^\circ$. Найменші значення кута ($2\phi = 80...110^\circ$) застосовують для оброблення пластмас, твердих бронз і чавунів середньої твердості.

Передній кут γ у точці головної різальної кромки вимірюється в головній січній площині P_τ (переріз $B - B$) між дотичною до передньої поверхні A_γ і основною площиною P_γ . По довжині різальної кромки кут γ зменшується до осі свердла, а біля перемички набуває від'ємного значення. Кут γ утворюється при виготовленні свердла і становить $25...30^\circ$.

Передній кут на периферії свердла визначають за формулою

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \phi}, \quad (35.1)$$

де ω — кут нахилу гвинтової канавки.

Кут нахилу гвинтової канавки ω — кут між дотичною до гвинтової лінії по зовнішньому діаметру свердла і лінією, паралельною осі свердла. Кут ω найбільший по кромці стрічки і зменшується з наближенням точки різальної кромки до осі свердла. Свердло виготовляють з кутами $\omega = 15...60^\circ$.

Задній кут α вимірюється в перерізі $A - A$ між дотичною до задньої поверхні A_{α} і площиною різання P_n . Задній кут свердла змінюється від $\alpha = 8...14^\circ$ — на периферії до $20...26^\circ$ — біля перемички.

Кут нахилу поперечної різальної кромки (перемички) ψ — кут між проекціями поперечної і головної різальних кромки на площину, перпендикулярну до осі свердла. Значення цього кута при правильному загострюванні свердла $\psi = 50...55^\circ$.

Зенкер — інструмент для оброблення отворів з метою підвищення точності розмірів, форми, просторового положення і зменшення шорсткості обробленої поверхні. Зенкери використовують також для оброблення циліндричних заглиблень і підрізування торцевих поверхонь (цеківки) та конічних заглиблень (зенківки). Припуск на зенкерування (на сторону) становить $0,5...3,0$ мм.

Стандартні зенкери мають від трьох до восьми зубців (найчастіше тричотири зубці). За конструкцією зенкери бувають з конічними хвостовиками і насадні.

Основними частинами зенкера з конічним хвостовиком є (рис. 35.2): робоча частина l_0 , шийка 2, хвостовик 3 з лапкою 1. Робоча частина має різальну l_p і калібрувальну l_k частини.

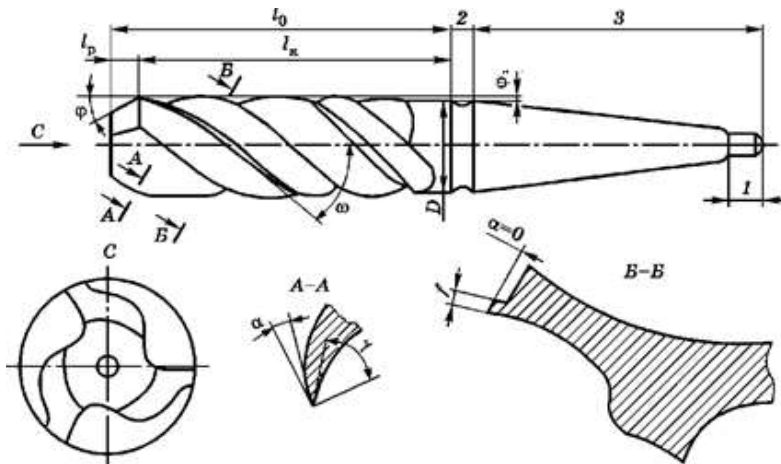


Рис. 35.2. Конструкція і геометрія зенкера

Геометрія різальної частини зенкера задається такими самими кутами, що й для свердла. Головний кут у плані призначається для зенкерів із швидкорізальної сталі $\varphi = 45...60^\circ$, а з твердосплавними пластинами $\varphi = 60...75^\circ$. Передній кут γ вибирають залежно від властивостей оброблюваного матеріалу і матеріалу різальної частини зенкера. У зенкерів із швидкорізальної сталі передній кут становить $\gamma = 8...15^\circ$ — для оброблення сталей, $\gamma = 6...8^\circ$ — чавуну і $\gamma = 25...30^\circ$ — кольорових металів і сплавів.

Зенкери з твердосплавними пластинами мають $\gamma = 5^\circ$ — для оброблення чавуну і $\gamma = 0...5^\circ$ — сталей. Задній кут $\alpha = 8...10^\circ$, а кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 10...25^\circ$. Зенкери мають також зворотну конусність, яка становить 0,04...0,10 мм на 100 мм довжини його робочої частини.

Розвертка — інструмент, який використовують для підвищення точності розмірів, форми і зменшення шорсткості поверхні отворів. На чорнове розвертання залишають припуск 0,2...0,4 мм, а на чистове — 0,05...0,10 мм.

Розрізняють машинні і ручні розвертки. За конструкцією хвостовика розвертки бувають з циліндричним і конічним хвостовиками; за формою оброблюваного отвору — циліндричні й конічні; за способом закріплення — хвостові і насадні. Число зубців розвертки завжди парне (6 – 16); його вибирають залежно від її діаметра $z = \sqrt{D+2}$. Зубці на розвертках розміщені нерівномірно, що забезпечує нижчу шорсткість обробленої поверхні.

Основні конструктивні і геометричні параметри розверток (рис. 35.3) такі самі, що й у свердла і зенкера: робоча частина l_0 , шийка 1 і хвостовик 2. Робоча частина складається з напрямного конуса $l_{\text{н}}$ з кутом при вершині 90° , забірної (різальної частини) $l_{\text{р}}$, калібрувальної частини $l_{\text{к}}$ і зворотного конуса l_3 .

Основну роботу різання забезпечує забірна частина. Головний кут у плані φ забірного конуса для оброблення наскрізних отворів становить: для ручних розверток — $\varphi = 30'...1^\circ30'$; для машинних $\varphi = 12...15^\circ$ — при обробленні в'язких металів і $\varphi = 3...5^\circ$ — крихких, твердих і важкооброблюваних металів. Розвертки з пластинами з твердих сплавів мають $\varphi = 30...45^\circ$.

У разі оброблення глухих отворів незалежно від оброблюваного матеріалу $\varphi = 45^\circ$ — у ручних розверток, $\varphi = 60^\circ$ — у машинних, $\varphi = 75^\circ$ — у твердосплавних із загостренням фаски на торці під кутом 45° .

Калібрувальна частина $l_{\text{к}}$ направляє розвертку в процесі різання і є резервом для її перезагострювання. Зворотний конус l_3 зменшує тертя розвертки об оброблену поверхню і розбивання отвору. Діаметр зворотного конуса менший

за калібрувальний на 0,005...0,008 мм — у ручних розверток і на 0,04...0,08 мм — у машинних.

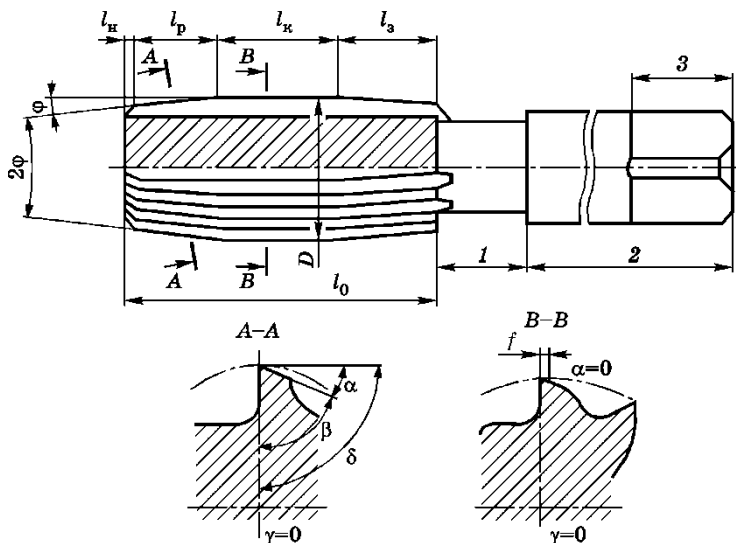


Рис. 35.3. Конструкція і геометрія розвертки

Хвостовик ручних розверток виготовляють циліндричним з квадратним кінцем 3, а у машинних — конічним чи циліндричним.

Зубці калібрувальної частини мають циліндричну фаску f завширшки 0,08...0,50 мм (залежно від діаметра розвертки).

Передній кут γ у чистових розверток із швидкорізальної сталі $\gamma = 0^\circ$, у чорнових $\gamma = 5...10^\circ$; у розверток із твердих сплавів $\gamma = 0...5^\circ$.

Задній кут α на різальній частині розвертки вибирають у межах 6...10°.

Протяжки (рис. 35.4, а) — багатозеловий інструмент для оброблення круглих і фасонних отворів, шпонкових та шліцьових пазів в отворах, зовнішніх поверхонь у серійному й масовому виробництвах. Основними частинами протяжки є: l_1 — замкова частина, призначена для закріплення протяжки в тяговому патроні верстата; l_2 — шийка; l_3 — передня напрямна частина — центрує протяжку в отворі і має профіль попередньо обробленого отвору; l_4 — різальна частина, кожен різальний зубець якої більший за попередній на 0,01...0,03 мм;

l_5 — калібрувальна частина, що забезпечує заключне оброблення поверхні і є резервом для перезагострювання протяжок; l_6 — задня напрямна частина, яка підтримує протяжку від провисання.

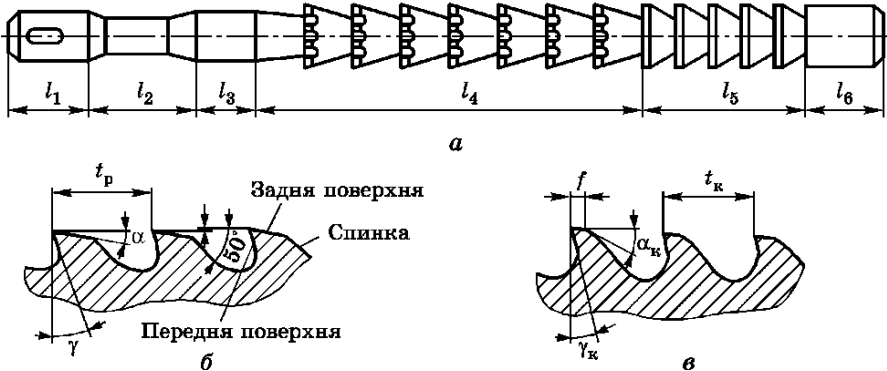


Рис 35.4. Протяжка (а) та елементи її різальної (б) і калібрувальної (в) частин

Різальні зубці (рис. 35.4, б) мають більші передній і задній кути, ніж калібрувальні (рис. 35.4, в), які мають ще й фаску на задній поверхні завширшки $f = 0,2 \dots 1,0$ мм з $\alpha = 0^\circ$. Передній кут γ різальних зубців становить $5 \dots 20^\circ$. Більші значення беруть для в'язких матеріалів.

Фрези (рис. 35.5) — багатозубий інструмент, який використовують для оброблення плоских і фасонних поверхонь, різних видів пазів, зубців зубчастих коліс та ін.

Фрези класифікують за такими ознаками:

- ♦ за видом оброблюваної поверхні (призначенням) — для оброблення плоских поверхонь (циліндричні, торцеві); фасонних (вгнуті, випуклі, фасонні), кутів, пазів (для Т-подібних, шпонкових пазів і пазів типу «ластівчин хвіст»), відрізні, для оброблення нанарізі, зубценоарізі тощо;
- ♦ за способом закріплення на верстаті — насадні і кінцеві (хвостові);
- ♦ за конструкцією (способом закріплення різальних елементів) — цілісні, з напаяними пластинами, з механічним закріпленням пластин та ін.;
- ♦ за розміщенням зубців на фрезі — циліндричні, торцеві, з різнонаправленими зубцями;
- ♦ за розміщенням зубців відносно осі — фрези прямозубцеві, з гвинтовим зубцями, конічні;

- ♦ за формою задньої поверхні зубця — плоскозагострені (незатіловані) і затіловані;
- ♦ за матеріалом робочої частини — зі швидкорізальної сталі, твердого сплаву, кераміки, надтвердих матеріалів;
- ♦ за видом хвостовика для закріплення фрези в шпинделі — з циліндричним і конічним хвостовиком;
- ♦ за розміром зубців — з дрібними і крупними зубцями.

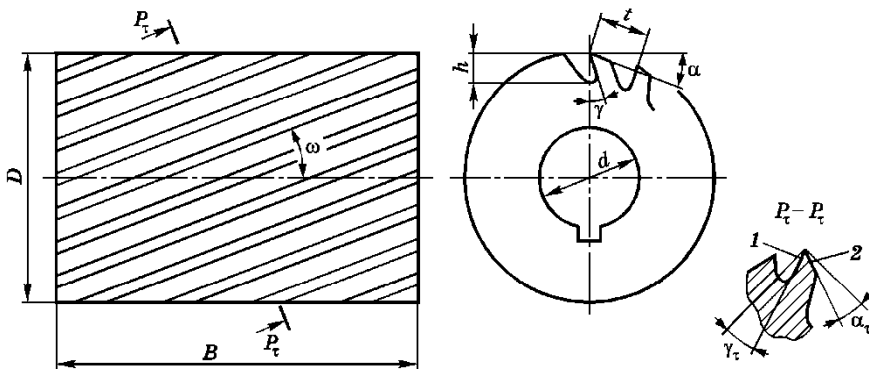


Рис. 35.5. Циліндрична насадна фреза:
1 — передня поверхня A_γ ; 2 — задня поверхня A_α

Циліндричні і торцеві фрези використовують для оброблення відкритих площин. Діскові фрези застосовують для оброблення уступів, пазів, лисок, багатограних та інших бокових поверхонь на прямокутних і круглих заготовках. Вони можуть бути одно-, дво- і тристоронніми.

Прорізними і відрізними фрезами прорізають вузькі пази (шпонкові пази, шліци гвинтів та ін.) і відрізають заготовки. Кінцеві фрези використовують для оброблення площин, уступів, пазів, криволінійних контурів та циліндричних поверхонь. Кінцеві фрези мають різальні кромки на торці.

Кутовими фрезами обробляють поверхні, розміщені під кутом.

Для оброблення глухих шпонкових пазів на валах застосовують шпонкові двопері фрези.

Фасонні фрези використовують для оброблення складнопрофільних поверхонь. Профіль фасонної фрези має відповідати профілю оброблюваної поверхні.

Циліндрична фреза характеризується такими розмірними параметрами: D — діаметр фрези; d — діаметр отвору; B — ширина фрези (див. рис. 35.5).

Циліндрична фреза працює в умовах вільного різання, тому на кожному зубці є лише одна головна різальна кромка.

Для плавнішого входу зубця в зрізуваний шар, виходу з нього і збільшення числа зубців, які працюють одночасно, застосовують фрези з гвинтовими зубцями. Кут нахилу зубців стандартних фрез $\omega = 25...35^\circ$.

Спіральні циліндричні фрези характеризуються кроком гвинтової лінії H , діаметром фрези D , торцевим кроком t , мм:

$$H = \pi D \operatorname{ctg} \omega; \quad t = \frac{\pi D}{z}, \quad (35.2)$$

де ω — кут нахилу гвинтової лінії зубця до осі фрези; z — число зубців фрези.

Для зручності загострювання і контролю фрез передній кут γ вимірюють у головній січній площині P_τ .

Задній кут α зручно вимірювати в площині, перпендикулярній до осі фрези. Значення торцевого переднього γ_τ і нормального заднього α_τ кутів визначають за формулами

$$\operatorname{tg} \gamma_\tau = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\cos \omega}; \quad \operatorname{tg} \alpha_\tau = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega}. \quad (35.3)$$

Кожен зубець торцевої фрези (рис. 35.6) працює майже так само, як стругальний різець. Кути в плані φ , ε , φ_1 зубця торцевої фрези розглядають в основній площині P_v (проходить через вісь фрези). Передній γ , задній α і кут загострення β вимірюють у головній січній площині P_τ .

Для того щоб у контакт зі зрізуваним шаром першою не вступала вершина зубця, головну різальну кромку нахилиють під додатним кутом λ .

Передній кут для фрез із швидкорізальних сталей беруть $\gamma = 5...30^\circ$, торцевих твердосплавних — $\gamma = +10...-20^\circ$.

Головний задній кут α для різних фрез із швидкорізальних сталей становить $12...30^\circ$, для торцевих твердосплавних фрез $\alpha = 10...25^\circ$. Торцеві фрези з кутом $\varphi = 10...30^\circ$ використовують для жорсткої системи верстат — інструмент — заготовка, а при глибині різання 3...4 мм — переважно $\varphi = 60^\circ$. Допоміжний кут у плані у торцевих фрез зменшує тертя і становить $\varphi_1 = 2...10^\circ$.

Кут нахилу головної різальної кромки впливає на міцність зубця і стійкість фрези. У торцевих фрез його беруть $5...15^\circ$ для оброблення сталі і $-5...+15^\circ$ для оброблення чавуну.

Зубценорізний інструмент. Зубці зубчастих коліс нарізують методами копіювання і обкочування. За методом копіювання зубці нарізують переважно

дисковими і пальцевими модульними фрезами. Для нарізування зубців за методом обкочування застосовують черв'ячні модульні фрези, довбачі, зубцестругальні різці, гребінки, різцеві головки та ін.

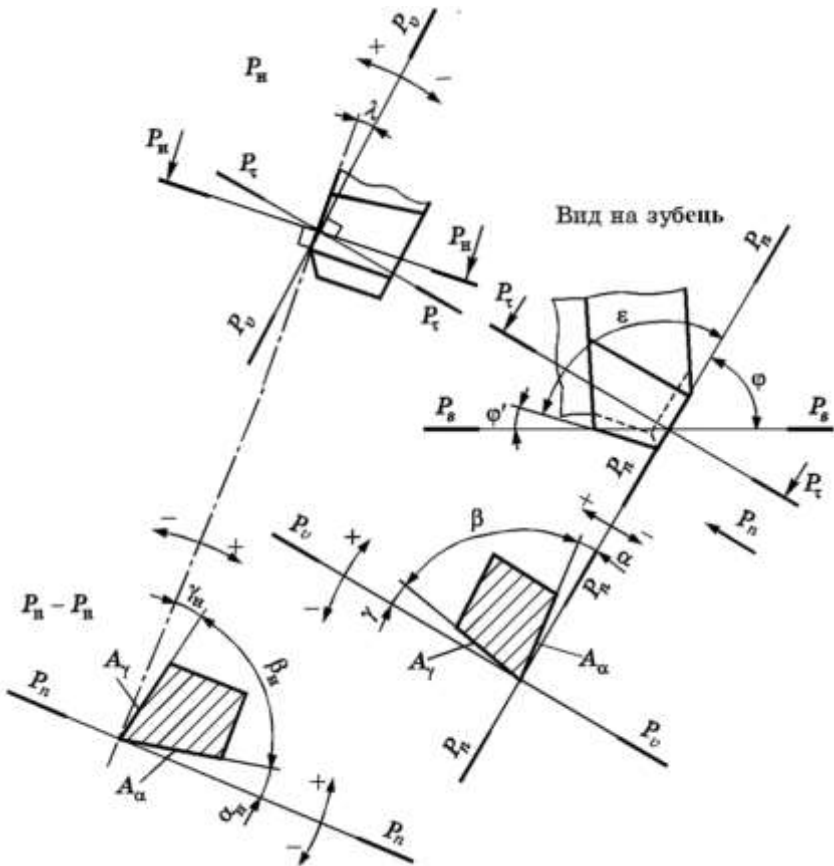


Рис. 35.6. Кути торцевої фрези

Дискові модульні фрези (рис. 35.7, а), крім поділу за модулями, поділяють ще й за номерами. Використовують комплекти з 8, 15 або 26 фрез залежно від точності і числа нарізуваних зубців. Набір з 8 фрез використовують для нарізу-

вання зубців з модулем $m \leq 8$ мм; набір з 15 фрез — $m \geq 8$ мм; набір з 26 фрез — для нарізування зубців підвищеної точності.

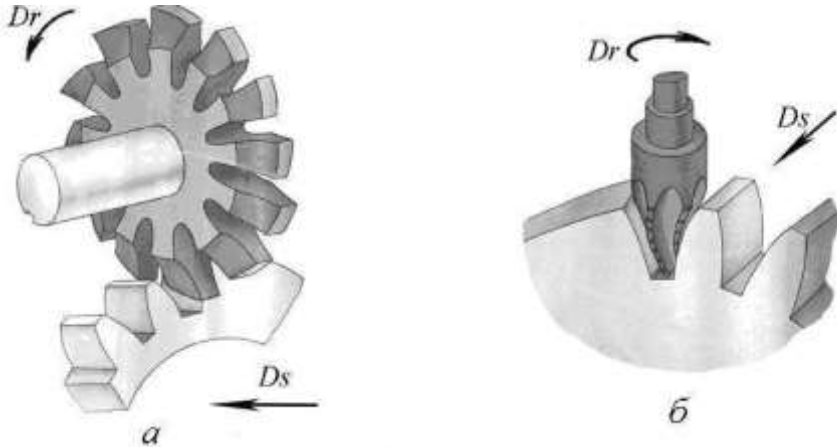


Рис. 35.7. Нарізування зубців зубчастих коліс дисковою (а) та пальцевою (б) модульними фрезами

Дискові модульні фрези мають затілований зубець і характеризуються модулем m , номером, числом нарізуваних зубців z , кутом зачеплення α_0 . Усі ці величини і матеріал різальної частини зубців фрези наносять на її торці.

Пальцеві модульні фрези (рис. 35.7, б) використовують для оброблення зубців з $m \geq 8$ мм.

Черв'ячна модульна фреза (рис. 35.8, а) має вигляд черв'яка, в якому під кутом ω до осі прорізана канавка. Зубці, які утворюються при цьому, затіловані з необхідним заднім кутом. Черв'ячні фрези бувають однозахідними (для чистового оброблення) та багатозахідними (для чорнового оброблення). Їх виготовляють переважно зі швидкорізальних сталей. Черв'ячна модульна фреза характеризується такими параметрами: модулем m , кутом зачеплення α_0 і кутом підйому гвинтової лінії зубця ω . Значення цих параметрів, а також марку матеріалу фрези вибирають на торці.

Черв'ячна модульна однозахідна фреза має такі параметри: зовнішній діаметр D_e , ділильний діаметр D_t , довжину H , кут нахилу гвинтової канавки ω

$\left(\sin \omega = \frac{m}{D_t} \right)$, крок у нормальному перерізі $t_n = \pi m$. Елементами зубця (рис. 35.8, б) є товщина зубця у нормальному перерізі S_n , висота профілю зубця $H_0 = 2,5m$, затилування $K = \frac{\pi D_e \operatorname{tg} \alpha}{z}$.

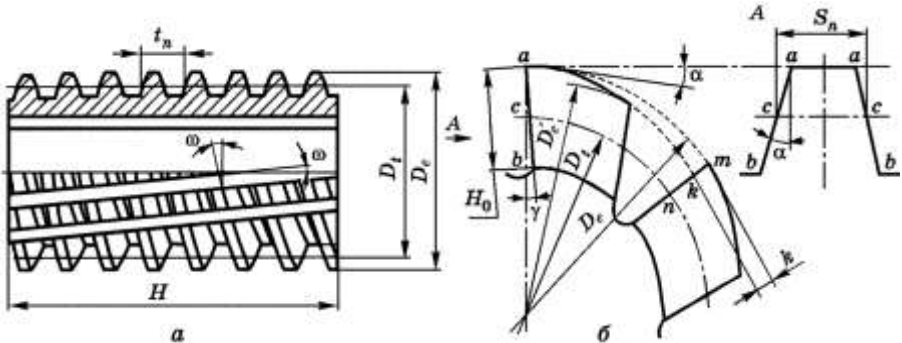


Рис. 35.8. Черв'ячна модульна фреза (а) і елементи її зубця (б)

Зубценорізні довбачі використовують для нарізування зубців на зубцедовбальних верстатах. Довбачі бувають прямозубцеві — призначені для нарізування зубців прямозубцевих коліс і косозубцеві (з гвинтовими зубцями) — для нарізування зубців косозубцевих коліс.

Довбачі (рис. 35.9) характеризується модулем m , числом зубців z , кутом зачеплення α_0 , зовнішнім діаметром D_e , діаметром дільного кола D_d . Ці дані і матеріал довбача вибивають на торці. Довбач — це зубчасте колесо конічної форми, зубці якого з одного торця мають різальні кромки. У кожного зубця довбача є три різальні кромки: 1 — периферійна по дузі кола; 2, 3 — бокові, по евольвенті. Передні і задні кути довбача розглядають для периферійних (при вершині) і бокових різальних кромки. Передній γ і задній α кути для периферійних різальних кромки розглядають у діаметральній площині довбача.

Довбач загострюють по передній поверхні. Для стандартних довбачів периферійний передній кут при вершині $\gamma = 5^\circ$, задній кут при вершині $\alpha = 6^\circ$. Для бокових різальних кромки задній і передній кути розглядають у площині, дотичній до основного кола.

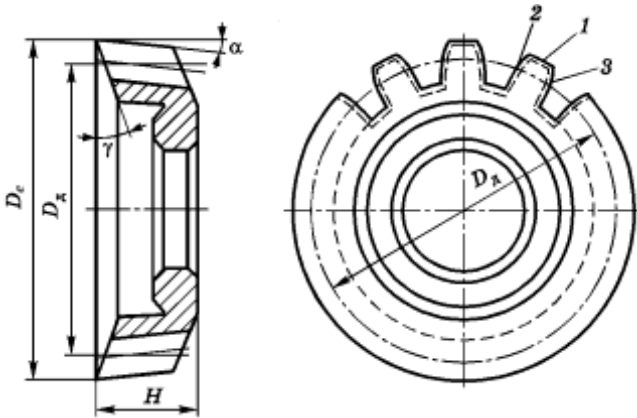


Рис. 35.9. Прямозубцевий довбач

Зубцестругальний різець (рис. 35.10) призначений для оброблення зубців прямозубцевих конічних коліс за методом обточування. Різець має кріпильну частину K у вигляді клина з кутом 73° і різальну частину h з двома лезами. Плошка поверхня різця, яка проходить через різальні кромки нахилена під кутом $\alpha=20^\circ$. Передня поверхня обох лез загострена під кутом $\gamma=12^\circ$ або 20° . Задній кут на стругальних різцях забезпечується встановленням їх на спеціальній відкидній державці. Для зменшення тертя державка відхиляється при допоміжному ході.

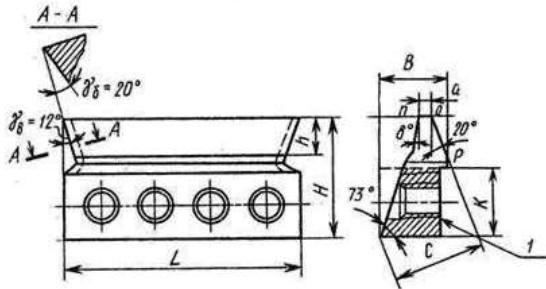


Рис. 35.10. Зубцестругальний різець

Інструмент для оброблення нарізі. Найпоширенішими нарізеобробними інструментами є мітчики і плашки.

Мітчики призначені для нарізування і калібрування нарізі в отворах. Вони мають вигляд гвинта з поздовжніми (прямими чи гвинтовими) канавками. За конструкцією і використанням розрізняють ручні й машинні, гайкові і плашкові (нарізування і калібрування нарізі в плашках) мітчики.

Ручні мітчики бувають дво- і трикомлектні (чорновий, середній, чистовий). Чорновий і середній мітчики мають менший зовнішній і середній діаметри. Чистовий мітчик має повний профіль нарізі. Гайкові мітчики використовують для оброблення нарізі в гайках на верстатах. Їх виконують з коротким, довгим і зігнутим хвостовиками.

Мітчик (рис. 35.11, а) складається з робочої частини l і хвостовика l_x . Робоча частина має забірну l_3 і калібрувальну l_k частини. Забірна частина l_3 мітчика виконує основну роботу різання. Калібрувальна частина l_k забезпечує зачищення та калібрування нарізі, а також правильний напрямок руху. Для зменшення тертя калібрувальну частину виконано у вигляді зворотного конуса. Кінець l_0 хвостової частини l_x у ручних мітчиків (інколи й у машинних) виготовляють у вигляді квадрата.

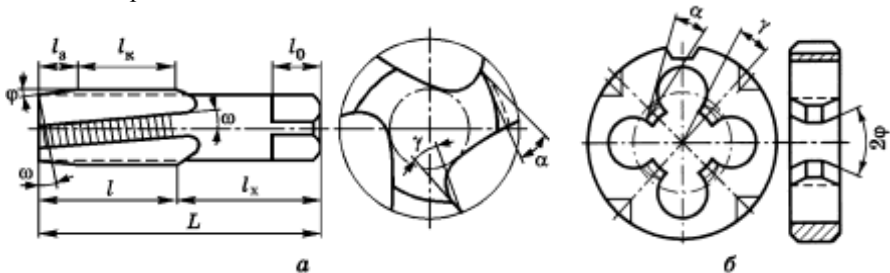


Рис. 35.11. Елементи мітчика (а) і круглої плашки (б)

У ручних мітчиків довжину заірної частини беруть: чорнового мітчика — 4, чистового — 1,5...2,0 витки. Довжина заірної частини машинних мітчиків становить 5...6 витків для нарізування наскрізних отворів і 2 витки — для глухих отворів, гайкових — 11...12 витків.

Передній кут γ мітчика вибирають залежно від матеріалу оброблюваної деталі: для сталі — 5...10°, для чавуну — 0...5°, для кольорових металів та сплавів — 10...25°.

Задній кут α беруть 4...12°. Його отримують затилуванням різальної частини по зовнішньому діаметру.

Мітчики виготовляють переважно з прямими канавками, а для кращого відведення стружки канавки виконують гвинтовими, з кутом нахилу $\omega = 15 \dots 18^\circ$.

Плашки використовують для оброблення або калібрування зовнішньої нарізі за один робочий хід. Плашки бувають круглі, квадратні та шестигранні. Найчастіше застосовують круглі плашки для оброблення нарізі діаметром до 52 мм.

Кругла плашка (рис. 35.11, б) — це загартована гайка з отворами, які утворюють різальні кромки. На плашках роблять, як правило, 3–5 стружкових отворів для відведення стружки. Товщина плашки 8...10 витків нарізі. Різальну частину плашки виконують у вигляді внутрішнього конуса. Довжина забірної частини становить 2...3 витки. Кут 2ϕ вибирають $40 \dots 60^\circ$; при обробленні нарізі до упору $2\phi = 90^\circ$. Передній кут γ у стандартних плашок $\gamma = 15 \dots 20^\circ$. Задній кут α виконують лише на забірній (різальній) частині. Витки забірної частини плашки затилюються по спіралі Архімеда з заднім кутом $\alpha = 6 \dots 8^\circ$.

Вимірювання розмірів і кутів інструментів

Свердло. У свердлі штангенциркулем і мікрометром вимірюють основні розміри: номінальний діаметр D , діаметр у місці перемички d_1 , довжину робочої і різальної частин, довжину головних різальних кромок та конусність. Для вимірювання довжини головних різальних кромок використовують спеціальні шаблони (рис. 35.12, а). У правильно загостреного свердла довжина обох головних різальних кромок має бути однакою. Свердло має зворотну конусність калібрувальної частини на довжині 100мм, яку визначають за формулою:

$$K = \frac{D - D_1}{l}$$

де: D_1 – діаметр свердла, відповідно біля головних різальних кромок і на відстані l від головних різальних кромок, мм.

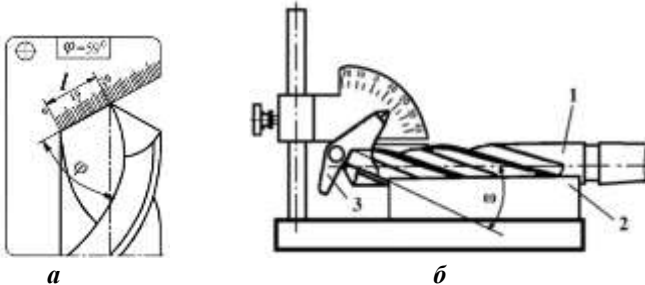


Рис. 35.12. Вимірювання довжини головної різальної кромки (а) і кута нахилу гвинтової канавки (б) свердла

Для вимірювання кута нахилу гвинтової канавки свердла використовують настільний кутомір (рис. 35.12, б), для кута при вершині свердла φ (рис. 35.13, а) та кута нахилу поперечної кромки ψ (рис. 35.13, б) універсальний кутомір.

Універсальним кутоміром вимірюють також головний кут зенкера в плані φ (рис. 35.13, в) і кут нахилу зубця циліндричної фрези відносно її осі ω (рис. 35.13, г).

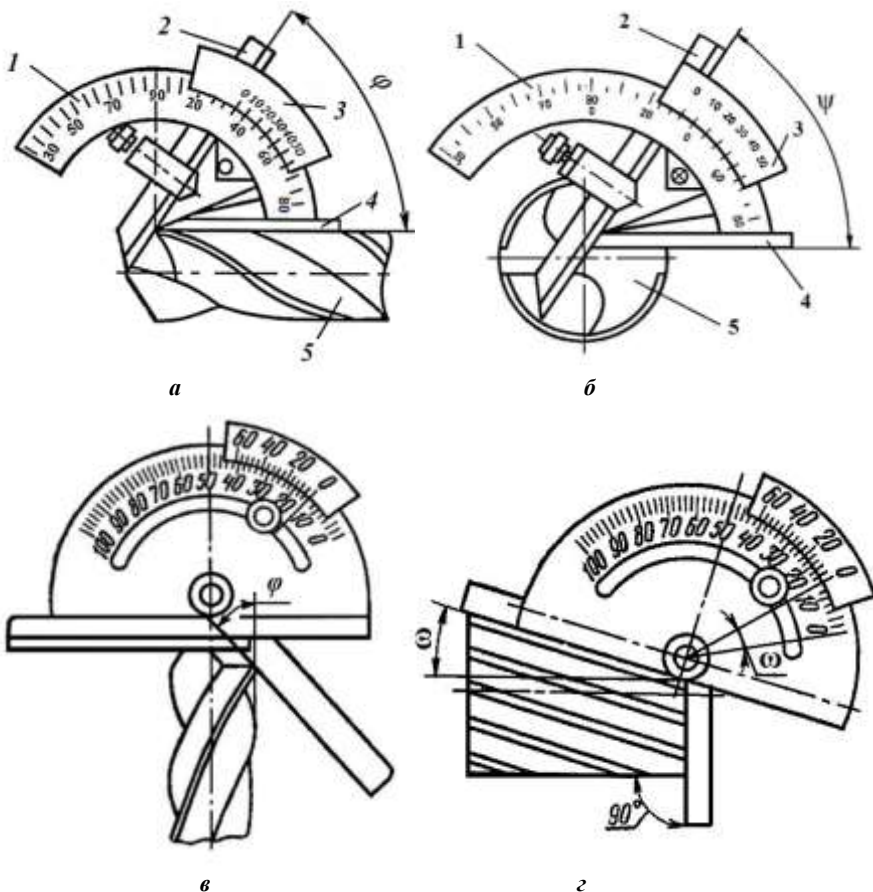


Рис. 35.13. Вимірювання кута при вершині свердла φ (а), кута нахилу поперечної кромки свердла ψ (б), кута в плані φ (в) зенкера і кута нахилу гвинтової канавки циліндричної фрези ω (г) універсальним кутоміром

Для вимірювання переднього і заднього кутів застосовують кутоміри Бабчиніцера, Непріна, Спіріодовича та ін.

Кутомір Бабчиніцера (рис. 35.14) складається з колоподібної лінійки 2 (зі шкалою числа зубців фрез z), по якій вручну переміщують сектор 1 (зі шкалами переднього і заднього кутів). Плавність переміщення сектора 1 по лінійці 2 регулюють гвинтом 9. На секторі 1 нерухомо закріплено планки 5 і 8. Планку 6 можна переміщувати відносно сектора 1 і фіксувати гвинтом 7. Планка 3 пазом входить у виступ колоподібної лінійки 2 і закріплюється фіксатором 4.

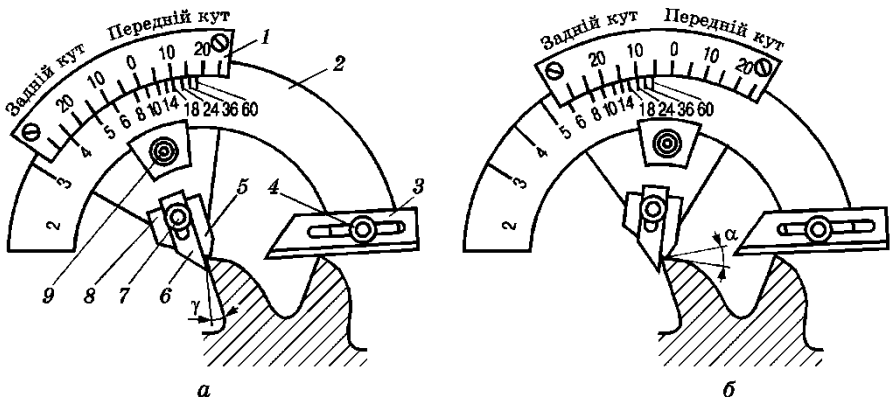


Рис. 35.14. Вимірювання кутів фрези кутоміром Бабчиніцера

Для вимірювання переднього кута (рис. 35.14, *а*) вимірювальну поверхню планки 6 суміщають з передньою поверхнею зубця фрези. При цьому планку 3 розміщують на різальній кромці сусіднього зубця. На шкалі лінійки 2 знаходять риску з числом, що дорівнює числу зубців z . Напроти цієї риски на шкалі «передній кут» зчитують значення переднього кута γ .

Для вимірювання заднього кута (рис. 35.14, *б*) вимірювальну поверхню планки 5 суміщають із задньою поверхнею зубця фрези. На шкалі «задній кут» напроти риски, яка відповідає числу z , визначають значення заднього кута α .

Послідовність виконання роботи:

1. Нарисувати ескізи свердла, зенкера і розвертки з кутами.
2. Виміряти основні розміри і кути свердла, зенкера і розвертки.

3. Розглянути набір фрез. Нарисувати ескізи трьох-чотирьох фрез з позначенням напрямку руху, кутів і розмірів. Описати фрези згідно з класифікацією і призначенням.

4. Заміряти розміри і кути фрез.

5. Розглянути конструкцію протяжки.

6. Розглянути конструкцію дискової, пальцевої і черв'ячної модульних фрез, довбача, зубцестругального різця. Нарисувати ескізи з напрямками рухів, кутами і розмірами.

7. Розглянути конструкцію мітчиків, плашок і фрези для нарізі. Нарисувати їхні ескізи з напрямками рухів, кутами і розмірами.

8. Виміряти крок нарізі (різміром, за допомогою лінійки), мітчика, плашки, фрези і кути забірної частини.

9. Результати замірів і характеристики інструментів занести до табл. 35.1.

Характеристики інструментів

Таблиця 35.1.

№ п/п	Назва інструмента	Розміри, мм				Величина кутів, град.							
		D	l	m	z	a	γ	φ	φ_1	λ	ω	ψ	

Зміст звіту

1. Конструктивні елементи і кути свердла, зенкера, розвертки і протяжки, ескізи і призначення.

2. Конструкція і кути циліндричної і торцевої фрез. Класифікація фрез.

3. Конструкція і кути зубце- і нарізеобробного інструментів.

4. Схеми оброблення деталей (поверхонь) наведеними інструментами.

5. Ескізи розглянутих на заняттях різальних інструментів з кутами, фрези описати згідно з класифікацією і вказати види виконуваних робіт.

Контрольні запитання. 1. Призначення і конструктивні елементи свердла.

2. Величина кута 2φ свердла для оброблення сталей. 3. Призначення і конструктивні частини зенкера. 4. Види зенкерів і що ними обробляють. 5. По яких поверхнях загострюють фасонні, дискові і черв'ячні модульні фрези? 6. Призначення свердел, зенкерів і розверток, конструктивні елементи, їх призначення і кути.

7. Частини протяжки і кути зубців. 8. Класифікація фрез, розмірні параметри і кути. 9. Будова кутоміра Бабчиніцера. Як цим кутоміром вимірюють кути?

10. Призначення, особливості конструкції й основні характеристики дискових і черв'ячних модульних фрез. 11. Призначення, особливості конструкції й основ-

ні характеристики довбача. **12.** Поверхні і призначення зубцестругальних різців.
13. Призначення, конструктивні елементи і типи мітчиків та плашок.

Лабораторна робота 36

Вплив елементів режиму різання і переднього кута різця на деформацію стружки

Мета роботи: дослідити вплив глибини, подачі швидкості різання і переднього кута на усадку стружки і кут зсуву.

Обладнання, матеріали та інструменти: поперечно-стругальний або токарний верстат, лінійка, штангенциркуль, мідний дротик, заготовки, стругальний або токарний прохідні різці з кутами $\gamma=20^\circ, 10^\circ, 0, -10^\circ$.

Теоретичні відомості

Процес оброблення матеріалів різання супроводжується пружними і пластичними деформаціями зрізаного шару і обробленої поверхні.

Різання пластичних матеріалів відбувається перетворенням зрізаного шару в стружку в результаті послідовних зсувів матеріалу по умовній площині зсуву. Чисельні досліди свідчать, що деформований стан в зоні стружкоутворення можливо вважати плоским і в зрізаному шарі проходить деформація простого зсуву. Мірою деформації простого зсуву є відносний зсув - відношення величини абсолютного зсуву до товщини шару, що зсувається. Відносний зсув виражається формулою:

$$\varepsilon = ctg \theta + tg (\theta - \gamma), \quad (36.1)$$

де: θ – кут зсуву;

γ – передній кут леза різця.

Залежно від умов різання розрізняють елементну, сколювання і зливну стружку – при обробленні пластичних матеріалів; стружку надлому – при обробленні крихких матеріалів. Так як перехід зрізаного шару в стружку супроводжується пластичною деформацією, то довжина стружки зменшується, а товщина і ширина її збільшується. Зміна розмірів стружки порівняно з розмірами зрізаного шару називається *усадкою стружки*.

Ступінь зміни розмірів стружки порівняно із зрізаним шаром (рис. 36.1) характеризується коефіцієнтами укорочення K_a , потовщення K_a , і розширення K_b .

$$K_l = \frac{l}{l_c}; \quad K_a = \frac{a_1}{a}; \quad K_b = \frac{b_1}{b}, \quad (36.2)$$

де: l, a, b – довжина, товщина і ширина зрізуваного шару, мм;
 l_c, a_c, b_c – довжина, товщина і ширина стружки, мм.

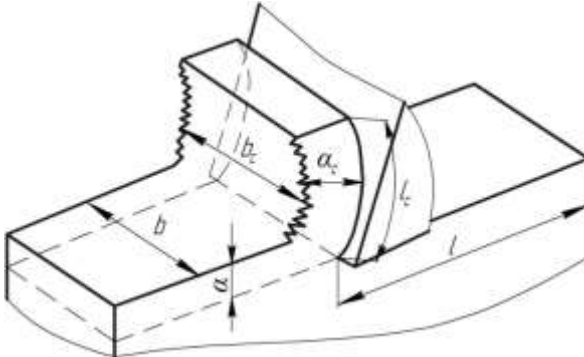


Рис. 36.1. Розміри зрізуваного шару і стружки

Так як об'єм металу при перетворенні в стружку залишається практично незмінним, то:

$$K = \frac{l}{l_c} = \frac{F_c}{F}, \quad (36.3)$$

де: F – площа поперечного перерізу зрізуваного шару, $мм^2$;

F_c – площа поперечного перерізу стружки, $мм^2$.

Кут зсуву θ і відносний зсув ε розраховують за формулами:

$$tg\theta = \frac{\cos \gamma}{(K_l - \sin \gamma)}, \quad (36.4)$$

$$\varepsilon = \frac{K_l^2 - 2K_l \sin \gamma + 1}{K_l \cos \gamma}, \quad (36.5)$$

Методи визначення коефіцієнтів усадки стружки

Коефіцієнт усадки стружки експериментально визначають такими методами:

Вимірюванням довжини шляху різання і довжини стружки. Довжину стружки вимірюють тонким мідним дротиком, а довжину шляху різання – сталевую лінійкою.

Вимірюванням площ F і F_c . Площу зрізуваного шару визначають за товщиною a і шириною b зрізу або глибиною різання t і подачею S .

$$F = a b = t S. \quad (36.6)$$

Площу стружки визначають на відшліфованому поперечному перерізі, шляхом нанесення відбитку на міліметровий папір чи вимірюванням збільшеного зображення з допомогою планіметра. Цей метод застосовують для зливної стружки великої довжини і коли неможливо виміряти шлях пройдений інструментом при різанні.

Ваговим методом. Від стружки відламують кусочок стружки довжиною 10...30 мм. Обидві сторони по довжині шліфують, виміряють довжину стружки l_c і кусочок зважують на аналітичних вагах.

Площа стружки F , дорівнює:

$$F = \frac{1000m_c}{l_c\rho}, \quad (36.7)$$

де: ρ – густина матеріалу заготовки, $г/см^3$; L – довжина стружки, $мм$; m_c – маса кусочка стружки, $г$.

Цей метод найширше використовують для визначення усадки зливної стружки і стружки сколювання.

Послідовність виконання роботи:

1. Проточити заготовку із маловуглецевої, високовуглецевої сталі та чавуну при однакових глибині різання, подачі та швидкості різання 8...10 м/хв і білше 60 м/хв.

2. Розглянути і зарисувати отримані стружки. Вказати їх вид і описати в табл. 36.1.

Результати дослідів

Таблиця 36.1.

№	Матеріал заготовки	Діаметр $D, мм$	Режим точіння				Вид стружки
			$t, мм$	$S, мм/об$	$n, хв.^{-1}$	$v, м/хв$	

3. На заданих режимах здійснити стругання заготовки на поперечно-стругальному або токарному верстатах. Швидкість різання на стругальному верстаті визначають за формулою:

$$v = \frac{n \cdot L(1 + m)}{1000}, \quad м/хв. \quad (36.8)$$

де: L – довжина ходу повзуна, $мм$; m – коефіцієнт, який враховує швидкість робочого $v_{рх}$ і допоміжного $v_{дх}$ ходів повзуна.

4. Дослідження стружки на токарному верстаті виконують на заготовці з двома поздовжніми пазами шириною $b_n = 3...5 мм$, розміщеними через 180° .

Розділ 7

Довжину зрізаного шару визначають за формулою $l = 0,5\pi(D - t) - b_n$; де D – діаметр поверхні, яка обточується, мм; t – глибина різання, мм.

5. Заміряти довжину стружки і виконати розрахунки та результати занести до табл. 36.2.

Результати дослідів

Таблиця 36.2

Модель верстата _____				Оброблюваний матеріал _____					
Матеріал різця _____				Довжина (діаметр) заготовки _____					
Геометрія різця		$\varphi =$ _____		$\varphi_1 =$ _____		$\alpha =$ _____		$r =$ _____	
№	Глибина різання t , мм	Подача S , мм/2х	Швидкість Різання, v м/хв	Передній кут, φ	Довжина зрізаного шару, l , мм	Довжина стружки, l_c , мм	Коефіцієнт укорочення, K_l	Кут зсуву θ , градуси	Відносний зсув, ε

6. Побудувати графіки залежностей:

$$K_l = f(t, s, v); \theta = f(t, s, v); \text{ та } K_l = f(\varphi) \text{ і } \theta = f(\varphi).$$

7. Проаналізувати отримані результати.

Зміст звіту

1. Описати процес та критерії деформації при різанні.
2. Види стружок, і при яких умовах вони утворюються.
3. Види стружок отримані при точінні різних матеріалів і їх характеристика.
4. Результати дослідів по впливу параметрів режиму різання на деформацію стружки і їх аналіз.

Контрольні запитання. 1. Суть процесу деформації при різанні. 2. Види стружок. 3. Фактори, які впливають на утворення стружки. 4. Критерії оцінки деформації стружки. 5. Методи вимірювання усадки стружки. 6. Як впливають глибина різання, подача, швидкість різання і передній кут на коефіцієнт укорочення, кут зсуву і вид стружки?

Лабораторна робота 37

Вплив елементів режиму різання на складові сили різання при точінні

Мета роботи: встановити емпіричні залежності складових сил різання від елементів режиму різання.

Обладнання, матеріали та інструменти: токарний верстат, силовимірювальний комплекс УДМ-6000, тарувальний пристрій, набір наважок, штангенциркуль, кутомір, прохідні різці, заготовка.

Теоретичні відомості

Сили різання при точінні. Опір матеріалів різанню зумовлений пружними і пластичними деформаціями у зрізуваному шарі, тертям по передній і задній поверхнях інструменту. Зрізуваний шар і стружка тиснуть на різець із силою P (рис. 37.1). Вона є геометричною сумою нормальних сил і сил тертя, які діють на передній й задні поверхні інструменту. Силу P досить важко виміряти безпосередньо, оскільки її значення і напрямок залежать від багатьох чинників (матеріалу заготовки та інструменту, геометрії інструменту, режиму різання та ін.).

Практично доцільно використовувати не силу різання, а її складові, напрямком яких збігається з напрямком швидкості різання, поздовжньої і поперечної подачі (див. рис. 37.1):

P_z — головна складова сили різання, яка за напрямком збігається зі швидкістю головного руху різання у вершині лека; при обертальному русі головну складову називають *дотичною*;

P_x — осьова складова сили різання, паралельна осі головного обертального руху різання і направлена проти руху поздовжньої подачі D_s .

P_y — радіальна складова сили різання, напрямлена по радіусу головного обертального руху різання у вершині лека від осі.

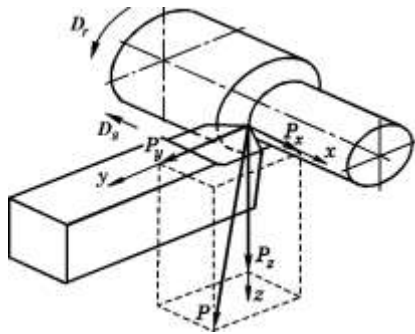


Рис. 37.1. Складові сили різання

За складовою P_z розраховують механізми головного руху на міцність, крутний момент і потужність різання; за P_z , P_x , P_y — інструмент на міцність; за P_y — механізми поперечної подачі на міцність і жорсткість технологічної системи «верстат-пристрій-інструмент-заготовка (ВППЗ)»; за P_x — механізми поздовжньої подачі на міцність.

Силу різання можна визначити за допомогою теоретичних рівнянь і емпіричних формул, отриманих вимірюванням сил динамометрами.

У практиці механічного оброблення використовують такі емпіричні формули складових сили різання:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} ; \quad (37.1)$$

$$P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} ; \quad (37.2)$$

$$P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} s^{y_{P_x}} v^{n_{P_x}} , \quad (37.3)$$

де C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} — коефіцієнти, які враховують властивості оброблюваного матеріалу і матеріалу інструменту; t — глибина різання, мм; s — подача, мм/об; v — швидкість різання, м/хв; x_P , y_P , n_P — показники степенів, які враховують вплив відповідно t , s і v на складові сили різання.

Швидкість різання впливає на силу різання лише при обробленні різцями (інструментами) з пластинами із твердих сплавів.

При обробленні різцями зі швидкорізальної сталі швидкість не впливає на силу різання $n_p = 0$.

Прилади для вимірювання складових сили різання

Складові сили різання вимірюють динамометрами. Динамометри поділяють: за принципом дії — на механічні, гідравлічні й електричні; за кількістю вимірюваних складових — одно-, дво- і трикомпонентні. Найпоширенішими є електричні динамометри, які мають високу чутливість, безінерційність. У цих динамометрах використовують електроконденсатори, п'єзоелектричні, дротяні, індуктивні та інші датчики.

Найбільш удосконаленим є силосимірювальний комплекс з універсальним динамометром (УДМ). Динамометр УДМ-6000 призначений для вимірювання сил різання під час точіння, свердління, фрезерування і шліфування. Цей дина-

мометр забезпечує одночасне вимірювання трьох складових сили різання P_z , P_x , P_y а також моменту пари сил $M_{кр}$ відносно осі Ox . Показання динамометра не залежать від точки прикладання сили різання (тобто від вильоту різця).

Залежно від виду оброблення УДМ обладнують відповідними пристроями: для точіння на нього встановлюють різцетримач; для свердління і оброблення нарізі мітчиком — круглий стіл; для шліфування і фрезерування — лещата.

Динамометр УДМ-6000 забезпечує вимірювання граничних сил: $P_z = 6000$ Н, $P_y = 3000$ Н, $P_x = 3000$ Н і $M_{кр} = 500$ Н•м.

Силувимірювальний комплекс (рис. 37.2) складається з динамометра УДМ 1, чотириканального підсилювача УТ 4-1 або ТА-5 3, щита реєструвальних приладів 2, світлочутливого осцилографа Н041.У4 4, з'єднувальних кабелів.

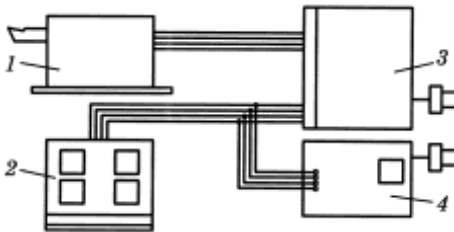


Рис. 37.2. Схема силувимірювального комплексу.

Сили, які виникають у процесі різання, сприймаються шістнадцятьма пружними опорами. На пружні елементи опор наклеюють дрітняні тензодатчики. Електроопір тензодатчиків змінюється пропорційно значенню пружної деформації елементів опор. Тензодатчики з'єднуються в схемі залежно від вимірюваної складової сили різання чи крутного моменту. Сумарні сигнали датчиків

підсилюються УТ 4-1 і їхні значення відліковуються за допомогою міліамперметрів М104 реєструвального приладу або записуються осцилографом Н041.У4.

Тарування силувимірювального комплексу. Тарування здійснюють безпосередньо на верстаті. За напрямом тарованої складової сили різання прикладається відома за значенням сила, а за реєструвальною апаратурою встановлюють відповідно до цієї сили значення аналогового сигналу. В УДМ-6000 встановлюють значення сили струму в міліамперметрах (мА), яке відповідає значенню ваги вантажів у ньютоних (Н). Кількість точок тарування встановлюють з урахуванням діапазону зміни сили різання та необхідної точності тарованої залежності. Тарування здійснюють при навантаженні й розвантаженні. За результатами тарування будують графіки при навантаженні й розвантаженні. Для спрощення кінцевий тарувальний графік проводять через середини відрізків між кривими навантаження і розвантаження.

Установлення залежності складових сили різання від елементів режиму різання. Формули складових сили різання, як і більшість основних формул тео-

рії різання, мають вигляд степеневих залежностей. Їх отримують математичним обробленням дослідних даних. Залежності можна отримати графічним методом або аналітичним з використанням способу найменших квадратів. Графічний метод простіший, але менш точний, ніж аналітичний.

При графічному методі проводять три серії дослідів, а для різців із швидко-різальної сталі — дві. У кожній із цих серій змінюють лише один із параметрів режиму різання, а решта — постійні. Всі серії проводять різцями з одного й того самого матеріалу, при однаковій геометрії та за інших однакових умов. Наприклад, потрібно встановити залежність складової P_z від t , s , v . Для цього в першій серії змінюють лише глибину різання. У залежності $P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}}$

добуток $C_{P_z} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} = C'_{P_z}$ буде сталою величиною.

Тоді матимемо залежність:

$$P_z = C'_{P_z} t^{x_{P_z}}. \quad (37.4)$$

Після логарифмування отримаємо:

$$\lg P_z = \lg C'_{P_z} + x_{P_z} \lg t. \quad (37.5)$$

Отже, залежність P_z від t у логарифмічних координатах підпорядковується рівнянню прямої лінії, яка не проходить через початок координат (рис. 37.3).

Величину x_{P_z} можна знайти з графіка прямої, оскільки $x_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1}$.

Значення катетів a_1 і b_1 , мм, вимірюють безпосередньо на графіку.

Другу серію дослідів проводять, змінюючи лише подачу s . Аналогічно, як і для серії дослідів, коли змінювали t , знайдемо графічно (з рис. 37.3) для прямої

$$P_z = C''_{P_z} t^{y_{P_z}} \text{ значення } y_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{a_2}{b_2}.$$

Третю серію дослідів проводять лише для різців з пластинами із твердих сплавів. Показник степеня n_{P_z} знаходиться графічно з прямої $P_z = C'''_{P_z} v^{n_{P_z}}$.

Значення коефіцієнта C_{P_z} для кожного дослідів визначають за формулою:

$$C_{P_z} = \frac{P_z}{t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}}}. \quad (37.6)$$

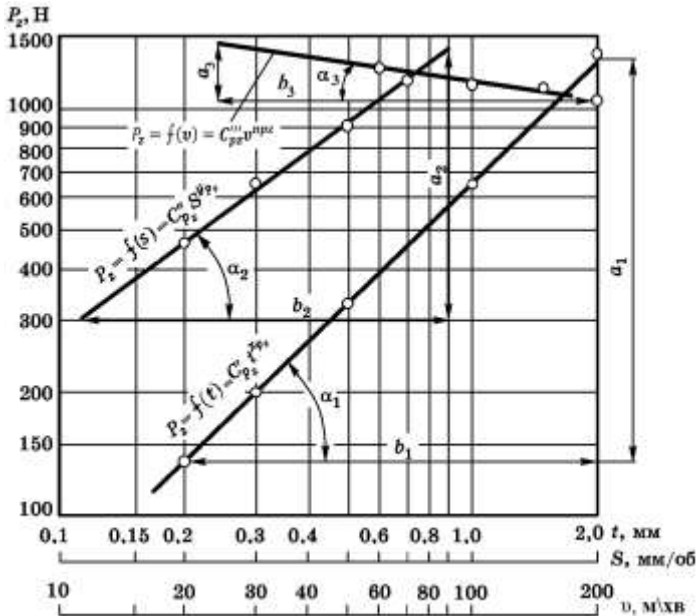


Рис. 37.3. Залежність головної складової сили різання від глибини різання, подачі і швидкості різання при точінні в логарифмічних координатах

У формулу (37.6) підставляють дослідні значення t , s , v і відповідні їм значення P_z . Значення x_{P_z} , y_{P_z} , n_{P_z} визначають графічним способом. Для точності значення C_{P_z} знаходять як середнє арифметичне з усіх отриманих значень. Значення коефіцієнтів C_P і показників степенів x_P , y_P , n_P для складових сили різання P_x і P_y визначають так само, як і для P_z .

На практиці знаходять переважно значення P_z , а значення P_x і P_y визначають за співвідношеннями:

$$P_y = (0,4 \dots 0,6) P_z; \quad P_x = (0,2 \dots 0,4) P_z; \quad R \approx 1,1 P_z. \quad (37.7)$$

Послідовність виконання роботи:

1. Вивчити конструкцію силовимірювального комплексу УДМ-6000.

2. Відтарувати силовимірювальний комплекс для всіх складових сили різання. Побудувати тарувальний графік і підрахувати коефіцієнт переведення показання приладу в ньютони.

3. Провести дослідження значень складових сил різання при різних величинах глибини різання, подачі і швидкості різання на його складові сили. Результати досліджень занести у протокол (табл. 37.1).

4. Побудувати графіки залежностей складових сили різання від глибини різання, подачі та швидкості різання в логарифмічній системі координат.

Результати дослідження впливу глибини різання, подачі і швидкості різання на його складові сили

Таблиця 37.1.

Модель верстата				Матеріал заготовки						
Матеріал різця				Тип різця						
Геометрія різця		ϕ _____	ϕ_1 _____	α _____	γ _____	r _____				
Діаметр оброблення заготовки D , мм	Режим різання				Показання приладу					
	t , мм	s , мм/об	n , хв ⁻¹	v , м/хв	P_z		P_y		P_x	
					МА	Н	МА	Н	МА	Н

5. Визначити з графіків числові значення x_p , y_p , n_p .

6. З дослідних даних розрахувати значення C_p .

7. Записати емпіричні залежності P_z , P_y , P_x , отримані на основі дослідних даних, і порівняти з довідковими.

Зміст звіту

1. Сили, що діють на різець, їх використання та залежності.
2. Прилади для вимірювання складових сили різання.
3. Результати експериментів. Графіки. Розрахунки. Висновки.

Контрольні запитання. 1. Сили, які діють на різець. 2. Складові сили різання, залежності, використання. 3. Прилади для вимірювання складових сили різання. 4. Будова, принцип дії і тарування силовимірювального комплексу УДМ-6000. 5. Як графічно визначають показники степенів x_p , y_p , n_p ?

Лабораторна робота 38

Дослідження зношування різців

Мета роботи: ознайомитися з характером зносу леза різців, засвоїти методи і методику вимірювання значення зношування і визначити його допустиме значення.

Обладнання, матеріали та інструменти: токарний верстат, різці, заготовки, штангенциркуль, мікроскоп до твердоміра Брінелля чи інструментальний мікроскоп, змінні пластини, секундомір.

Теоретичні відомості

У процесі різання тертя стружки по передній поверхні інструменту, а поверхні різання заготовки по задній поверхні інструменту, теплові та інші фізико-хімічні процеси спричиняють затуплення різального інструменту. Залежно від умов різання, властивостей інструментального і оброблюваного матеріалів інструмент зношується переважно по задній головній (рис. 38.1, *а*) і по передній поверхнях (рис. 38.1, *б*). Найчастіше зношування відбувається одночасно по передній і задній поверхнях (рис. 38.1, *в*). При обробленні крихких матеріалів інструменти зношуються, як правило, по задній поверхні. Такий знос вимірюють як висоту стертої фаски h_3 (див. рис. 38.1, *а*).

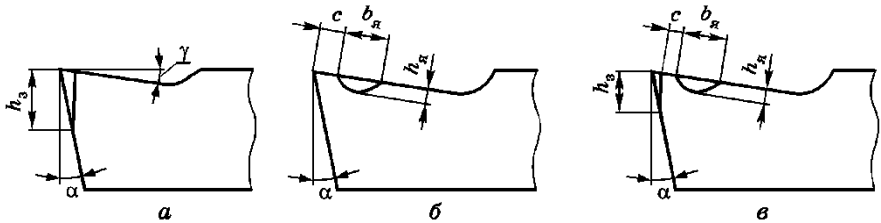


Рис. 38.1. Зони зношування різця

Найбільш небажаним є зношування по задній поверхні, що призводить до погіршення точності оброблення, зростання сил різання, збільшення шорсткості обробленої поверхні, підвищення температури в зоні різання.

У результаті зміни умов різання може переважати зношування по тій чи іншій поверхні.

Основною величиною яка характеризує зношування різця є висота його площадки зносу по задній поверхні інструменту h_3 . Її вимірюють з точністю до

0,1 мм, а при дослідженнях, де потрібна вища точність, — до 0,02...0,05 мм. Додатковими величинами зносу є глибина $h_{\text{я}}$ і ширина $b_{\text{я}}$ ямки на передній поверхні інструменту (рис. 38.1, б, в).

Значення зносу по задній поверхні визначають за допомогою лупи зі шкалою, мікроскопа до твердоміра Брінелля чи інструментального мікроскопа, а глибину ямки — індикатором з наконечником у вигляді голки. Сумарний знос можна визначити зважуванням.

Для раціональної експлуатації різального інструменту і одержання заданої якості оброблення встановлюють допустиме значення зносу, після досягнення якої робота інструменту має бути припинена, а інструмент — перезагострений.

Основним критерієм зносу різця є здебільшого його допустимий знос по задній поверхні. Для токарних твердосплавних різців допустимий знос по задній поверхні h_3 при чорновому обробленні сталі становить 0,8...1,2 мм, чистовому — 0,4...0,6 мм, при обробленні чавуну — відповідно 0,8...1,0 і 0,6...0,8 мм.

У разі чорнового оброблення сталі для повного і економічного використання інструменту вибирають таке значення зносу, при якому загальний період стійкості досягає максимального значення (критерій оптимального зносу):

$$T_{\text{заг}} = T(K + 1), \quad (38.1)$$

де: T — період стійкості інструменту, хв; K — кількість загострювань, яку допускає інструмент (пластинка).

Допустима кількість загострювань становить

$$K = \frac{l}{H}, \quad (38.2)$$

де: l — корисна ширина пластинки, мм; H — товщина однократно знятого шару пластини, мм;

$$l = \frac{2}{3}(b - 2), \quad (38.3)$$

де: b — ширина пластини різця, мм.

Товщину шару пластини при одному загострюванні вимірюють у напрямі передньої поверхні:

$$H = \frac{h_3}{\left(\frac{\cos \gamma}{\text{tg } \alpha} - \sin \varphi \right)} + a, \quad (38.4)$$

де: α , γ , φ — відповідно головний задній кут, передній кут і головний кут у плані різця; $a \approx 0,15$ — допуск на перезагострювання, мм; h_3 — знос різця по задній поверхні, мм.

У разі чистового оброблення сталі застосовують технологічний критерій. Інструмент вважають затупленим, якщо оброблена поверхня не відповідає технічним вимогам.

Послідовність виконання роботи:

1. Провести точіння заготовки при заданому режимі різання упродовж певних проміжків часу.
2. Після кожного певного часу точіння знімати різець (пластину) і заміряти значення зносу по задній поверхні мікроскопом до твердоміра Брінелля або іншим. Різальну кромку розмістити перпендикулярно до осі окуляра чи об'єктива мікроскопа.
3. Дослідження провести для різців з пластинами із твердих сплавів Т15К6 і ВК8 або двох інших. Результати досліджень занести у протокол (табл. 38.1).

Результати дослідження зносу різців

Таблиця 38.1.

Модель верстата _____		Матеріал заготовки _____				
Матеріал різця _____		Тип різця _____				
Геометрія різця		φ _____	φ_1 _____	α _____	γ _____	r _____
Діаметр оброблення заготовки D , мм	Режим різання				mB	θ , °C
	t , мм	s , мм/об	n , хв ⁻¹	v , м/хв		

4. Побудувати графіки залежностей зносу різця по задній поверхні від часу різання $h_3 = f(T)$.

5. Визначити кількість загострювань інструменту, взявши час роботи до відповідного зносу по задній поверхні h_3 як стійкість різця T .

6. За заданим допустимим зносом по задній поверхні з графіка $h_3 = f(T)$ визначити період стійкості різця.

7. Знайти загальний період стійкості.

Зміст звіту

1. Види зносу інструментів.
2. Зони зносу різця і вплив на них умов різання.
3. Критерії допустимого зносу різців.
4. Результати дослідів. Графіки. Розрахунки.

Контрольні запитання. 1. Види зношування інструментів. 2. Зони зносу інструментів. 3. Як впливають умови різання на знос різця по зонах? 4. Критерії допустимого зносу інструменту. 5. Допустимий (оптимальний) знос інструментів. 6. Яка допускається кількість загострювань інструменту (різця)? 7. Характер зміни зносу інструменту від часу роботи.

Лабораторна робота 39

Вплив параметрів режиму різання на температуру різання при точінні

Мета роботи: вивчити конструкції приладів для вимірювання температури при обробленні різанням, дослідити вплив режиму різання на середню температуру різальної кромки при точінні.

Обладнання, матеріали та інструменти: токарний верстат, заготовка, штангенциркуль, термомпара, різець, електроізоляційні матеріали, пристрій для тарування термопари.

Теоретичні відомості

У процесі різання матеріалів робота різання зумовлює утворення теплоти. Теплота розподіляється між стружкою (60...85 %), різцем (1...5 %), заготовкою (15...35%) і навколишнім середовищем (0,5...3 %).

На практиці найбільше враховують теплоту, яка зумовлює нагрівання заготовки та інструменту. Нагрівання заготовки забезпечує зміну її розмірів. Нагрівання різального інструменту знижує його зносостійкість і може спричинити зміну розмірів деталі через теплові деформації інструменту. В зоні різання інструмент може нагріватися до температури 800...1000°C.

Методи вимірювання температури поділяють на контактні і безконтактні. До контактних належать такі методи: калориметричний, термомпар, термоопору, термоіндикаторів, волоконно-оптичний, кварцових термометрів, термотранзис-

торів, калориметричний. Безконтактні методи: інфрачервоних перетворювачів (інфрачервоні пірометри, тепловізори), ультразвукових термометрів.

Для вимірювання температур у процесі різання широко використовують термопари: штучні, напівштучні, природні. Метод штучної термопари (рис. 39.1, *a*) забезпечує вимірювання температури різця біля різальної кромки. Для цього в отвір, який на 0,2...0,5 мм не доходить до передньої поверхні різця *1*, вставляють термопару *5* (хромель — алюмель та ін.). До кінців термопари *5* підключають гальванометр *3*. Термопара ізолюється трубкою *4*. Значною перевагою цього методу є можливість використання стандартних термопар, які не потребують спеціального тарування. Недолік методу полягає у вимірюванні температури на певній глибині від контактних поверхонь інструменту, через що температура на 50...80 °С нижча від дійсної.

У напівштучній термопарі (рис. 39.1, *б*) одним елементом є інструмент *1*, а другим *5* — провідник з іншого матеріалу. Напівштучна термопара у виготовленні складніша за штучну і потребує спеціального тарування. Провідник *5* розміщують в ізоляторі *4*.

У дослідній практиці використовують одноінструментні (однорізцеві) і двоінструментні (дворізцеві) природні термопари. В однорізцевій термопарі (рис. 39.1, *в*) термоелементами є інструмент *1* і заготовка *2*, а в двоінструментній (рис. 39.1, *г*) — два інструменти, виготовлені з різних матеріалів. Дворізцева природна термопара має переваги перед однорізцевою, оскільки вона тарується один раз для певної пари інструментів незалежно від оброблюваного матеріалу. Крім того, немає потреби у струмознімачах. До недоліків дворізцевої термопари належать складніше налагодження інструментів, підвищена витрата оброблюваного матеріалу і неможливість забезпечення повної ідентичності умов теплообміну для обох інструментів.

В одноінструментній природній термопарі застосовують три варіанти ізолювання заготовки і різця.

При першому варіанті (див. рис. 39.1, *в*) заготовка *2* і різець *1* ізолюються від верстата. Термострум спрямовується від різця *1* через заготовку *2*, струмознімач на гальванометр *3*. В двох інших варіантах різець ізолюється від верстата і через мілівольтметр з'єднується з корпусом верстата (наприклад, через піноль) або з деталлю (якомога ближче до зони різання) через ковзний контакт.

Тарування природної термопари (рис. 39.2). Для тарування термопари в розплавленому легкоплавкому металі (свинець, олово, стійбій та ін.) тигель *2* з металом завантажують в електродіч *1*.

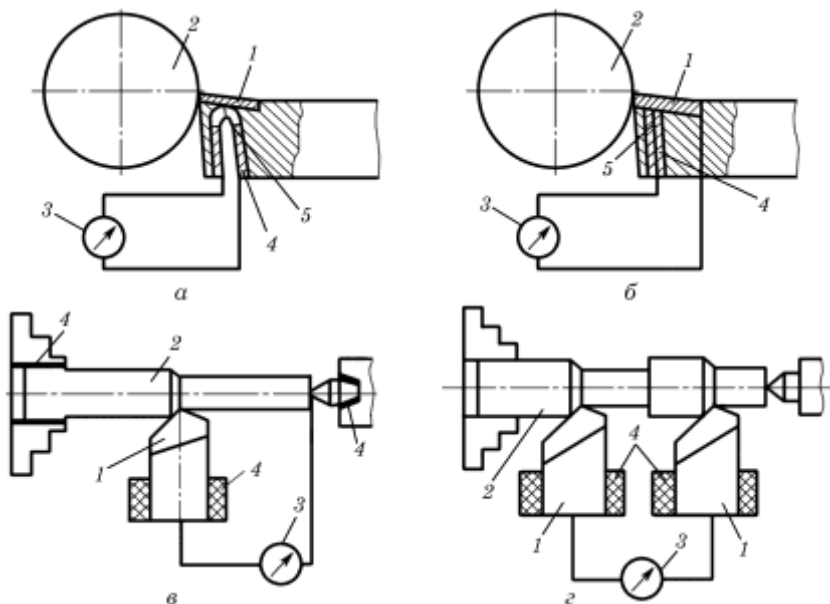


Рис. 39.1. Схеми вимірювання температури різання методом термопар:
 а — штучна термопара; б — напівштучна; в — одноріцева природна;
 г — дворіцева природна

Стрижні пластин 3 і 4 з оброблюваного й інструментального матеріалів опускають на однакову глибину в розплавлений метал, а до їхніх кінців під'єднують мілівольтметр 6. Між стрижнями розміщують контрольну термопару 5 з гальванометром 7, який проградуїований у градусах. Нагріваючи і охолоджуючи розплав, будують тарувальний графік $\theta = f(E)$ між показаннями гальванометра 7 (у градусах) і мілівольтметра 6 (у мілівольтах).

На температуру різання впливають властивості оброблюваного й інструмен-

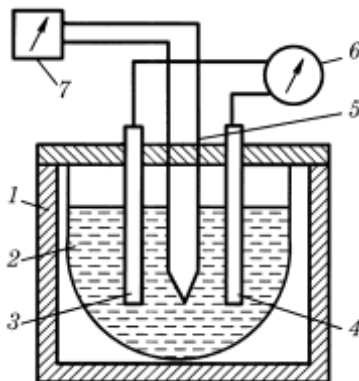


Рис. 39.2. Схема тарування термопар

тального матеріалів, елементи режиму різання, геометрія інструменту, мастильно-холодильні речовини та ін.

Механізм впливу різних чинників на температуру різання зумовлений силою різання і умовами тепловідведення. Так, підвищення міцності, твердості й пластичності оброблюваного матеріалу збільшує, а збільшення його теплопровідності зменшує температуру в зоні різання.

Із параметрів режиму різання на температуру різання найбільше впливає швидкість різання v , менше подача s і найменше глибина різання t . Крім цього, інтенсивність впливу падає зі збільшенням цих параметрів різання.

Залежність температури різання від його режиму, отриману дослідним шляхом, виражають формулою

$$\theta = C_{\theta} t^{x_{\theta}} s^{y_{\theta}} v^{n_{\theta}}, \quad (39.1)$$

де: C_{θ} — коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки, матеріалу різця і умов різання; v — швидкість різання, м/хв; s — подача, мм/об; t — глибина різання, мм; x_{θ} , y_{θ} , n_{θ} — показники степенів, що враховують вплив, відповідно, t , s , v на температуру в зоні різання.

Послідовність виконання роботи:

1. Протарувати термопару і побудувати тарувальний графік.
2. Закріпити заготовку в патроні і центрі задньої бабки токарного верстата.
3. Провести три серії дослідів, пов'язаних із визначенням температури різання: перша при змінній швидкості різання; друга при змінній подачі; третя при змінній глибині різання. Температуру заміряти після її стабілізації. Результати досліджень занести до табл. 39.1.
4. Побудувати в логарифмічних координатах такі графіки залежності: температури різання θ від глибини різання t ; $\theta = f(s)$; $\theta = f(v)$.
5. Графічним способом знайти показники степенів x_{θ} , y_{θ} , n_{θ} так само, як при визначенні складових сили різання.
6. Визначити розрахунком C_{θ} як його середнє значення, що розраховане для кожного дослідів.
7. Числові значення C_{θ} , x_{θ} , y_{θ} , n_{θ} , отримані в дослідів, підставити у формулу $\theta = C_{\theta} t^{x_{\theta}} s^{y_{\theta}} v^{n_{\theta}}$ і порівняти з довідковими.
8. Зробити висновки, як t , s і v впливають на температуру різання.

Результати дослідження впливу параметрів режиму різання на температуру різання при точінні

Таблиця 39.1

Модель верстата _____			Матеріал заготовки _____		
Матеріал різця _____			Ширина пластини _____		
Тип різця _____					
Геометрія різця	φ _____	φ_1 _____	α _____	γ _____	r _____
Режим різання	t , мм	s , мм/об	n , хв ⁻¹	v , м/хв	
Діаметр оброблення заготовки D , мм	Час різання T , хв	Знос по задній поверхні h_3 , мм	Товщина пластини H , мм	Кількість загострювань	Загальний період стійкості $T_{заг}$, хв

Зміст звіту

1. Методи вимірювання температури в процесі різання.
2. Суть способів вимірювання температури різання методом термопар. Тарування термопар.
3. Результати дослідів і графіки залежностей $\theta = f(v)$; $\theta = f(t)$; $\theta = f(s)$.
4. Розрахунки значень C_θ , x_θ , y_θ , n_θ . Формула залежності $\theta = f(v, t, s)$. Висновки.

Контрольні запитання. 1. Процеси, які зумовлюють утворення теплоти при різанні. 2. Як розподіляється теплота в процесі різання? 3. Методи вимірювання температури в зоні різання. 4. Різновиди методу термопари. 5. Тарування термопар. 6. Чинники, які впливають на температуру різання? 7. Суть графічного способу визначення показників степенів і коефіцієнта C_θ у формулі температури різання.

Лабораторна робота 40 Загострювання різальних інструментів

Мета роботи: вивчити і освоїти методику загострювання різальних інструментів; вивчити будову загострювальних верстатів і навчитися загострювати інструменти.

Обладнання, матеріали та інструменти: точильно-загострювальний і універсально загострювальний верстат, з комплектом пристроїв, токарні різці, абразивні круги, свердла, фрези, зенкери, універсальний кутомір, кутомір Бабчиніцера або інший для фрез, штангенциркуль ШЦ – 200 – 0,05 ГОСТ 166 - 80

Теоретичні відомості

У процесі різання інструмент зношується переважно по задній або передній поверхнях чи одночасно по обох поверхнях леза.

Леза інструменту відновлюють загострюванням і доведенням.

Характеристики кругів і режими загострювання різального інструменту наведено в табл. 40.1 і 40.2. Як охолодну рідину для загострювання використовують 2...5%-й розчин соди у воді або 5...10%-й розчин емульсолу у воді.

Характеристики кругів для загострювання і режими чорнового загострювання різального інструменту торцем круга

Таблиця 40.1

Основні дані	Швидкорізальна сталь		Твердий сплав		Твердий сплав, кераміка, надтверді матеріали
	із задовільним шліфуванням Р18, Р12, Р6М5 та ін.	зі зниженим шліфуванням Р9К5, Р12Ф3, Р6М5К5 та ін.	із задовільним шліфуванням ВК8, ВК6, Т5К10 та ін.	зі зниженим шліфуванням ВК3, Т15К6 та ін.	
1	2	3	4	5	6
Абразивний матеріал	Електрокорунд 24А, 25А	33А, 44А, 45А	Карбід силіцію 63С, 64С		Синтетичний алмаз АС6, АС4
Зернистість	40...25	40...25	40...25	40...25	125/100...100/80
Твердість	СМ1...СМ2	М3...СМ1	СМ1...СМ2	М2...М3	—

Продовження табл. 40.1

1	2	3	4	5	6
Номер структури чи концентрація	6...7	7...8	5...6	6...7	100 %
Зв'язка	Керамічна К1, К5, К8		Керамічна К3		Металева М1, МК, М5
Швидкість круга, м/хв	20...25	16...18	12...15	10...12	16...18
Поздовжня подача, м/хв	3...6	3...6	5...8	5...8	1...2
Глибина шліфування, мм	0,04...0,06	0,02...0,04	0,08...0,12	0,06...0,08	0,02...0,03
Охолодження	З охолодженням		Без охолодження або з подачею ЗОР не менше ніж 8 л/хв		З охолодженням

Характеристики шліфувальних кругів і режими заключного загострювання і доведення різального інструменту

Таблиця 40.2

Основні дані	Заключне загострювання		Доведення		
	Швидко-різальна сталь	Твердий сплав, кераміка, надтверді матеріали	Швидкокорізальна сталь		Твердий сплав, кераміка, надтверді матеріали
1	2	3	4		5
Абразивний матеріал	Ельбор ЛО	Синтетичний алмаз АС2	Ельбор ЛО	Карбід силіцію 63С	Синтетичний алмаз АС2
Зернистість	12...10	80/60... 50/40	8...6	6...5	40/28... 28/20
Твердість	С1...С2	—	—	М3...СМ1	—

Продовження табл. 40.2

1	2	3	4		5
Номер структури чи концентрація	100 %	100 %	50 %	5...6	50 %
Зв'язка	Вулканітова В2-01			Бакелітова Б	Вулканітова В2-01
Швидкість круга, м/хв	25...30	25...30	18...20	25...30	25...30
Поздовжня подача, м/хв	1...2	1...2	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3
Глибина шліфування, мм	0,02... 0,03	0,01... 0,02	0,005... 0,01	0,005... 0,01	0,005... 0,01
Охолодження	Без охолодження чи з подачею ЗОР не менше ніж 5 л/хв		Без охолодження		

Загострювальні верстати бувають прості, універсальні і спеціалізовані. Прості загострювальні верстати (точила) використовують для ручного загострювання різців, ножів до фрезерних головок, свердел, зубціл. На універсально-загострювальних верстатах заточують різні типи різальних інструментів. Верстати забезпечуються пристроями для встановлення загострюваних інструментів.

Спеціалізовані загострювальні верстати призначені для загострювання одностипних інструментів (різців, свердел, черв'ячних фрез, протяжок тощо).

Точильно-шліфувальний верстат моделі ЗК634. Верстат (рис. 40.1) має станину 1 на якій закріплена шпиндельна бабка 6 з вмонтованим електродвигуном. На обох кінцях шпинделя встановлені шліфувальні круги 4. На одному кінці(зліва) встановлюють круг з електрокорунду для загострювання інструментів із швидкорізальної сталі, а на іншому – з карбїду кремнію зеленого для загострювання твердосплавних інструментів. Для встановлення різця (інструменту) є підручники 3 і 7 кут нахилу яких регулюється. Підручник 7 можна переміщувати перпендикулярно до торця круга і нахилати під необхідним кутом за допомогою пристрою 8.

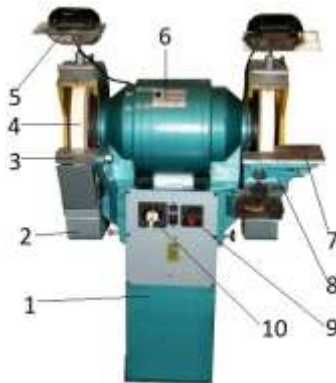


Рис. 40.1 Зовнішній вигляд точильно-шліфувального верстата 3К634: 1 – станина; 2 – кожух; 3,7 – підручник; 4 – шліфувальний круг; 5 - ліхтар; 6 – шпindelна бабка; 8 – пристрій регулювальний; 9 – панель «Пуск», «Стоп»; 10 – перемикач частоти обертання

Універсально-загострювальні верстати призначені для загострювання різних інструментів в умовах середнього машинобудування.

Універсально-загострювальний верстат 3М642 (рис. 40.2) складається із станини 18, полозків 2, шліфувальної бабки 5, колони 3, основи стола 19, стола 8, закріпленого на повзуні 20.

Поперечна подача шліфувальної бабки 5 здійснюється переміщенням полозків 2. Колонна 3 може швидко підніматися і опускатися від двигуна, а вручну — маховиком 6. Шліфувальна бабка 5 повертається в горизонтальній площині на необхідний кут. Шпindel 7 обертається від двигуна 4 і зміщується вздовж осі. Стіл отримує лише поздовжню подачу, а шліфувальна бабка 5 — поперечно разом із полозками 2.

Органами керування є: 1 і 17 — маховик ручної поперечної подачі; 6 — маховик піднімання та опускання шліфувальної бабки; 9 — сигнальна лампочка вмикання верстата; 10 — тумблер піднімання та опускання шліфувальної бабки; 11 — маховик ручної сповільненої поздовжньої подачі стола; 12 — кнопка «Пуск»; 13 — кнопка «Стоп»; 14 — перемикач частот обертання шпинделя; 15 — перемикач напряму обертання шпинделя; 16 — вмикач охолодження.

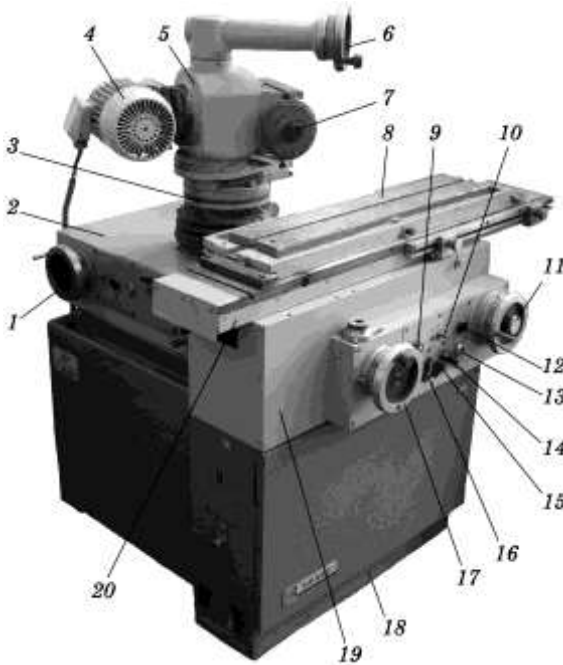


Рис. 40.2. Універсально-загострювальний верстат 3М642

Для загострювання інструментів на універсально-загострювальних верстатах використовують такі пристрої: центрові бабки, велику універсальну головку, малу універсальну головку, пристрій для круглого шліфування, універсальну підпірку, універсальні і похило-поворотні лещата, підручник, пристрій для правлення кругів та ін.

Центрові бабки (рис. 40.3, а) служать для загострювання інструментів у центрах: кінцевих фрез на циліндричній частині, зенкерів і розверток на калібрувальній частині по передній і задній поверхнях мітчиків по передній поверхні та ін.

Велика (рис. 40.3, в) і *мала* (рис. 40.3, з) універсальні

головки використовуються для загострювання торцевих і нахилених різальних лез фрез, зенкерів і свердел, які закріплюються за хвостовик (консольно). Для загострювання багатолезового інструменту з точним розміщенням зубців на велику універсальну головку ставлять ділильний механізм. Обидві головки дозволяють повернути інструмент навколо своєї осі та ще двох осей – велика головка і трьох осей – мала головка.

Універсальна підпірка (рис. 40.3, б) призначена для правильної орієнтації зубця багатолезового інструменту під загострювання наступного зубця.

Похило-поворотні лещата (рис. 40.3, д) використовують для загострювання різців і плоских протяжок та дозволяють повернути їх навколо двох осей на 360°, а третьої осі на 90°.

Загострювання різців. Більшість різців загострюють по передній і задній поверхнях. При незначному зношуванні різців по передній поверхні їх раціона-

льно загострювати лише по задній поверхні. Фасонні різці загострюють лише по передній поверхні, а різці для багаторіцевих верстатів — лише по задніх поверхнях. Для економного використання різців установлені норми згострювання різців. Так, сточування токарних різців по задній поверхні при чорновому обробленні для швидкорізальних сталей становить 0,6...0,9 мм, твердих сплавів — 0,3...0,6; при чистовому — відповідно 0,3...0,4 і 0,15...0,4 мм.



а



б



в



г



д

Рис. 40.3. Пристрої до універсально-загострювального верстата

Використовують дві схеми повторного загострювання твердосплавних різців. За першою схемою проводять попереднє загострювання кругом з карбіду кремнію, а кінцеве — алмазним кругом. Друга схема передбачає повне оброблення алмазним кругом за одну операцію. Повне алмазне загострювання економічно доцільно проводити, якщо обробляється лише твердий сплав з припуском 0,4...0,5 мм, а якщо одночасно твердий сплав і державка, то з припуском 0,2...0,3 мм. У разі більших припусків економічно доцільним є повторне загострювання за першою схемою. При великих припусках застосовують електрохімічне алмазне загострювання.

Задні поверхні різців найчастіше загострюють торцем круга. Канавки шліфують плоскими кругами з напівкруглим профілем 1FF1X (A5П). Найчастіше канавки обробляють методом врізування кругом діаметром 30...50 мм. Якщо канавки не замкнуті, то їх обробляють з поздовжньою подачею.

Передні поверхні і стружколамальні поріжки найраціональніше обробляти торцем круга 12A2 (AT) з шириною алмазного шару не більше ніж 3 мм на загострювальних верстатах із вертикальним шпинделем.

Найчастіше загострювання і доведення різців виконують у такій послідовності:

- загострювання передньої поверхні;
- загострювання головної задньої поверхні по державці;
- загострювання фаски на передній поверхні;
- загострювання головної задньої поверхні по пластині;
- загострювання допоміжної задньої поверхні по пластині;
- загострювання задньої поверхні по радіусу вершини леза;
- загострювання ямок, канавок або стружколамаючих поріжків;
- доведення фаски на передній поверхні;
- доведення вершини леза по радіусу.

Загострювання різців на точильно-шліфувальних верстатах (точилах) виконується вручну з використанням опори або поворотного столика (рис. 40.4) для встановлення різця.

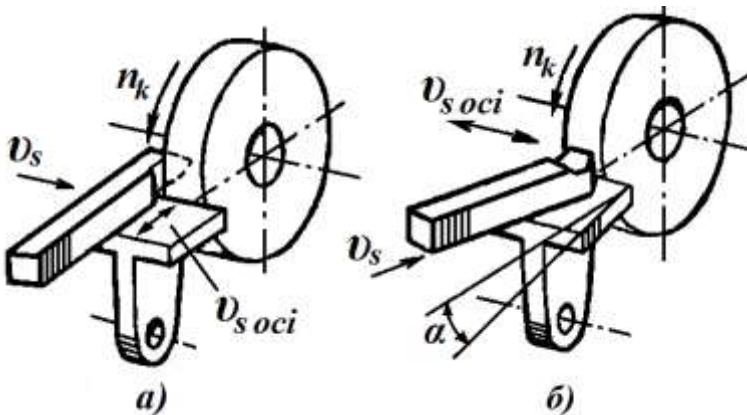


Рис. 40.4. Загострювання передньої (а) і задньої (б) поверхонь на точилі

При використанні кругів прямого профілю загострювання по передній поверхні виконується боковою поверхнею (торцем) круга (рис. 40.4, *a*).

Для цього опора виставляється під кутом γ у вертикальній площині перпендикулярній торцю круга. Різець бічною поверхнею базується на плоскій поверхні опори притискується передньою поверхнею до торця круга і переміщується вздовж торця, поперемінно в протилежних напрямках.

Для загострювання задніх поверхонь опору повертають на величину заднього кута α або α_1 (рис. 40.4, *б*) у площині перпендикулярній до периферії круга. Різець основою кладуть на опору і повертають на кут ϕ для загострювання по головній задній поверхні або на кут ϕ_1 при загострюванні по допоміжній задній поверхні, притискують до периферії круга і переміщують на опори вліво і вправо поперемінно.

Щоб забезпечити належну точність кутів леза при загострюванні на опори можуть встановлюватися додаткові елементи (лінійки, транспортери) і пристрої для закріплення різця та його переміщення під час загострювання.

На універсально-загострювальних верстатах різці загострюють торцем чи периферією шліфувального круга переважно в триповоротних лещатах. Для настроювання триповоротних лещат користуються наближеними формулами (табл. 40.3) для визначення кутів повороту по шкалах А, Б, В. Якщо значення кута із знаком (+) то повертати за часовою стрілкою, а якщо (-) то проти часової.

Розрахункові значення кутів для прохідних різців вибирають, користуючись табл. 40.4. Положення триповоротних лещат при загострюванні різців наведено на рис. 40.5.

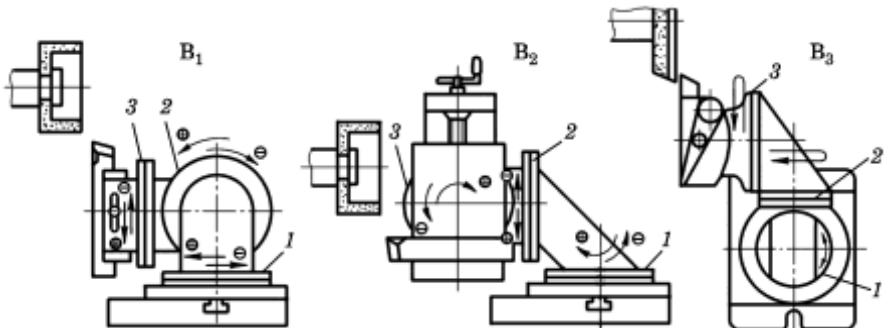


Рис. 40.5. Вихідні положення різця V_1, V_2, V_3 при загострюванні в триповоротних лещатах 1, 2, 3.

1 – шкала А; 2 – шкала Б; 3 – шкала В

Наближені формули настрівання триповоротних лещат для загострювання різця

Таблиця 40.3

Загострювання	Поверхня яка загострюється	Вихідне положення	Кут установлення по шкалах		
			А	Б	В
Периферією круга	Головна задня	V_1	Довільний	$+\alpha$	$+\varphi_p$
	Допоміжна задня	V_1		$+\alpha_1$	$-\varphi_{1p}$
	Передня	V_2		$\gamma \sin \varphi_p + \lambda \cos \varphi_p$	$\lambda_p \sin \varphi_p - \gamma \cos \varphi_p$
Торцем круга	Головна задня	V_2	φ_p	$90 - \alpha \sin \varphi_p$	$90 + \alpha \cos \varphi_p$
	Допоміжна задня	V_2	$-\varphi_{1p}$	$90 + \alpha_1 \sin \varphi_{1p}$	$90 + \alpha_1 \cos \varphi_{1p}$
	Передня	V_1	$-\lambda_p$	$90 - \gamma$	$-\varphi_p$
	Головна задня	V_3	0	$90 + \alpha$	$+\varphi_p$
	Допоміжна задня	V_3	0	$90 + \alpha_1$	$-\varphi_{1p}$
	Передня	V_3	λ_p	$\gamma \cos \lambda_p$	$+\varphi_p$

Значення розрахункових кутів при загострюванні різця

Таблиця 40.4.

Різці	Різновиди різців	Розрахунковий кут		
		φ_p	φ_{1p}	λ_p
Прохідні	Правий	φ	φ'	λ
	Лівий	$-\varphi$	$-\varphi_1$	$-\lambda$
Розточувальні, підрізні, відрізні	Правий	$90 - \varphi$	$90 + \varphi_1$	$-\lambda$
	Лівий	$-(90 - \varphi)$	$-(90 + \varphi_1)$	$+\lambda$

Загострювання свердел. Свердла зношуються по передній і задній поверхнях, по стрічці і поперечній кромці.

Спіральні свердла загострюють переважно по задніх поверхнях, дотримуючись норм допустимого зносу.

Для підвищення точності свердління кут нахилу поперечної кромки рекомендується брати $\psi = 60^\circ \pm 5^\circ$, а для підвищення стійкості свердел — $\psi = 45^\circ \pm 5^\circ$. Допустимі відхилення кутів 2φ і α становлять до $\pm 3^\circ$.

Задні поверхні свердла загострюють по криволінійних поверхнях або по площинах. Криволінійні задні поверхні виконують такими способами загострювання: гвинтове, конічне, складно – гвинтове, еліптичне, фасонне та ін.

Найпоширенішим є загострювання свердел по конічній поверхні. При конічному загострюванні (рис. 40.6) задня поверхня кожного зубця формується як частина конуса.

При загострюванні свердло разом із пристроєм повертають навколо осі OO уявного конуса. В процесі загострювання свердло подається вздовж його осі до шліфувального круга, у результаті чого задня поверхня буде частиною поверхні уявного конуса. Оскільки свердло має дві задні поверхні, то загострювання за цим способом потребує дворазового встановлення свердла.

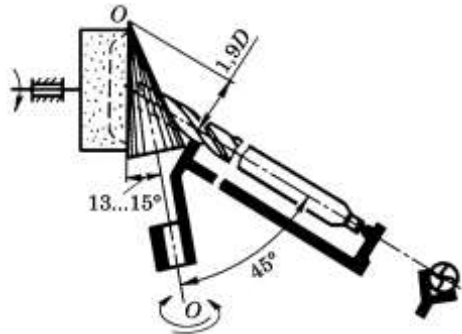


Рис. 40.6. Схема конічного загострювання свердла

Кут установлення свердла $\varphi_0 = \varphi - \Delta\varphi$ беруть дещо меншим, ніж половина кута свердла при вершині φ . При $\alpha = 6^\circ$ і 2φ до 140° $\Delta\varphi = 0$; для $\alpha = 12^\circ$ і $2\varphi = 118...140^\circ$ $\Delta\varphi = 1...2^\circ$; для $\alpha = 18^\circ$ і $2\varphi = 118...140^\circ$ $\Delta\varphi = 2...4^\circ$.

Свердла, оснащені пластинами з твердого сплаву найчастіше загострюють по двох площинах. Спочатку загострюють затилкову поверхню з $\alpha = 25...30^\circ$ кругом із зеленого карбіду силіцію. Потім алмазним кругом загострюють ділянку твердосплавної пластини, яка прилягає до головної кромки з $\alpha_1 = 16^\circ$. Монолітні твердосплавні свердла загострюють алмазним кругом.

Поширені площинні методи загострювання задньої поверхні свердел (рис. 40.7).

Одноплосинне загострювання (рис. 40.7, а) використовують для свердел діаметром до 3 мм. Щоб кінець зубця не впирався в дно просвердленого отвору, що може привести до викришування головних кромки, задній кут в циліндрич-

ному перенарізі повинен бути не меншим ніж 28...30°. Для зменшення заднього кута видаляють затилкову частину зубця.

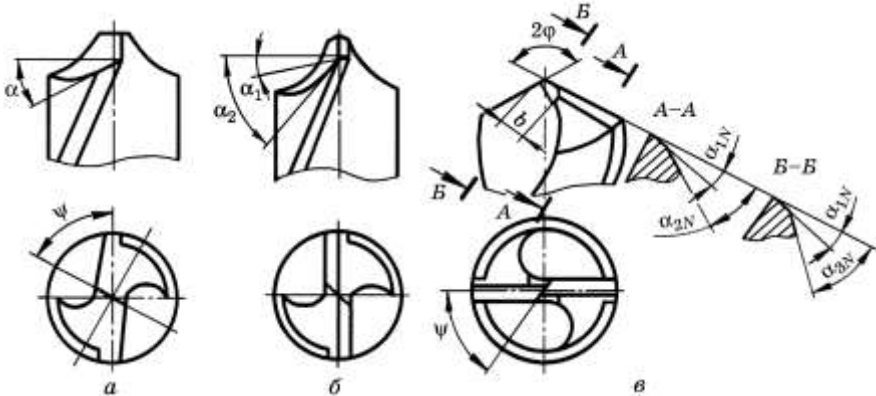


Рис. 40.7. Площинне загострювання задньої поверхні свердел:
a — одноплощинне; *б* — двоплощинне; *в* — триплощинне

При двоплощинному загострюванні (рис. 40.7, *б*) задній кут першої площини α вибирають залежно від оброблюваного матеріалу.

Задній кут другої площини $\alpha_2 = 25...40^\circ$. Зі збільшенням цього кута зменшується осьова сила і підвищується точність свердління, але знижується міцність різального клина.

Для двоплощинного загострювання свердла на універсально-загострюваному верстаті універсально-загострювальну головку повертають відносно осей *A*, *B* і *B* (рис. 40.8) на відповідні кути по шкалах *A*, *B*, *B*:

$$B = 0^\circ; \operatorname{tg} B = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg} \varphi}; \operatorname{tg} A = \operatorname{ctg} \varphi \cos B, \quad (40.1)$$

якщо $A=0$; то

$$\operatorname{tg} B = 90 - \theta; \operatorname{tg} B = \frac{\operatorname{cot} \varphi}{\cos \theta} \quad (40.2)$$

де: *A*, *B*, *B* — кути повороту відносно осей *A*, *B*, *B*; θ — кут між нормаллю до задньої поверхні і площиною, проведеною через головну різальну кромку і вектор подачі, виміряний у торцевій площині свердла.

Значення кута θ визначають за такими залежностями:

- ♦ для площини під кутом α_1

$$\operatorname{tg} \theta_{\alpha_1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi - \sin \mu}{\cos \mu}; \quad (40.3)$$

- ♦ для площини під кутом α_2

$$\operatorname{tg} \theta_{\alpha_2} = 2 \operatorname{ctg} \psi - \operatorname{tg} \theta_{\alpha_1}, \quad (40.4)$$

де: $\alpha_1, \alpha_2, \varphi, \psi$ — відповідно, головний задній кут для першої площини, задній кут для другої площини, головний кут у плані і кут нахилу перемички(поперечної кромки);

$$\sin \mu = \frac{d_0}{D}, \quad (40.5)$$

де: d_0 — діаметр серцевини свердла, мм; D — діаметр свердла, мм.

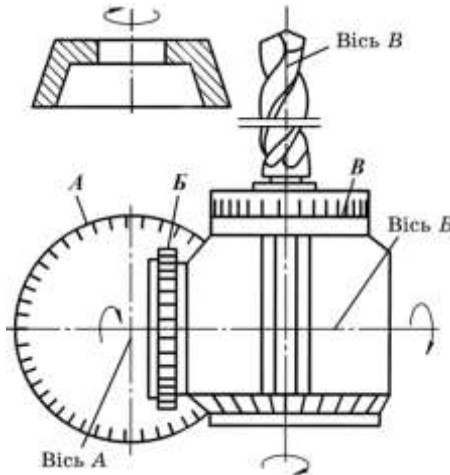


Рис. 40.8. Схема розміщення осей універсально-загострювальної головки

При триплощинному загострюванні (рис. 40.7, в) затилкова частина задньої поверхні розділена на дві ділянки. Периферійна ділянка має задній кут $\alpha_{2N} \approx 25^\circ$. Ділянка b , що прилягає до серцевини, має більший задній кут $\alpha_{3N} = 35 \dots 40^\circ$, що поліпшує центрування свердла.

Для підвищення стійкості свердел і збільшення допустимої швидкості різання окрім нормального (Н) загострювання (головна різальна кромка пряма лінія) використовують подвійне і потрійне загострювання головної різальної кромки, підгострювання перемички, підгострювання стрічки тощо.

Подвійне загострювання полягає в утворенні на зубцях свердла перехідних прямолінійних кромок з кутом $2\varphi_1 = 70...75^\circ$ і завширшки $b = 0,2D$ або перехідних радіусних кромок з $R = 0,2D$.

Поперечну кромку підгострюють у швидкорізальних свердел, призначених для оброблення високоміцних матеріалів, у твердосплавних свердел, а також у свердел, які мають діаметр серцевини $d_0 \geq 0,2D$. При підгострюванні поперечної кромки свердло і шліфувальний круг повертають на певні кути відносно напрямку поздовжньої подачі. Кути повороту становлять: для шліфувального круга — 5° , для свердла навколо горизонтальної осі — $22...25^\circ$, навколо вертикальної осі — $10... 25^\circ$, навколо своєї осі — $0...15^\circ$. Шліфувальному кругу забезпечують радіусну правку з $R \approx D/4$.

Загострювання зенкерів і розверток.

Зенкери і розвертки загострюють, як правило, на універсальних загострювальних верстатах (переважно по задній поверхні леца), закріплюючи їх у центрах.

Зенкери із затіленими зубцями загострюють тільки по передній поверхні, а твердосплавні — по передній і задній поверхнях леца.

Передню поверхню зубця зенкера чи розвертки загострюють тарілчастим кругом. Інструмент з прямими зубцями загострюють торцем, а гвинтові зубці — конічною стороною круга. Для радіального встановлення робочої поверхні круга використовують спеціальний шаблон.

Якщо передній кут на калібрувальній частині не дорівнює нулю, то стіл із зенкером зміщують в перпендикулярному до осі зенкера напрямку на відстань h_1 від вертикальної осьової площини до загострювального зубця, яку визначають з виразу.

$$h_1 = \frac{D \sin \gamma}{2 \cos \beta}, \quad (40.6)$$

де: D — діаметр інструменту, мм; γ — передній кут на калібрувальній частині; β — кут правки круга (під час роботи торцем круга $\beta = 0$).

При загострюванні інструменту з гвинтовими зубцями кут між осями шліфувального круга та інструменту (кут повороту загострювальної головки) має становити $\theta = (90^\circ - \omega) + (1...3)^\circ$, де ω — кут нахилу гвинтового зубця.

Задню поверхню на калібрувальній частині загострюють у центрах. Вісь центрів розміщується паралельно поздовжній подачі стола.

При загострюванні торцем круга вершину зубця (рис. 40.9, а) за допомогою підпірки встановлюють нижче від горизонтальної осьової площини інструменту на величину h :

$$h = 0,5D \sin \alpha_\tau \approx 0,01D\alpha_\tau \quad (40.7)$$

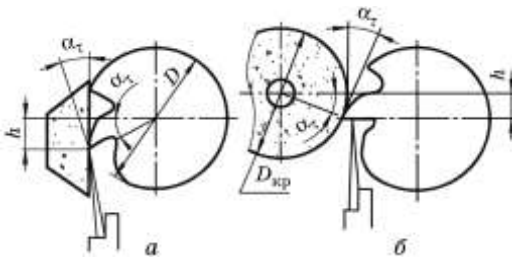


Рис. 40.9. Схема встановлення круга при загострюванні задньої поверхні зенкера і розвертки торцем (а) і периферією (б) круга

де: α_τ — задній кут у торцевому перенарізі; $\text{tg } \alpha_\tau = \text{tg } \alpha_N \cos \omega$, α_N — задній кут у перенарізі, перпендикулярному до різальної кромки.

При загострюванні периферією круга (рис. 40.9,б) підпірку розміщують у горизонтальній осьовій площині інструменту, а вісь шліфувального

круга зміщують вгору на величину h :

$$h = 0,5D_{\text{кр}} \sin \alpha_\tau \approx 0,01D_{\text{кр}}\alpha_\tau, \quad (40.8)$$

де: $D_{\text{кр}}$ — діаметр круга, мм.

При загострюванні інструменту з прямими зубцями підпірку закріплюють на столі верстата так, щоб упорне лезо торкалося передньої поверхні загострюваного зубця якомога ближче до різальної кромки (не далі ніж 0,5 мм).

При загострюванні інструменту з гвинтовими зубцями опорне лезо підпірки ставлять під кутом ω до осі інструменту. Підпірка призначена як для поділу інструменту, так і для надання йому гвинтового руху. Величина зміщення підпірки виставляється по середній точці опорного леза.

Задні поверхні зубців різальної частини загострюють так само, як і калібрувальної. Відмінність полягає лише в тому, що верхня частина стола повертається на кут різальної (забірної) частини φ , а зміщення підпірки розраховують за середнім діаметром різальної частини $D_{\text{ср}}$ (при шліфуванні торцем круга) за формулою

$$h = 0,5D_{\text{ср}} \sin \alpha. \quad (40.9)$$

Загострювання фрез. Фрези зношуються по задній і передній поверхнях. Критерієм затуплення вважають величину зносу по задній поверхні. Фрези з

незатилованими зубцями загострюють переважно по задніх поверхнях, а із затилованими — по передніх.

Загострювання торцевих фрез. Торцеві фрези діаметром до 250мм загострюють по задніх поверхнях у великій універсальній головці. З вихідного положення (торець фрези розміщений паралельно торцю чашкового конічного круга) головку повертають навколо трьох осей A, B, B на кути:

$$A = \varphi + \frac{\alpha \sin \varphi}{\cos \lambda}; \quad (40.10)$$

$$B = \alpha \cos \varphi; \quad (40.11)$$

$$B = \alpha \sin \varphi. \quad (40.12)$$

Загострюють переважно торцем чашкового круга при поділі по підпірці. За поелементного способу загострювання задніх поверхнь різальні кромки фрези загострюють окремо — спочатку головні кромки на всіх зубцях, потім допоміжні на всіх зубцях. Головну різальну кромку розміщують під кутом $\varphi=45\ldots90^\circ$, допоміжні під кутом $\varphi_1=0\ldots5^\circ$. Щоб знизити шорсткість обробленої поверхні, допоміжну кромку утворюють з двох ділянок — допоміжної кромки з $\varphi_{1д}=0^\circ$ і $f_{1д}=1,5\ldots2,0$ мм і власне допоміжної з $\varphi_1 \geq 2^\circ$. Вершина зубця формується прямолінійною з $\varphi_0 \approx \varphi/2$ і $f_0 = 1,5\ldots2$ мм чи радіусною з $r=2\ldots3$ мм.

Загострювання кінцевих і циліндричних фрез. Гвинтові зубці кінцевих і циліндричних фрез загострюють по передніх і задніх поверхнях.

При загострюванні передньої поверхні гвинтового зубця (рис. 40.10, а) шліфувальну головку повертають у горизонтальній площині на кут:

$$A \approx \omega \cos(\gamma + \delta), \quad (40.13)$$

де: ω — кут нахилу гвинтового зубця;

γ — передній кут у торцевому перерізі;

δ — кут профілю круга;

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_N \cos \omega, \quad (40.14)$$

де: γ_N — передній кут у нормальному перерізі.

Крім цього, потрібно змістити круг на величину h :

$$h = 0,5D \frac{\sin(\gamma_N + \delta) \cos \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2(\gamma_N + \delta) \sin^2 \alpha}}, \quad (40.15)$$

або приблизно

$$h = 0,5D [\sin(\gamma_N + \delta) \cos \alpha], \quad (40.16)$$

де: D — діаметр фрези, мм.

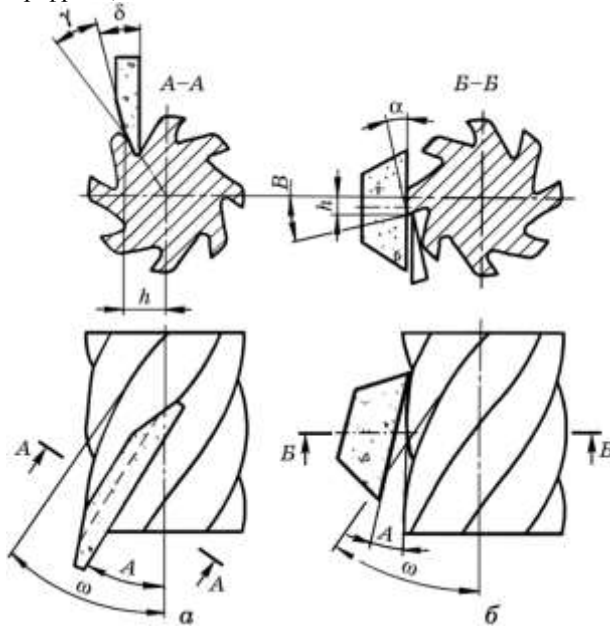


Рис. 40.10. Схеми загострювання гвинтових зубців фрези по передній (а) і задній (б) поверхнях

Передню поверхню гвинтового зубця загострюють поздовжнім переміщенням стола, притискуючи фрезу рукою до шліфувального круга.

При загострюванні задньої поверхні гвинтового зубця (рис. 40.10, б) шліфувальну головку повертають на кут A , який визначають за залежністю

$$\sin A = \sin \alpha_N \sin \omega = \sin \alpha \operatorname{tg} \omega, \quad (40.17)$$

або приблизно

$$A = \omega \sin \alpha \approx 0,2\omega\alpha. \quad (40.18)$$

Фрезу повертають навколо своєї осі на кут $\theta = \alpha$ або зміщують підпірку на $h = 0,5D \sin \alpha$, де α — задній кут у торцевому перерізі: $\operatorname{tg} \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha_N \cos \omega$.

Зубець фрези, який загострюють вручну притискують до підпірки, встановленої на шліфувальній головці перед робочою поверхнею шліфувального круга біля місця його контакту із зубцем фрези. Внаслідок цього з поздовжнім переміщенням стола фреза повертається навколо своєї осі.

Налагодження верстата спрощується при повороті шліфувального шпинделя у вертикальній площині. Кути повороту шліфувального круга у вертикальній і горизонтальній площинах відповідно дорівнюють: $A = \alpha_N \sin \omega$;
 $B = \alpha_N \cos \omega$.

Передні і задні поверхні торцевого зубця фрез загострюють у малій універсальній головці з використанням підпірки чи ділального диска.

Послідовність виконання роботи:

Загострювання різців:

1. Освоїти будову точноно-загострювального і універсально – загострювального верстатів, пристроїв для загострювання і роботу на верстатах.
2. Вибрати абразивний круг залежно від матеріалу робочої частини різця.
3. Виставити пристрої і загострити лезо різця з кутами відповідно до завдання.
4. Залежно від матеріалу різальної частини різця підібрати вид і марку загострювального круга і режим шліфування.
5. Визначити кути встановлення прохідного різця для загострювання в триповоротних лещатах відповідно до заданих кутів.
6. Закріпити різець у лещатах відповідно до рис. 40.5 і встановити за шкалами A , B , V значення кутів для загострювання по передній поверхні і прошліфувати її.
7. Установити в лещата різець відповідно до рис. 40.5, за шкалами A , B , V для загострювання по головній задній поверхні та прошліфувати її
8. Прошліфувати допоміжну задню поверхню так само, як і головну задню.
9. Перевірити кути загострених різців настільним кутоміром або шаблонами. Лупою перевірити наявність тріщин на поверхні.

Загострювання свердла по двох площинах:

1. Вибрати форму і марку абразивного круга і режим шліфування для загострювання свердла.
2. Для заданих параметрів свердла D , d , 2ϕ , α і ψ розрахувати кути встановлення універсально-загострювальної головки.
3. Закріпити малу універсально-загострювальну головку на верстаті і встановити в ній свердло так, щоб головна різальна кромка була горизонтальною.
4. Вставити шліфувальний круг так, щоб його вісь і вісь свердла були в горизонтальній площині.

5. Установити по шкалах A , B і B розрахункові кути для заточування головної задньої площини $A\alpha_1$. Прошліфувати площини $A\alpha_1$ обох лез свердла почергово трохи далі за середину довжини перемички.

6. Установити по шкалах A , B і B розрахункові кути для щліфування затилкової задньої поверхні $A\alpha_2$.

7. Прошліфувати площини $A\alpha_2$ обох лез свердла почергово до середини перемички.

Загострювання зенкера і розвертки:

1. Вибрати форму, марку круга і режим шліфування залежно від матеріалу зенкера.

2. Установити хвостовий зенкер в універсальну загострювальну головку. Насадний зенкер розмістити на оправці.

3. Повернути головку відносно осі A на кут φ , а відносно осі B на кут α забірної частини.

4. Прошліфувати торцем круга задню поверхню одного зубця забірної частини зенкера.

5. Повернути зенкер на наступний зубець відносно осі B на кут $B = 360/z$ (z — число зубців зенкера) і прошліфувати другий зубець. Аналогічно прошліфувати задні поверхні забірної частини всіх зубців.

6. Закріпити зенкер у центрах на універсально-загострювальному верстаті так, щоб вісь центрів була паралельною напрямку поздовжньої подачі стола.

7. Закріпити підпорку на загострювальній головці так, щоб її опорне лезо складало з віссю інструменту кут ω і торкалося передньої поверхні загострюваного зубця якомога ближче до різальної кромки калібрувальної частини (не далі ніж 0,5 мм).

8. Вершину зубця встановити за допомогою підпірки залежно від загострювання торцем чи периферією шліфувального круга.

9. Даючи поздовжню подачу, притиснути зенкер передньою поверхнею леза до підпірки і прошліфувати задню поверхню калібрувальної частини зубця.

10. Повернути зенкер на наступний зубець, підвести цей зубець до підпірки і прошліфувати його. Так загострити всі зубці на калібрувальній частині.

11. Загострювання зубців розвертки здійснити аналогічно.

Загострювання торцевої фрези зі вставними зубцями:

1. Підбрати шліфувальний круг і режим шліфування.

2. Фрезу встановити в універсально-загострювальній головці так, щоб вершина одного зубця була в горизонтальній осьовій площині фрези.

3. Повернути головку відносно осей A , B , V на кути відповідно до розрахунків для головної задньої поверхні.

4. Торцем круга прошліфувати головну задню поверхню зубця до зняття слідів зношування.

5. Повертаючи відносно осі B по підпірці, або на кут $B = 360/z$ (z — число зубців фрези) прошліфувати головні задні поверхні всіх зубців.

6. Аналогічно прошліфувати допоміжні задні поверхні зубців фрези і вершини зубців.

Загострювання циліндричної фрези:

1. Вибрати марку чашкового конічного круга, режим шліфування і закріпити круг на шпинделі шліфувальної бабки.

2. Установити підпірку на основу шліфувальної бабки перед торцем круга по центру шпинделя.

3. Закріпити насадну фрезу на оправці.

4. Установити на столі верстата центрові бабки і закріпити в їхніх центрах оправку з фрезою, або хвостову фрезу.

5 Шліфувальну головку з підпіркою змістити нижче від осі фрези на висоту h (див. рис. 40.10, б). При загострюванні задньої поверхні гвинтового зубця повернути шліфувальну голову на кут A .

6. Фрезу повернути навколо своєї осі на кут $\theta = \alpha$ або до дотикання передньої поверхні зубця з підпіркою.

7. Притискуючи рукою зубець фрези до підпірки, забезпечити вручну поздовжню подачу стола і прошліфувати задню поверхню одного зубця.

8. Повертаючи фрезу навколо осі на кожен зубець, прошліфувати задні поверхні всіх зубців. За потреби після загострювання всіх зубців дати поперечну подачу (0,02 мм) і загострювання всіх зубців повторити.

9. Для загострювання передньої поверхні зубця (за потреби) конічною поверхнею круга повернути шліфувальну головку на кут A .

10. Торець круга змістити (в горизонтальній площині) відносно осі фрези на величину h (див. рис. 40.10, а).

11. Прошліфувати передню поверхню одного зубця при поздовжньому переміщенні стола, притискуючи фрезу рукою до шліфувального круга.

12. Повертаючи фрезу на наступний зубець, прошліфувати аналогічно передні поверхні всіх зубців.

13. Заміряти кути лез заточених інструментів. Вказати розрахункове і дійсне значення кутів.

Зміст звіту

1. Характеристики загострювальних кругів і режими шліфування.
2. Обладнання для загострювання інструментів.
3. Будова універсально-загострювального верстата, пристрій до нього і керування ним.
4. Послідовність загострювання різців на точильно-загострювальному верстаті.
5. Розрахунки і послідовність загострювання різців.
6. Розрахунки і послідовність загострювання свердла.
7. Послідовність налагодження верстата на загострювання зенкера.
8. Послідовність налагодження універсально-загострювального верстата на загострювання торцевої фрези.
9. Результати загострювання інструментів.

Контрольні запитання. 1. Яку форму мають круги, що використовуються для загострювання інструментів? 2. Характеристики загострювальних кругів. 3. Режими загострювання інструментів. 4. Які верстати використовують для загострювання інструментів? 5. Будова точильно-загострювального верстата. 6. Як загострюють різці на точильно-загострювальному верстаті? 7. Будова універсально-загострювального верстата. 8. Які пристрої використовуються на універсально-загострювальному верстаті? 9. Які способи загострювання свердла по криволінійній задній поверхні? 10. Які є види загострювання свердел за формою головних різальних кромки та інших частин зубців? 11. Назвати способи площинного загострювання свердел по задній поверхні лез залежно від діаметра свердла. 12. У якій послідовності загострюють різці на універсально-загострювальному верстаті? 13. Як загострюють свердла по двох площинах на універсально-загострювальному верстаті? 14. Яка послідовність загострювання зенкерів, розверток, циліндричних і торцевих фрез?

Лабораторна робота 41

Будова і налагодження токарно-гвинторізного верстата

Мета роботи: вивчити будову, кінематику і керування токарно-гвинторізним верстатом, призначення і дію його механізмів; навчитися налагоджувати механізми верстата на нарізування різей і точіння конічних поверхонь.

Обладнання, матеріали та інструменти: токарно-гвинторізний верстат, патрони, токарні центри, хомутик, прохідні, підрізні і різці для нарізи, комплект

гайкових ключів, заготовки, мікромметр, штангенциркуль, калібр-пробка, калібр-втулка, шаблон для нарізі, шаблон для заострювання різців і установлення його в різцетримачі, індикатор із стояком.

Теоретичні відомості

На токарних верстатах можна виконувати різні види робіт, зокрема оброблювати нарізі і конічні поверхні. Сучасні токарні верстати забезпечують їх налагодження на заданий крок нарізі переважно без змінних коліс.

Налагодження універсальних токарно-гвинторізних верстатів на різні роботи зводиться до підбору передатних чисел передач коробки швидкостей, подач та інших механізмів. Це здійснюють, як правило, перемиканням відповідних важелів. При цьому не виконують спеціальних розрахунків для визначення параметрів налагодження кінематичних ланцюгів. Такі розрахунки проводять лише при нарізуванні особливо точних і з ненормалізованим кроком різей, а також на верстатах більш ранніх випусків.

У цьому разі розрахунок здійснюють, використовуючи рівняння кінематичного балансу ланцюга від шпинделя верстата до ходового гвинта подачі супорта:

$$I_{\text{об.шп}} i_1 i_{\text{зм}} i_{\text{к.п}} t_{\Gamma} = t_p, \quad (41.1)$$

де: i_1 — передатне відношення передач від шпинделя до змінних коліс гітари; $i_{\text{зм}}$ — передатне відношення змінних коліс гітари; $i_{\text{к.п}}$ — передатне відношення механізмів коробки подач; t_{Γ} , t_p — крок відповідно ходового гвинта і нарізуваної нарізі, мм.

Передатне відношення змінних коліс гітари при обробленні нарізі метричної нарізі становить:

$$i_{\text{зм}} = \frac{t_p}{i_1 i_{\text{к.п}} t_{\Gamma}}. \quad (41.2)$$

Для оброблення дюймових нарізей (крок нарізі виражається кількістю ниток n на дюйм довжини, тобто $t_p = \frac{25,4}{n}$) передатне відношення змінних коліс:

$$i_{\text{зм}} = \frac{25,4}{n i_1 i_{\text{к.п}} t_{\Gamma}}. \quad (41.3)$$

При обробленні модульної нарізі ($t_p = \pi m$) передатне відношення змінних коліс гітари:

$$i_{зм} = \frac{\pi m}{i_1 i_{к.п} t_T}, \quad (41.4)$$

де: m — модуль нарізі, мм.

Для пітчевих нарізей крок дорівнює:

$$t_p = \frac{\pi \cdot 25,4}{p}. \quad (41.5)$$

Передатне відношення змінних коліс гітари для пітчевої нарізі:

$$i_{зм} = \frac{\pi \cdot 25,4}{i_1 i_{к.п} p t_T}, \quad (41.6)$$

де: p — пітч.

За передатним відношенням підбирають змінні колеса гітари:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = i_{зм}, \quad (41.7)$$

і перевіряють їх на умову зачеплення:

$$a + b > c + 15; \quad c + d > b + 15. \quad (41.8)$$

При обробленні нарізі підвищеної точності верстат налагоджують так, що рух передається через змінні зубчасті колеса безпосередньо до ходового гвинта верстата повз коробку подач. У цьому разі $i_{к.п} = 1$. Чим менше пар зубчастих коліс коробки подач у кінематичному ланцюзі подачі, тим точніший крок нарізі.

У багатозахідних нарізях розрізняють хід s_p і крок нарізі t_p . Ходом багатозахідної нарізі називають відстань між однойменними точками одного і того самого витка, виміряну паралельно осі нарізі, або відстань, на яку переміститься вздовж осі болт чи гайка за один його оберт.

Хід нарізі визначають за формулою:

$$s_p = t_p k, \quad (41.9)$$

де: k — кількість заходів.

Оброблення багатозахідної нарізі має таку особливість, що після нарізування першої нитки нарізувану деталь повертають (при нерухомому різці) на кут, що дорівнює $\frac{360^\circ}{k}$, і нарізають наступну нитку (захід). Поділ багатозахідних нарізей на заходи виконують кількома способами: за допомогою спеціальних при-

строїв; зміщенням верхнього супорта з різцем в осьовому напрямку на крок нарізі; поворотом змінних зубчастих коліс гітари.

Як ділильні пристрої для повороту шпинделя на захід нарізі використовують поворотний патрон зі шкалою в градусах, повідковий патрон з отворами для встановлення пальця повідка тощо.

Точіння конічних поверхонь на токарному верстаті здійснюють такими способами: широким різцем, зміщенням корпусу задньої бабки, поворотом верхніх полозків супорта, за допомогою копіювально-конусної лінійки.

Широким різцем (рис. 41.1, а) обробляють конуси завдовжки до 50 мм як з поперечною, так і з поздовжньою подачами.

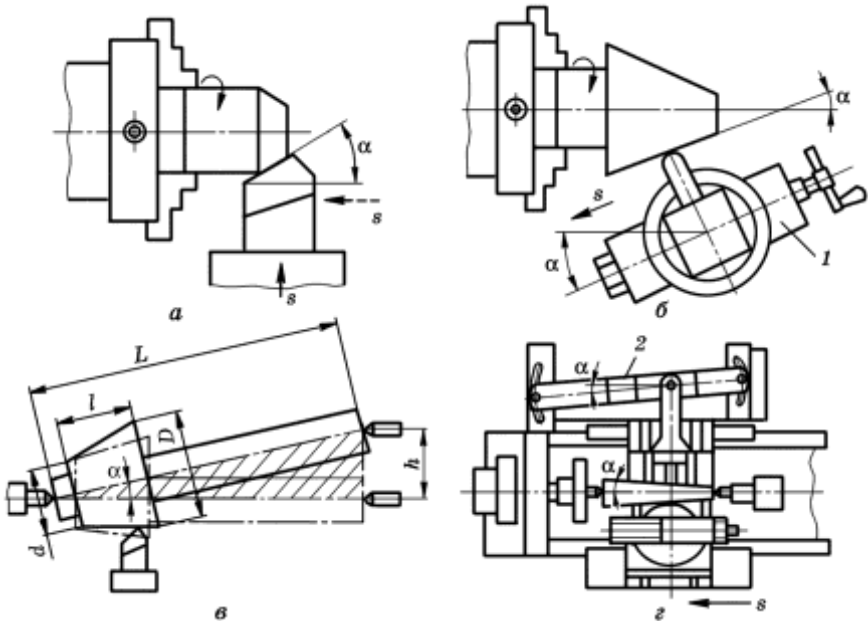


Рис. 41.1. Схеми точіння конічних поверхонь: а — широким різцем; б — поворотом різцевих полозків 1; в — зміщенням корпусу задньої бабки; г — копіювально-конусною лінійкою 2

Поворот верхніх полозків супорта (рис. 41.1, б) використовують при обробленні коротких зовнішніх і внутрішніх конічних поверхонь.

Кут нахилу оброблюваної конусної поверхні (половина кута при вершині конуса) беруть з креслення або розраховують за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2l}, \quad (41.10)$$

де: D, d — відповідно більший і менший діаметри конуса, мм; l — довжина конусної поверхні, мм. Кут повороту верхнього супорта встановлюють по лімбі з ціною поділки 1° .

Зміщення корпусу задньої бабки (рис. 41.1, в) застосовують при точінні зовнішніх конічних поверхонь з кутом конуса до $8\dots 10^\circ$.

Зміщення корпусу задньої бабки визначають за формулою

$$h = \frac{(D-d)L \cos \alpha}{2l}, \quad (41.11)$$

де: L — довжина деталі, встановленої в центрах, мм; l — довжина конусної частини деталі, мм. При малих кутах ($\alpha < 5^\circ$) зміщення корпусу задньої бабки становить

$$h = \frac{(D-d)L}{2l}. \quad (41.12)$$

Точність оброблення конусів у такий спосіб невелика.

Точіння копіювально-конусною лінійкою (рис. 41.1, з) використовують на спеціально обладнаних верстатах. За допомогою такої лінійки можна обробляти зовнішні й внутрішні конічні поверхні з кутом при вершині до 25° . Спосіб забезпечує оброблення довгих заготовок з високою точністю і продуктивністю.

Токарно-гвинторізний верстат моделі 1К62 (рис. 41.2) призначений для оброблення зовнішніх, внутрішніх, циліндричних, конічних, фасонних і торцевих поверхонь, а також для нарізування метричних, дюймових, модульних і спеціальних різей. Верстат складається з основи 29, станини 28, коробки подач 2, коробки швидкостей 5, електросилової шафи 20, супорта 26, задньої бабки 21.

Органами керування є: 1 — рукоятка встановлення подачі та кроку нарізи; 3 — рукоятка вмикання коробки подач; 4, 8 — рукоятки встановлення частот обертання шпинделя; 6 — рукоятка встановлення кроку нарізи; 7 — рукоятка встановлення правої та лівої нарізи і подач; 9 — кнопка вимикання поздовжньої подачі; 10 — рукоятка поперечної подачі каретки супорта; 11 — рукоятка закріплення та повороту різцевої головки; 12 — рукоятка подачі різцевої головки; 13 — рукоятка вмикання подач з кнопкою прискорених подач; 14 — рукоятка закріплення пінолі задньої бабки; 15 — рукоятка закріплення задньої бабки; 16 — вимикач насоса охолодження; 17 — маховичок переміщення пінолі задньої бабки; 18 — лінійний вимикач; 19 — вимикач місцевого освітлення; 22, 30 — руко-

ятки вмикання, вимкання та реверсування шпинделя; 23 — кнопка «Стоп» головного приводу; 24 — рукоятка вмикання гайки гвинта; 25 — кнопка «Пуск»; 27 — маховичок ручного поздовжнього переміщення каретки.

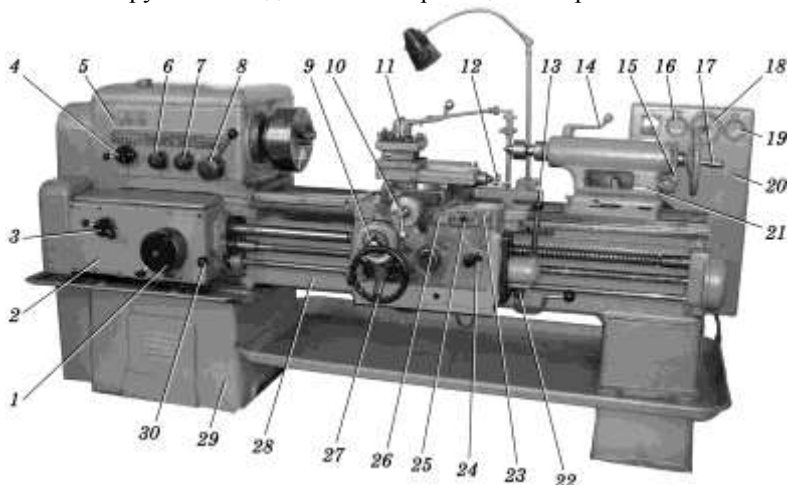


Рис. 41.2. Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата 1К62

Послідовність виконання роботи:

Нарізування однозахідної нарізі:

1. Вивчити загальну будову, керування, кінематичну схему токарного верстата та способи оброблення нарізі різцем.
2. Відповідно до завдання вибрати режим точіння заготовки під нарізь (табл. 41.1).

Режим точіння заготовок зі сталі різцями, обладнаними пластинами з T15K6

Таблиця 41.1

Шорсткість поверхні Ra	Подача s , мм/об	Швидкість різання, м/хв, при глибині різання, мм		
		0,5...1,0	1,0...2,0	2,0...5,0
0,63...1,25	0,10...0,20	340...265	285...239	257...208
1,25...2,5	0,20...0,32	296...242	250...219	225...190
20...80	0,33...0,50	270...196	228...182	205...160

3. Призначити режими оброблення нарізі (табл. 41.2).

Режим оброблення метричної нарізі на деталях із сталі

Таблиця 41.2

Крок нарізі	Різець із швидкорізальної сталі			Різець з пластиною з Т15К6		
	Кількість ходів		Швидкість різання, м/хв	Кількість ходів		Швидкість різання, м/хв
	чорнових	чистових		чорнових	чистових	
0,75...1,00	3	3	7...12	2	2	142
1,25...1,50	4	3	9...14	3	2	132
1,75...3,00	6	3	11...13	5	2	129
3,00...4,00	7	4	—	6	2	122

4. Рукоятками встановити режим точіння поверхні заготовки під нарізь.

5. Встановити заготовку і проточити поверхню під нарізь.

6. Встановити рукоятки на потрібні частоту обертання заготовки і подачу відповідно до кроку для оброблення нарізі.

7. Встановити різець для нарізі і провести ним оброблення на необхідні кількість ходів(табл. 41.2).

8. Правильність отриманого кроку нарізі перевірити штангенциркулем за десятьма нитками або наріземіром.

Нарізування багатозахідної нарізі:

1. Нарізати один захід нарізі так само, як для однозахідної, встановивши подачу, яка дорівнює ходу нарізі, а не її кроку.

2. Провести поділ на другий та наступні заходи нарізі одним із таких способів:

а) *ділильним пристроєм*, який має фланець з рисою (кріпиться на корпусі коробки швидкостей) і диск з шістдесятма поділками (кріпиться на шпинделі).

Поділ виконують так. Рукоятками 22 або 30 (див. рис. 41.2) забезпечують зворотне обертання шпинделя та переміщення праворуч (для правозахідної нарізі) супорта, а потім прямо і одночасно вимикають електродвигун (вибираються зазори в кінематичному ланцюзі верстата). Рукоятку 3 ставлять у нейтральне положення. Повертають ділильний диск зі шпинделем вручну на потрібну кількість рисок залежно від кількості заходів нарізі і рукоятку 3 повертають у робоче положення.

Виставивши глибину, за кілька робочих ходів нарізають другий захід нарізі. Рекомендується нарізувати всі заходи, залишивши припуск на чистові робочі ходи;

б) *зміщенням різцевих полозків*. Цей спосіб найпростіший, але не досить точний. При цьому спочатку вибирають зазор гвинта в гайці, а потім переміщують різець на крок нарізі. Під час поділу на другий та наступні заходи шпindel не обертається;

в) *за допомогою індикатора*. Індикатор з магнітним стояком ставлять на верхній різцевий супорт, його кульку упирають в гладеньку частину патрона, а стрілка повертається з нуля до 1 мм. Переміщення різцевого супорта на крок нарізі контролюють індикатором.

3. Перевірити правильність отриманого кроку нарізі різеміром або шаблоном.

Оброблення конічних поверхонь зміщенням корпусу задньої бабки:

1. Підрахувати зміщення корпусу задньої бабки за формулою (41.11) або (41.12).

2. Змістити корпус задньої бабки гвинтами в поперечному напрямку на себе — при обробленні прямих конусів, від себе — при обробленні зворотних конусів. Зміщення контролюють штангенциркулем, індикатором або за шкалою (за наявності).

3. Установити заготовку в центрах з кульковими поверхнями робочого конуса. На заготовці поставити хомутик для обертання.

4. Вибрати режим точіння (див. табл. 41.1). Проточити конічну поверхню за кілька робочих ходів.

5. Виміряти діаметри конічної поверхні і за потреби виконати додаткове зміщення задньої бабки.

Оброблення конічних поверхонь поворотом різцевих полозків:

1. Згідно із завданням визначити кут повороту різцевих полозків (дорівнює половині кута при вершині конуса) за формулою (41.10).

2. Вибрати режим точіння конічної поверхні з табл. 41.1 і визначити частоту обертання шпінделя за найбільшим діаметром конуса.

3. Повернути різцеві полозки в потрібному напрямі на відповідний кут за шкалою з точністю 1° і закріпити.

4. Установити на верстаті заготовку, режим різання і різець.

5. Обточити конічну поверхню, подаючи різець вручну чи механічно (якщо вона є).

6. Після одного-двох робочих ходів виміряти розміри конічної поверхні і підрахувати дійсне значення кута. За потреби повернути полозки для забезпечення потрібного кута і його точності.

7. Виміряти розміри остаточно обробленої конічної поверхні і визначити дійсне значення кута.

Зміст звіту

1. Види робіт, які виконують на токарних верстатах.
2. Формули для визначення передатних відношень змінних коліс при обробленні нарізей.
3. Способи точіння багатозахідних нарізей.
4. Способи точіння конічних поверхонь.
5. Будова і органи керування токарного верстата 1К62.
6. Послідовність налагодження верстата на точіння нарізі і конічних поверхонь з відповідними розрахунками.

Контрольні запитання. 1. Основні частини токарного верстата 1К62 і органи керування ним. 2. Передача руху в головному ланцюзі. 3. Передача руху від шпинделя при подачі різця і нарізуванні різних видів нарізі. 4. Способи точіння багатозахідних нарізей. 5. Способи точіння конічних поверхонь. 6. Яка послідовність налагодження токарно-гвинторізного верстата 1К62 на нарізування багатозахідних нарізей, точіння конічних поверхонь зміщенням корпусу задньої бабки і поворотом різцевих полозків? 7. Послідовність налагодження верстата на оброблення конічних поверхонь.

Лабораторна робота 42

Аналіз кінематики коробки швидкостей верстата

Мета роботи: Вивчити будову і кінематику механізмів верстатів, їх призначення і взаємозв'язок. Засвоїти навички в складанні кінематичних схем коробок швидкостей. Навчитися здійснювати необхідні розрахунки і будувати графіки.

Обладнання, матеріали та інструменти: токарно-гвинторізний або інший верстат, набір масштабних лінійок, штангенциркуль, набір слюсарного інструменту.

Теоретичні відомості

Для перетворення і передачі руху від одного вузла верстата до іншого використовуються різні механізми (передачі). Умовні схеми механізмів, які дають наочне уявлення про кінематику верстатів і в деякій мірі про їх конструкцію називаються *кінематичними схемами*. Кінематичні схеми складаються з окремих кінематичних ланцюгів, які мають початкову і кінцеву ланки (наприклад електродвигун – шпиндель та ін.).

Необхідний режим роботи верстата досягається розрахунком кінематичних ланцюгів. Рівняння кінематичного балансу передачі руху від електродвигуна до шпинделя верстата має вид:

$$n_{умт} = n_{\delta} \cdot i_1 \cdot i_{кш} \quad (42.1)$$

де: n_{δ} – частота обертання вала електродвигуна, хв^{-1} ; i_1 – передатне відношення передачі від двигуна до коробки швидкостей верстата. У більшості верстатів це клинопасова передача, передатне відношення якої дорівнює:

$$i_{к.п.} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \gamma, \quad (42.2)$$

де: D_1, D_2 – відповідно, діаметри ведучого і веденого шківів;

γ – коефіцієнт проковзування клинового паса, $\gamma = 0,985$;

$i_{к.ш.}$ – передатне відношення коробки швидкостей:

$$i_{к.ш.} = i_{12} \cdot i_{23} \cdot i_{34}, \quad (42.3)$$

де: i_{12}, i_{23}, i_{34} – передатне відношення, відповідно, з першого на другий вал, з другого на третій, з третього на четвертий і, так далі до вала шпинделя.

Передатні відношення для різних передач мають вид:

- для зубчастої і ланцюгової передач

$$i = \frac{z_1}{z_2}, \quad (42.4)$$

де: z_1, z_2 – число зубців, відповідно, ведучого і веденого зубчастих коліс або зірочок;

- для черв'ячної пари при передачі руху від черв'яка до черв'ячного колеса.

$$i = \frac{k}{z_k}, \quad (42.5)$$

де: k – число заходів черв'яка; z_k – число зубців черв'ячного колеса.

Якщо в кінематичному ланцюзі початкова ланка має обертальний рух, а кінцева поступальний, то при хвилинній подачі S_x рівняння кінематичного балансу буде:

$$S_x = n_n \cdot i_{JI} \cdot H, \quad (42.6)$$

Розділ 7

де: n_n – частота обертання початкової ланки, хв^{-1} ; i_n – передатне відношення передач від початкової до кінцевої ланки в ланцюгу; H – хід кінематичної пари, яка перетворює обертальний рух в поступальний:

- для гвинтової передачі:

$$H = K \cdot t_2, \quad (42.7)$$

де: K – число заходів гвинта;

t_2 – крок ходового гвинта, мм.

- для рейкової передачі:

$$H = \pi \cdot m \cdot z, \quad (42.8)$$

де: m – модуль зачеплення, мм; z – число зубців рейкового колеса.

При складанні кінематичних схем користуються умовними позначеннями деталей і механізмів (табл. 42.1).

Умовні позначення деяких елементів кінематичних ланцюгів

Таблиця 42.1

Назва	Умовне позначення	Назва	Умовне позначення
Вал, стрижень		Передачі:	
З'єднання валів:		з плоским пасом	
глухе		з клиноподібним пасом	
шарнірне		із зубчастим пасом	
телескопічне		черв'ячна	
Муфти:		зубчаста циліндрична	
кулачкова		зубчаста конічна	
фрикційна			
електромагнітна			
одностороння			
Підшипники кочення:		Гвинт-гайка:	
радіальний		кочення	
радіально-упорний		ковзання	

Проектування коробок швидкостей (подач) зв'язано з використанням передатних відношень пар передач, на основі яких підраховують числа зубців коліс.

Передаточні відношення визначають аналітичним або графоаналітичним способами.

Механізми, які послідовно передають рух від одного до іншого вала коробки швидкостей називається груповими передачами. Кожна група складається з певного числа передач. Для визначення числа частот обертання p на валу шпинделя потрібно помножити числа передач p_i у кожній групі, які передають рух між валами від першого вала до вала шпинделя.

$$p = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots p_n \quad (42.9)$$

де: p_1, p_2, p_3, p_n – число передач у групах, які, послідовно передають рух від 1-го до 2-го, від 2-го до 3-го і т.д. валів.

Так можна визначити число частот обертання на будь-якому валу.

При виготовленні деталей на верстаті, залежно від властивостей матеріалу заготовки та інструменту, вимог до шорсткості обробленої поверхні та ін., задається певний режим різання (швидкість різання v , подача S , глибина t).

Швидкість різання (м/хв) досягається на верстаті встановленням певної частоти обертання шпинделя (xv^{-1}).

Щоб встановити необхідно частоту обертання шпинделя для заданої швидкості різання і діаметра оброблювальної поверхні використовують номограми залежностей $v-D-n$ у логарифмічних координатах. Для визначення основного часу на цій же номограмі встановлюється залежність T_0-S-n . Тобто користуючись номограмою можна встановити на якій частоті обертання шпинделя потрібно обробляти задану поверхню заготовки і машинний час T_0 потрібний на оброблення цієї поверхні. Для побудови залежності $v-D-n$ для частот обертання шпинделя використовують кінематичну схему коробки швидкостей і будують графіки частот обертання валів цієї коробки.

Побудову графіків частоти обертання валів коробки швидкостей реального верстата виконують у такому порядку:

а) складають кінематичну схему коробки швидкості, вказуючи частоту обертання вала двигуна, діаметри шківів (для пасової передачі) і кількість зубців зубчатих коліс, якими передається рух між валами.

б) користуючись кінематичною схемою визначають частоти обертання валів коробки швидкостей.

в) будують сітку в якій проводять на однаковій відстані стільки вертикальних (горизонтальних ліній) скільки валів у коробці плюс одна лінія (на початку координат) для вала двигуна.

з) на першій вертикальній лінії розмічають логарифмічну шкалу частот обертання.

д) на вертикальній лінії двигуна відкладають частоту обертання вала двигуна.

е) на вертикальній лінії 1-го вала коробки швидкостей відкладають розраховану частоту його обертання. З'єднують лінією точки частот обертання вала і двигуна.

є) на вертикальній лінії 2-го вала коробки швидкостей відкладають частоти обертання і з'єднують прямими лініями з відповідними точками частоти 1-го вала. На кожній лінії проставляють передаточні відношення передач(зубчастих чи інших) які забезпечують дану частоту обертання вала.

ж) відкладають частоти обертання 3-го вала. Точки частот 3-го вала з'єднують з відповідними точками частот, які використовують для розрахунку 3-го вала.

з) аналогічно як і для 3-го вала будують графіки частот на 4-й, 5-й і наступні вали шпинделя.

і) на лінії вала шпинделя проставляють числові значення частот на променях, що з'єднують частоти валів – відношення числа зубців відповідних передач.

Побудова графіків залежності $v - D - n$ і $T_0 - S - n$.

Одним з параметрів режиму різання є швидкість різання, v , м/хв або м/с. На верстаті є частоти обертання шпинделя. Швидкість різання при обертальному русі визначається з формули:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (42.10)$$

де: D – діаметр оброблюваної (для зовнішньої), або обробленої (для внутрішньої) поверхонь заготовки, мм;

n – частота обертання шпинделя, хв⁻¹.

Тоді частота обертання дорівнює:

$$n = \frac{(1000 \cdot v)}{(\pi \cdot D)} = 318 \cdot \left(\frac{v}{D}\right) = k \cdot \left(\frac{v}{D}\right). \quad (42.11)$$

З формули (42.11) видно, що залежність не лінійна. Тому для отримання лінійної залежності необхідної частоти обертання шпинделя $n=f(v,D)$ верстата від швидкості різання і діаметра оброблюваної поверхні заготовки доцільно використати координатний хрест (рис. 42.1, а).

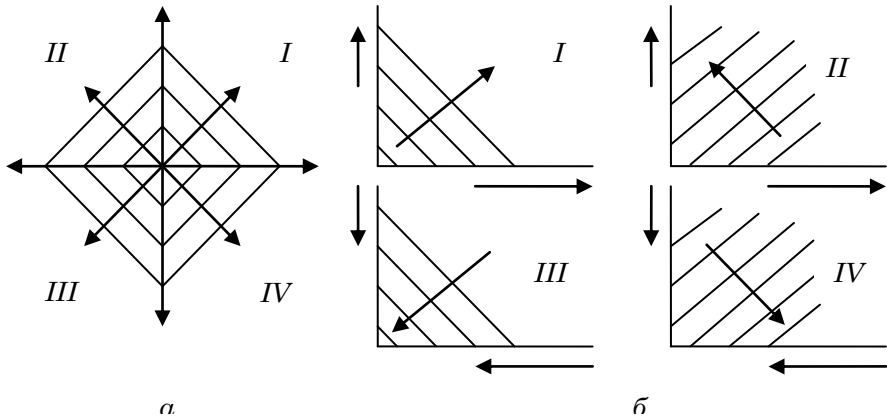


Рис. 42.1. Координатний хрест (а) і напрями збільшення параметрів в квадрантах (б)

Координатний хрест будується в логарифмічних координатах. Значення параметрів ν і D відкладаються на осях, а частоти n будуть змінюватись по прямих лініях, які проходять під кутом 45° до осей. Значення частот зростають від початку координат в напрямку стрілок. Напрямки збільшення параметрів ν в кожному квадранті показані на рис. 43.1,б. Дійсний напрям збільшення параметрів ν і D при побудові графіків визначається після логарифмування залежності (43.11).

$$\lg n = \lg k + \lg \nu - \lg D. \quad (42.12)$$

Тобто користуючись тим, чи іншим квадрантом, напрям збільшення параметра буде протилежним, якщо перед його логарифмом буде знак $(-)$. Це стосується лише параметра D . На рис. 42.2 дано напрями збільшення параметрів в третьому квадранті.

При побудові графіків залежності $\nu - D - n$ параметри ν і D можна відкласти на будь-якій з осей квадрант, а змінивши напрям збільшення D на протилежний. При цьому положення і напрям прямих n не змінюється.

Розглянемо побудову графіка частот обертання шпинделя для коробки швидкостей при $n = 54; 97; 165; 264; 474; 800, \text{ хв}^{-1}$ у першому квадранті (рис. 42.3).

У першому квадранті по осі абсцис (горизонтальна) значення D зростають до

початку координат, а значення v (вісь ординат – вертикальна) від початку координат.

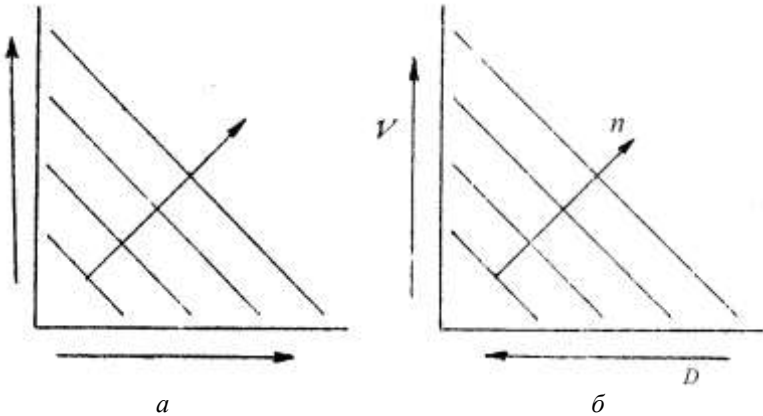


Рис. 42.2. Напрями збільшення значень параметрів по координатному хресту (а) і дійсні (б)

Для зручності побудови графіка приймаємо діаметри 31,8 і 318 тоді маємо:

$$\text{при } D = 318; \quad v = \frac{318 \cdot n}{318} = n; \quad v = n, \quad (42.13)$$

$$\text{при } D = 31,8; \quad v = \frac{318 \cdot n}{318} = \frac{n}{10}; \quad v = \frac{n}{10}. \quad (42.14)$$

Так як при $D=318$ і $v=n$, то для цього значення D проводимо вертикальну пряму постійного діаметра і на ній по шкалі v відкладаємо точки значень частот $n=54; 97; 165; 474$ і 800 хв^{-1} . Через ці точки проводимо прямі під кутом 45° до осей координат v і D .

Проведені прямі і будуть визначати залежність швидкості різання v від діаметра D для даних частот обертання шпинделя.

Якщо частоти обертання шпинделя будуть більші за 1000 хв^{-1} , то побудову прямих, аналогічним чином, здійснюють при $D=31,8$, а значення швидкості v

при цьому складатиме $v = \frac{n}{10}$.

Такі графіки використовують для знаходження частоти обертання шпинделя верстата для заданого діаметра D оброблюваної поверхні заготовки і швидкості різання v .

Наприклад потрібно встановити необхідну частоту обертання шпинделя при зовнішньому точінні заготовки діаметром 200 мм і швидкості різання $v=80$ м/хв.

Для цього для $D=400$ мм і $v=80$ м/хв. (рис. 42.3), проводимо лінії паралельно координатним осям, відповідно, v і D і в точці 1 їх перетину буде необхідна частота обертання шпинделя. Такої частоти на верстаті немає, але є менша 54 хв⁻¹ і більша $n=97$ хв⁻¹. Приймаємо меншу частоту $n=54$ хв⁻¹, бо при більшій $n=97$ хв⁻¹ буде перевищена задана (допустима) швидкість різання і різець швидко зносується. Так можна підібрати необхідну частоту обертання шпинделя для різних значень v і D .

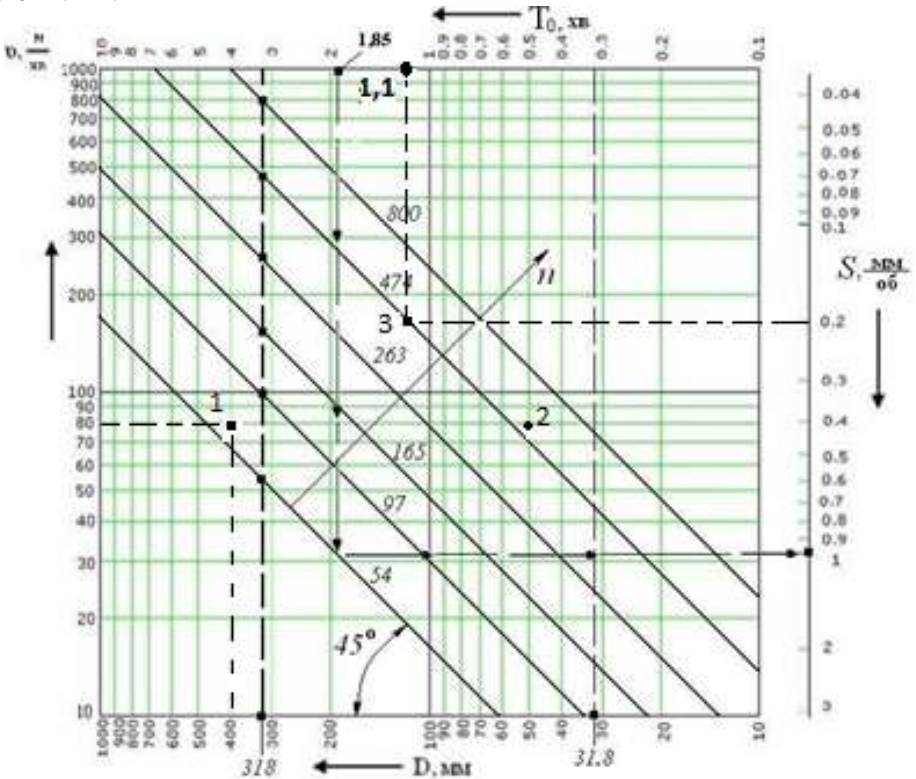


Рис. 42.3. Номограма залежностей $v - D - n$ і $T - S - n$ у першому квадранті

На рис. 42.3 дано побудову графіка частот обертання шпинделя для коробки швидкоостей при $n = 54; 97; 165; 264; 474; 800 \text{ хв}^{-1}$.

Графік залежності $\nu - D - n$ можна використати для визначення машинного часу для точіння. Для цього крім осей ν і D ще використовують дві осі для T і S .

Основний час під час точіння визначають за формулою:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S}, \quad (42.15)$$

де: L – розрахункова довжина оброблення, мм;
 n – частота обертання шпинделя (заготовки), хв^{-1} ;
 S – подача, мм/об.

Частота обертання дорівнює:

$$n = \frac{L}{T_0 \cdot S} = \frac{1000 \cdot \nu}{\pi \cdot D}. \quad (42.16)$$

Тобто існує взаємозв'язок параметрів T , S і V , D . Тому побудова полягає лише в побудові шкал T і S .

Для побудови шкал беруть сторони сітки (див. рис. 42.3) протилежні шкалам ν і D .

Напрямок шкал T_0 і S визначають як і для залежності $\nu - D - n$ після логарифмування виразу (2.16).

$$\lg n = \lg L - \lg T_0 - \lg S. \quad (42.17)$$

Так як перед $\lg T_0$ і $\lg S$ знаки (-), то напрям збільшення потрібно змінити відносно координатного хреста. Тому по шкалі (T або S), яка буде паралельна шкалі D напрям збільшення буде як і для шкали D . Параметр (T чи S), який буде по шкалі паралельній ν , повинен збільшуватись у протилежному напрямі.

Для побудови шкал T і S приймаємо шкалу T справа, а шкалу S зверху (див. рис.42.3). Напрямок збільшення значень S співпадає з D . Знаходимо час за умови: $L = 100 \text{ мм}$; $S = 1 \text{ мм/об}$; $n = 54 \text{ хв}^{-1}$.

$$T = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{100}{54,1} = 1,85 \text{ хв}. \quad (42.18)$$

На шкалі S відкладаємо $S=1\text{мм/об}$ і проводимо перпендикулярно до шкали S пряму до перетину з лінією $n=54\text{ хв}^{-1}$.

З отриманої точки проводимо пряму паралельно шкалі S до перетину з лінією шкали T . Отримуємо точку 2, яка відповідає часу $T=1,85\text{ хв}$. Розмічаємо логарифмічну шкалу T зі зростанням чисел у напрямку протилежному до v , починаючи з точки $T=1,85\text{ хв}$.

Якщо шкала S або T паралельна шкалі v , то напрям зростання значень S або T має бути протилежним до напрямку зростання v . Якщо ж шкали S або T паралельні шкалі D , то напрям зростання значень S або T має бути таким як і для D . Шкали можна міняти місцями.

Графік залежностей $v - D - n$ і $T - S - n$ можна використати для знаходження частоти обертання шпинделя і машинного часу.

Наприклад необхідно знайти машинний час на оброблення заготовки на верстаті при: $D=50\text{ мм}$; $L=100\text{ мм}$; $S=0,2\text{ мм/об}$; $V=80\text{ м/хв}$. Для цього на перетині ліній $V=80\text{ м/хв}$ і $D=50\text{ мм}$ знаходимо точку, яка відповідає частоті обертання n . Так як точка попадає між прямими $n=474\text{ хв}^{-1}$ і $n=800\text{ хв}^{-1}$, то беремо ближче менше значення $n=2474\text{ хв}^{-1}$. Можна брати більшу частоту, якщо вона не перевищує необхідну на 10%.

Дійсна швидкість різання дорівнює:

$$v_{\text{д}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 474}{1000} = 74\text{ м/хв}. \quad (42.19)$$

Машинний час знаходять провівши з точки $S=0,2\text{ мм/об}$ пряму до перетину з прямою $n=474\text{ хв}^{-1}$. З отриманої точки 3 провести перпендикуляр на вісь часу T_0 . На осі T_0 отримуємо час $T_0=1,1\text{ хв}$.

Послідовність виконання роботи:

На прикладі кінематичної схеми вертикально-свердлильного верстата 2С132

1. Скласти кінематичну схему коробки швидкостей верстата (рис. 42.4.). Вказати числа зубців зубчастих коліс, частоту обертання вала двигуна, діаметри шківів, пронуерувати вали.

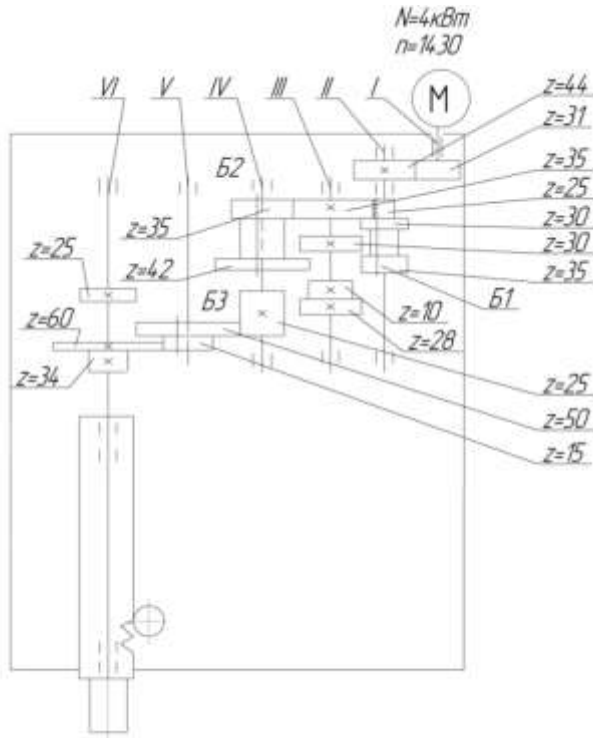


Рис. 42.4. Кінематична схема коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата 2С132

2. За кінематичною схемою визначити кількість передач у групах і число частот обертання шпинделя. Кількість передач у групах складає: з I на II вал $p_{1-2} = 1$; з II на III вал $p_{2-3} = 3$; з III на IV – $p_{3-4} = 2$; з IV на V – $p_{4-5} = 1$ і з V на VI ($z=50-25$ і $z=15-60$) – $p_{5-6} = 2$.

Кількість частот обертання шпинделя дорівнює:

$$p = p_{1-2} \cdot p_{2-3} \cdot p_{3-4} \cdot p_{4-5} \cdot p_{5-6} = 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 = 12.$$

3. Розрахувати частоти обертання валів.

I вал - $n_1 = n = 1430 \text{ хв}^{-1}$.

II вал - $n_2 = n_1 \cdot i_{1-2} = 1430 \cdot 31/44 = 1007 \text{ хв}^{-1}$.

III вал - $n_3 = n_2 \cdot i_{2-3}$.

$n_{3,1} = 1007 \cdot 25/35 = 719 \text{ хв}^{-1}$; $n_{3,2} = 1007 \cdot 30/30 = 1007 \text{ хв}^{-1}$;

$$n_{3,3}=1007 \cdot 35/28=1007 \cdot 1,25=1259 \text{хв}^{-1}.$$

IV вал - $n_4=n_3 \cdot i_{3,4}$;

$$n_{4,1}=719 \cdot 35/35=719 \text{хв}^{-1}; n_{4,2}=719 \cdot 10/42=719 \cdot 0,238=171 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{4,3}=1007 \cdot 35/35=1007 \text{хв}^{-1}; n_{4,4}=1007 \cdot 10/42=1007 \cdot 0,238=240 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{4,5}=1259 \cdot 35/35=1259 \text{хв}^{-1}; n_{4,6}=1259 \cdot 10/42=1259 \cdot 0,238=300 \text{хв}^{-1}.$$

V вал - $n_5=n_4 \cdot i_{4,5}$;

$$n_{5,1}=719 \cdot 25/50=719 \cdot 0,5=359 \text{хв}^{-1}; n_{5,2}=171 \cdot 25/50=86 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{5,3}=1007 \cdot 25/50=503 \text{хв}^{-1}; n_{5,4}=240 \cdot 25/50=120 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{5,5}=1259 \cdot 25/50=630 \text{хв}^{-1}; n_{5,6}=300 \cdot 25/50=150 \text{хв}^{-1}.$$

VI вал (шпиндель) - $n_6=n_5 \cdot i_{5,6}$;

$$n_{6,1}=359 \cdot 50/25=359 \cdot 2=718 \text{хв}^{-1}; n_{6,2}=86 \cdot 50/25=172 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{6,3}=503 \cdot 50/25=1006 \text{хв}^{-1}; n_{6,4}=120 \cdot 50/25=240 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{6,5}=630 \cdot 50/25=1260 \text{хв}^{-1}; n_{6,6}=150 \cdot 50/25=300 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{6,7}=359 \cdot 15/60=359 \cdot 0,25=90 \text{хв}^{-1}; n_{6,8}=86 \cdot 15/60=21,5 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{6,9}=503 \cdot 15/60=126 \text{хв}^{-1}; n_{6,10}=120 \cdot 15/60=30 \text{хв}^{-1};$$

$$n_{6,11}=630 \cdot 15/60=157 \text{хв}^{-1}; n_{6,12}=150 \cdot 15/60=37,5 \text{хв}^{-1};$$

4. Виписати значення частот обертання шпинделя у порядку їх зростання: 21,5; 30; 37,5; 90; 126; 157; 172; 240; 300; 718; 1006; 1260.

5. Підрахувати знаменник геометричної прогресії за формулою:

$$\varphi = \left(\frac{n_{\max}}{n_{\min}} \right)^{\frac{1}{(z-1)}} = D^{\frac{1}{(z-1)}} = \left(\frac{1260}{21,5} \right)^{\frac{1}{12-1}} = 5,86^{\frac{1}{11}} = 5,86^{0,091} = 1,174. \quad (42.23)$$

6. Прийняти ближче стандартне значення з ряду: 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2. Приймаємо $\varphi=1,26 > 1,174$.

7. Нарисувати графік частот обертання валів коробки швидкостей і вказати на ньому передатні відношення передач між валами (рис. 42.5).

8. Побудувати графіки залежності $\nu - D - n$ (рис. 43.6) у 2-му квадраті і на прямих дати значення частот обертання шпинделя.

9. Побудувати шкали T і S на графіку залежності $\nu - D - n$. Шкалу S приймаємо паралельно D зверху, а шкалу T паралельно ν справа. Так як перед $lg T$ знак (-), то зростання значень T буде йти вниз. Для розмітки шкали T знаходимо його значення при $S=1$ мм/об; $n=240 \text{хв}^{-1}$ і $L=100$ мм. Тоді $T = L/n \cdot S = 100:240 \cdot 1 = 0,42 \text{хв}$. Розмічаємо шкалу часу T так, щоб від $T=0,42$ числа зростали вниз.

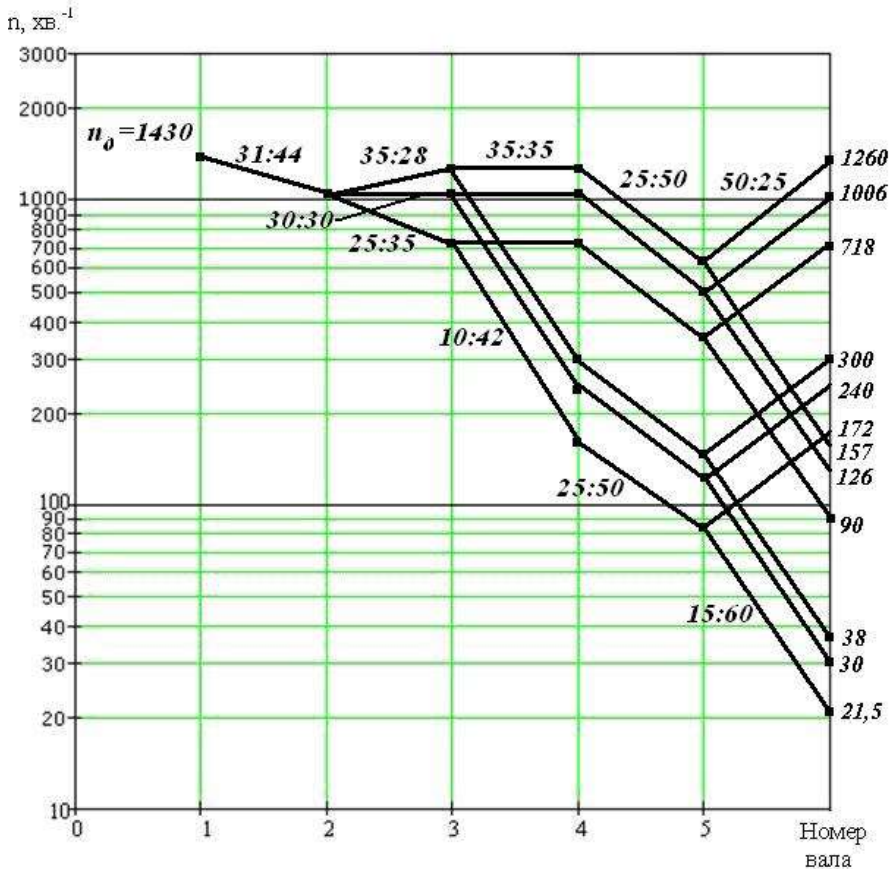


Рис. 42.5. Графіки частот обертання валів коробки швидкостей свердлильного верстата 2С132.

Зміст звіту

1. Рівняння кінематичного балансу для обертального і поступального рухів, та передатні відношення передачі.
2. Кінематична схема коробки швидкостей верстата.
3. Розрахунок частот обертання по кожному валу.

4. Послідовність побудови графіка частот обертання валів коробки швидко-стей.
5. Підрахунок знаменника геометричної прогресії, розрахункових частот.
6. Графіки залежностей $v - D - n$ і $T - S - n$.

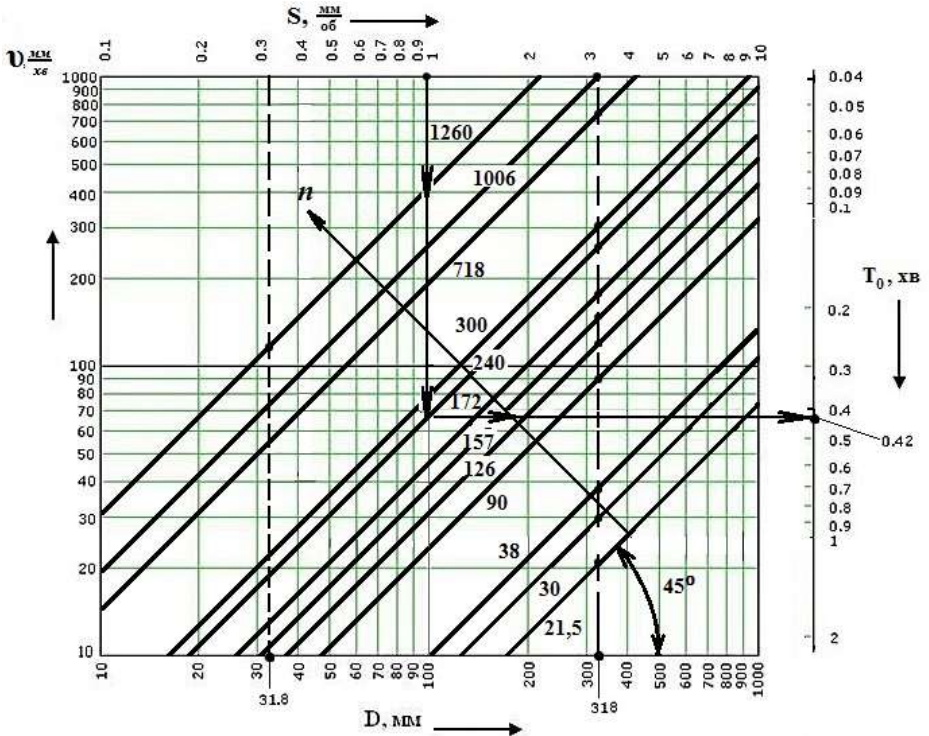


Рис. 42.6. Номограма залежності $v - D - n$ і $T - S - n$.

Контрольні запитання. 1. Що таке передатне відношення? 2. Формули передаточних відношень для різних передач. 3. Послідовність побудови графіка частот обертання валів коробки швидко-стей. 4. Закономірність зміни частот обертання шпинделя. 5. Формули для швидкості обертання заготовки і основного часу під час точіння. 6. Послідовність побудови графіка залежності $v - D - n$ і шкал T і S .

Лабораторна робота 43

Перевірка токарного верстата на точність

Мета роботи: навчитися самостійно визначати параметри точності токарно-гвинторізного верстата; ознайомитися з інструментами, які використовують, і конструкціями оправок.

Обладнання, матеріали та інструменти: токарний верстат, індикатор з магнітної основою, штангенциркуль, мікрометр, перевірна лінійка, рівень, контрольні оправки, жорсткі центри.

Теоретичні відомості

Нові і відремонтовані верстати випробовують на геометричну точність, точність і шорсткість поверхонь обробленої деталі. Перед випробуванням верстат виставляють на фундаменті за допомогою рівня. Геометричну точність верстата визначають перевіркою точності взаємного розміщення, переміщення і співвідношення рухів робочих органів, які несуть заготовку та інструмент. Параметри, які перевіряються, методи контролю і норми точності залежно від типу верстата і його точності регламентуються відповідними стандартами. Для токарних верстатів загального призначення передбачено 19 різних перевірок їх точності.

Послідовність виконання роботи:

1. *Перевірити прямолінійність поздовжнього переміщення супорта в горизонтальній площині* (рис. 43.1, а). У центрах передньої 1 і задньої 4 бабок установити циліндричну оправку 3. Розмістити індикатор 2 на супорті 5 (у різцетримачі) так, щоб його вимірювальний наконечник торкався бокової твірної оправки і був перпендикулярний до її осі.

Відрегулювати положення задньої бабки зміщенням її в поперечному напрямку так, щоб показання індикатора на краях оправки були однаковими. Переміщуючи (вручну) супорт у поздовжньому напрямку, визначити відхилення індикатора через 0,2 довжини ходу, але не більше ніж 500 мм при довжині вимірювання і максимальній довжині ходу. Відхилення визначають як найбільшу різницю показань індикатора. Допустимі відхилення для верстатів нормальної точності при найбільшій довжині переміщення 400...630 мм становлять 0,020 мм; 630...1000 мм — 0,025 мм; 1000...1600 мм — 0,030 мм.

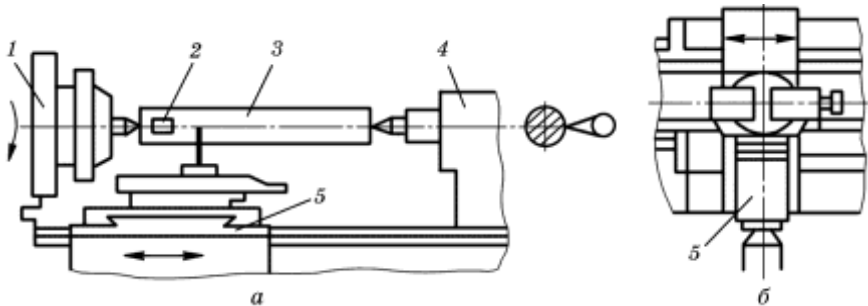


Рис. 43.1. Схеми перевірки прямолінійності поздовжнього переміщення супорта в горизонтальній (а) і вертикальній (б) площинах

2. Перевірити прямолінійність поздовжнього переміщення супорта у вертикальній площині (рис. 43.1, б). Супорт переміщують у поздовжньому напрямку на всю довжину. Вимірювання проводять так само, як і в горизонтальній площині. Допуск прямолінійності переміщення на найбільшій довжині ходу супорта 400...630 мм не повинен перевищувати 0,012 мм; 630...1000 мм — 0,020 мм.

3. Перевірити однооситність осей шпинделя передньої бабки та осі пінолю задньої бабки відносно напрямних станини (рис. 43.2). Задню бабку з повністю висунутим пінолем установлюють так, щоб відстань між торцями шпинделя і пінолем дорівнювала найбільшому діаметру оброблення над станиною або була більшою за нього. Встановити циліндричну оправку 2 в центрах передньої 1 і задньої 5 бабок. Довжину оправки беруть такою, що дорівнює найбільшому діаметру оброблення над станиною або є більшою за нього. Встановити індикатор 3 на супорті 4 так, щоб його вимірювальний наконечник був перпендикулярний до верхньої твірної оправки і торкався її. Заміряти показання індикатора. Перемістити супорт на відстань, яка дорівнює найбільшому діаметру оброблення. Відмітити показання індикатора. Повернути шпиндель на 180° і повторити заміри біля шпинделя і на відстані найбільшого діаметра оброблення на верста-

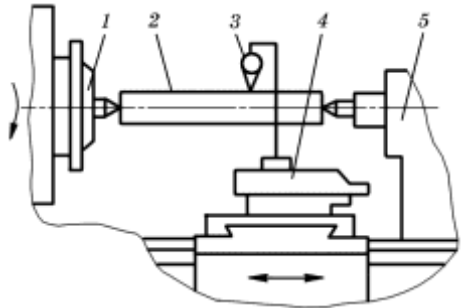


Рис. 43.2. Схема перевірки однооситності осей шпинделя передньої бабки і пінолю задньої бабки

ті. Допустимі відхилення не повинні перевищувати 30 мкм. Вісь пінолі може розміщуватися лише вище від осі шпинделя.

При найбільшому діаметрі оброблення (понад 500 мм) у шпиндель передньої бабки і піноль задньої бабки ставлять по короткій оправці замість однієї довгої.

4. *Визначити радіальне биття зовнішньої поверхні шпинделя передньої бабки* (рис. 43.3, а). Закріпити індикатор 1 на нерухомій частині верстата так, щоб його наконечник розміщувався у площині осі шпинделя і перпендикулярно до твірної поверхні 2, яка перевіряється. Забезпечити обертання шпинделя (у робочому напрямі) не менше ніж два оберти. Визначити відхилення за найбільшою алгебричною різницею показань індикатора. Допустиме биття не повинно перевищувати 0,01 мм.

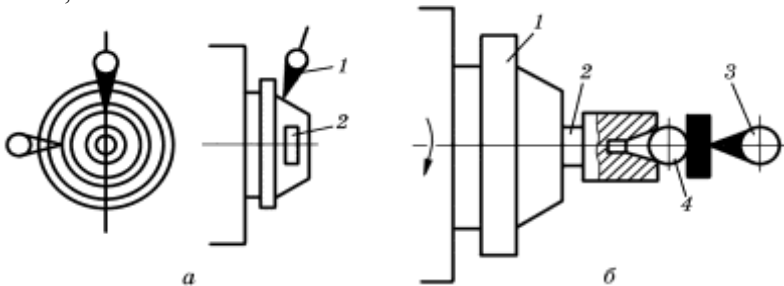


Рис. 43.3. Схеми визначення радіального биття зовнішньої поверхні (а) і осьового биття (б) шпинделя передньої бабки

5. *Визначити осьове биття шпинделя передньої бабки* (рис. 43.3, б). В отвір шпинделя 1 передньої бабки встановити контрольну оправку 2 з центровим отвором під кульку 4. На нерухому частину верстата закріпити індикатор 3 так, щоб його плоский вимірювальний наконечник торкався кульки, встановленої в центровий отвір оправки. Забезпечити обертання шпинделя (не менше ніж два оберти) в робочому напрямі і визначити найбільше відхилення. Допустиме відхилення 0,01 мм.

6. *Визначити торцеве биття опорної поверхні шпинделя передньої бабки* (рис. 43.4, а). Індикатор 1 закріпити на нерухомій частині верстата так, щоб його вимірювальний наконечник торкався опорної поверхні шпинделя 2 на якомога більшій відстані від центра і був перпендикулярний до нього. Повернути шпиндель у робочому напрямі не менше ніж на 2 оберти. Вимірювання провести в двох взаємно перпендикулярних площинах. Відхилення визначають як найбільшу різницю показань індикатора в кожному положенні. Допустиме від-

хилення — 0,016 мм при найбільшому діаметрі оброблення до 400 мм і 0,02 мм — при діаметрі 400...800 мм.

7. Визначити радіальне биття внутрішньої центрувальної поверхні шпинделя передньої бабки (рис. 43.4, б) біля торця шпинделя I і на відстані II. Перевіряють у горизонтальній і вертикальній площинах. В отвір шпинделя I вставляють контрольну оправку 3 з циліндричною вимірювальною поверхнею. На нерухомій частині верстата закріплюють індикатор 2 так, щоб його наконечник був спрямований до осі перпендикулярно до твірної. Обертають шпиндель у робочому напрямку. При кожному вимірюванні шпиндель повинен зробити не менше ніж 2 оберти.

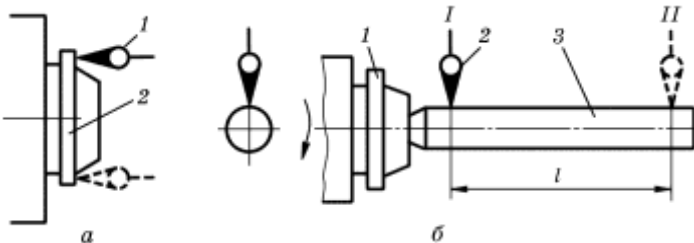


Рис. 43.4. Схеми визначення торцевого биття опорної поверхні (а) і радіального биття внутрішньої центрувальної поверхні (б) шпинделя передньої бабки

Відхилення визначають біля торця і на довжині l у горизонтальній і вертикальній площинах. Допустимі відхилення наведено в табл. 43.1.

Допуски радіального биття

Таблиця 43.1

Найбільший діаметр оброблення D_{\max} , мм	l , мм	Переріз	Допуск, мм
До 400	—	I	0,08
	200	II	0,016
400...800	—	I	0,01
	300	II	0,02

8. Визначити прямолінійність і паралельність траєкторії поздовжнього переміщення супорта відносно осі шпинделя передньої бабки (рис. 43.5, а) у вертикальній площині а і в горизонтальній площині б. В отвір шпинделя I вставляють контрольну оправку 3. На супорті 4 (в різцетримачі) закріплюють індика-

тор 2 так, щоб вимірвальний наконечник торкався поверхні оправки і був спрямований до її осі перпендикулярно до твірної.

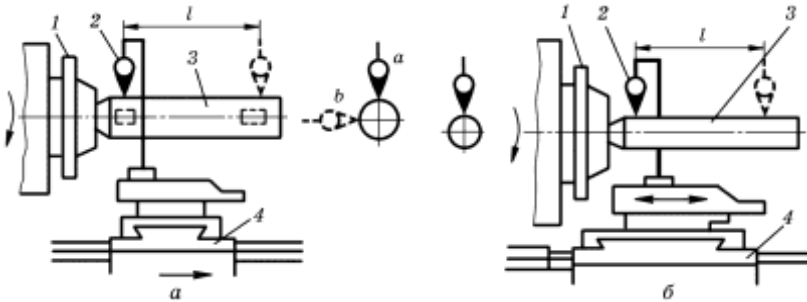


Рис. 43.5. Прямолінійність і паралельність траєкторії переміщення супорта (а) і верхніх полозків супорта (б) відносно осі шпинделя передньої бабки

Супорт переміщують на відстань l залежно від D_{\max} (табл. 43.2). Вимірювання проводять двічі при повороті шпинделя з оправкою на 180° . Відхилення визначають як середнє арифметичне не менше ніж двох вимірів у кожній площині. Кожен вимір визначають як найбільшу алгебричну різницю показань індикатора при переміщенні супорта. Допустимі відхилення наведено в табл. 43.2. Вільний кінець оправки може відхилитися вгору і в напрямку до різця переднього супорта.

Допуски прямолінійності і паралельності переміщення супорта відносно осі шпинделя

Таблиця 43.2

Найбільший діаметр оброблюваної деталі D_{\max} , мм	l , мм	Площина вимірювання	Допуск, мм
до 250	150	a	0,012
		b	0,006
250...400	200	a	0,016
		b	0,008
400...800	300	a	0,020
		b	0,012

9. Визначити прямолінійність і паралельність траєкторії переміщення верхніх полозків супорта відносно осі шпинделя передньої бабки у вертикальній площині (рис. 43.5, б). В отвір шпинделя 1 вставляють контрольну оправку 3. На верхніх полозках супорта 4 (в різцетримачі) закріплюють індикатор 2 так, щоб

вимірювальний наконечник торкався поверхні оправки і був спрямований до осі перпендикулярно до твірної. Верхні положки супорта переміщують уздовж осі шпинделя. Вимірювання проводять не менше ніж у трьох поперечних перерізах оправки — крайніх і середніх. У кожному перерізі вимірювання виконують двічі з поворотом шпинделя з оправкою на 180° .

Верхні положки супорта переміщують на всю довжину l , але не більше ніж на 300 мм. Відхилення визначають як середнє арифметичне двох вимірювань, кожне з яких визначають як найбільшу алгебричну різницю показань індикатора в зазначених положеннях положків супорта. Допустимі відхилення становлять: 0,02 мм на довжині $l = 100$ мм; 0,025 мм — на $l = 100 \dots 160$ мм; 0,04 мм — на $l = 160 \dots 300$ мм.

10. *Визначити еквідистантність траєкторії переміщень пінолю задньої бабки і супорта* (рис. 43.6, а) у вертикальній a і горизонтальній b площинах. Задню бабку з втягнутим пінолем 3 встановлюють на відстані, що дорівнює найбільшому діаметру оброблення від торця шпинделя або є більшою за нього. Супорт 1 ставлять поряд з пінолем і на ньому закріплюють індикатор 2 так, щоб його вимірювальний наконечник торкався поверхні пінолю і був спрямований до його осі перпендикулярно до твірної.

Піноль звільняють, висувають на довжину l залежно від D_{\max} (табл. 43.3).

Супорт переміщують у поздовжньому напрямку до передньої бабки так, щоб вимірювальний наконечник індикатора знову торкався твірної пінолю в тій самій точці, що й при першому встановленні.

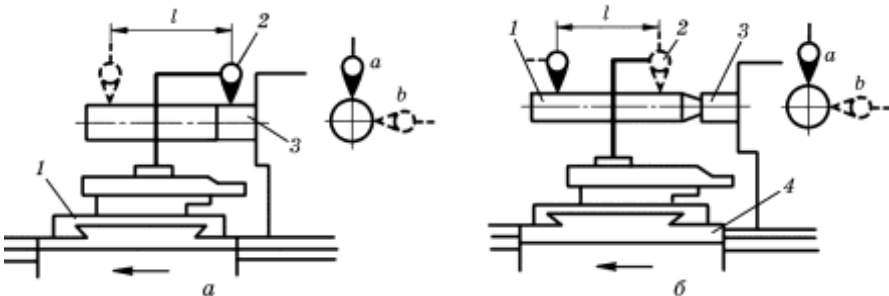


Рис. 43.6. Схеми визначення еквідистантності траєкторії переміщення пінолю задньої бабки і супорта (а) і траєкторії переміщення супорта відносно осі кінцевого отвору пінолю задньої бабки (б)

Відхилення в кожній із площин визначають як найбільшу алгебричну різницю показань індикатора в двох зазначених положеннях пінолю і супорта. При висуванні кінець пінолю може відхилятися вгору і в бік різця.

Допуски еквідистантності

Таблиця 43.3

Найбільший діаметр обробленої деталі D_{\max} , мм	l , мм	Площина вимірювання	Допуск, мм
до 250	30	a	0,006
		b	0,005
250...400	50	a	0,01
		b	0,08
400...800	100	a	0,02
		b	0,012

11. Визначити прямолінійність і паралельність траєкторії переміщення супорта відносно осі кінцевого отвору пінолю задньої бабки (рис. 43.6, б) у вертикальній площині a і в горизонтальній площині b . Задню бабку з повністю втягнутим і затиснутим пінолем встановлюють на відстані, більшій за D_{\max} від торця шпинделя до торця пінолю. В отвір пінолю 3 встановлюють контрольну оправку 1, а індикатор 2 на супорті 4 наконечником перпендикулярно до твірної оправки. Супорт переміщують у поздовжньому напрямі на довжину l (табл. 43.4).

Допуски траєкторії переміщення супорта відносно осі кінцевого отвору пінолю задньої бабки

Таблиця 43.4

Найбільший діаметр обробленої деталі D_{\max} , мм	l , мм	Площина вимірювання	Допуск, мм
до 250	150	a, b	0,016
250...400	200	a, b	0,02
400...800	300	a, b	0,03

Відхилення визначають як найбільшу алгебричну різницю показань індикатора у зазначених положеннях супорта.

12. Визначити точність геометричної форми циліндричної поверхні зразка 1, обробленого на верстаті при закріпленні в патроні (рис. 43.7): постійність діаметра в поперечному перерізі (овальність); постійність діаметра в поздовжніх перерізах (конусність). Довжина зразка $l = 100$ мм при $D_{\max} \leq 160$ мм;

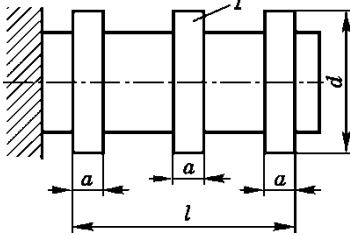


Рис. 43.7. Розміри зразка

$l = 120$ мм при $D_{\max} = 200 \dots 250$ мм;
 $l = 220$ мм при $D_{\max} = 320 \dots 400$ мм;
 $l = 320$ мм при $D_{\max} = 500 \dots 800$ мм.
 $D \geq 0,125D_{\max}$; $D_1 \leq D$; $l \geq 20$ мм.

Зразок закріплюють у патроні й обробляють зовнішню циліндричну поверхню (смужки завширшки a). Овальність визначають за різницею діаметрів оброблених поверхонь: у будь-якому поперечному перерізі (овальність) або двох поперечних перерізах і більше (конусність). Допустимі значення точності для верстатів класу нормальної точності (Н) наведено в табл. 43.5.

Допустимі значення точності

Таблиця 43.5

Найбільший діаметр оброблення D_{\max} , мм	Допуск овальності, мм	Довжина вимірювання, мм	Допуск конусності, мм
До 250	0,006	100	0,01
250...400	0,008	200	0,02
400...800	0,010	300	0,03

Зміст звіту

1. Основні дані верстата: назва; модель; завод-виробник; рік випуску; висота центрів; відстань між центрами.
2. Параметри точності верстата. Схема і послідовність їх перевірки.
3. Результати перевірки та висновки щодо них.

Контрольні запитання. 1. За якими основними параметрами перевіряють точність верстата? 2. Послідовність визначення параметрів точності токарного верстата. 3. Порядок перевірки точності роботи верстата за обробленим зразком-деталлю.

Лабораторна робота 44

Будова і налагодження універсально-фрезерного верстата і ділильної головки

Мета роботи: вивчити будову ділильної головки, послідовність розрахунків при налагодженні головки і фрезерного верстата на фрезерування зубців зубчастих коліс; одержати навички щодо методів і техніки поділу, фрезерування зубців зубчастих коліс.

Матеріали, обладнання та інструменту: фрезерний верстат, ділильна головка, набір дискових модульних фрез, заготовки, оправки, штангенциркуль, зубомір, індикатор зі стояком, набір ключів.

Теоретичні відомості

Універсальний консольно-фрезерний верстат 6Р81 (рис. 44.1) призначений для фрезерування горизонтальних, вертикальних, фасонних поверхонь, різних граней, пазів, шліців валів, зубців циліндричних прямозубцевих і косозубцевих коліс, рейок, черв'ячних і конічних коліс, кулачкових та інших муфт, канавок свердел, зенкерів, мітчиків, розверток.

При фрезеруванні деталей з гвинтовими канавками стіл верстата може повертатися навколо вертикальної осі на потрібний кут. Верстат застосовують в одиничному, дрібно- і середньосерійному виробництвах. Керування верстатом здійснюють кнопками і ручками.

Основні частини верстата (див. рис. 44.1): 6 — станина; 9 — хобот; 10 — шпindel; 11 — підвіска; 12 — стіл; 13 — стіл поворотний; 23 — фундаментна плита; 24 — консоль; 25 — полозки стола; 26 — електрошафа.

Органи керування: 1 — ручка перемикання напряму обертання шпінделя; 2 — ручка подачі холодної рідини; 3 — кнопка вмикання двигуна шпінделя; 4 — маховичок ручної поздовжньої подачі стола; 5 — ручка перемикання частот шпінделя; 7 — ручка перемикання діапазону частот обертання шпінделя; 8 — квадрат переміщення хобота; 14 — ручка поздовжнього переміщення стола; 15 — ручка поперечного переміщення стола; 16 — ручка вертикального переміщення стола; 17 — маховичок ручного поперечного переміщення стола; 18 — ручка ручного вертикального переміщення консолі зі столом; 19 — ручка перемикання подач; 20 — кнопка «Стоп»; 21 — ручка перемикання діапазону подач; 22 — кнопка вмикання двигуна подач.

Ділильні головки і методика їх налагодження. Ділильні головки призначені для закріплення і періодичного повороту заготовки навколо осі на потріб-

ний кут (поділ), неперервного обертання заготовки, узгодженого з її переміщенням. Універсальні ділильні головки дають можливість установити заготовку під кутом до столу. Найчастіше ділильні головки використовують на фрезерних верстатах. Їх можна застосовувати на розточувальних, свердлильних, довбальних та інших верстатах, а також як самостійні пристрої при розмічуванні й контролю.

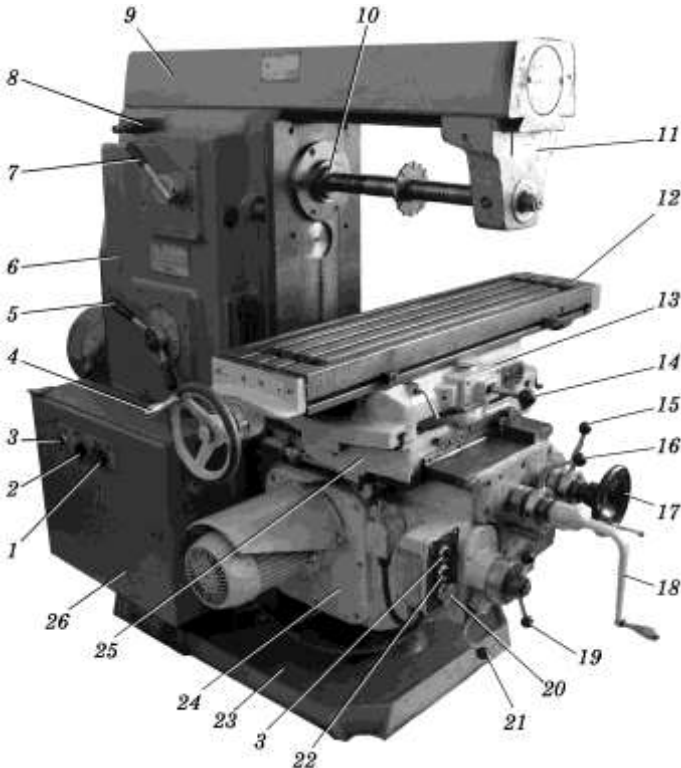


Рис. 44.1. Основні частини і органи керування верстата моделі 6P81

Ділильні головки використовують при фрезеруванні зубців зубчастих коліс, канавок різальних інструментів (фрез, зенкерів, розверток, свердел), площин багатогранників тощо. Розрізняють ділильні головки для безпосереднього поділу, універсальні та оптичні.

Найпоширенішими є універсальні ділильні головки, які застосовують для безпосереднього, простого, диференціального поділу і при нарізуванні гвинтових канавок (косозубцеві зубчасті колеса, канавки інструментів). Вони характеризуються найбільшим діаметром установлюваних заготовок. До складу ділильної головки (рис. 44.2, *a*) входять: ділильна бабка *b*, задня бабка *1*, люнет *2* і пристрої (трикулачковий самоцентрівний патрон, поводок з центром, гітара для диференціального поділу *7*, гітара для обертання заготовки від ходового гвинта стола, змінні зубчасті колеса).

Задня бабка *1* забезпечує вищу жорсткість закріплення заготовки під час оброблення, центр задньої бабки може переміщатись у вертикальному напрямку і повертатися зміщенням корпусу по пазах основи. У горизонтальному напрямку центр задньої бабки зміщується маховичком. Люнет застосовують при обробленні нежорстких заготовок. Призматичну головку люнета встановлюють по висоті гайкою.

Ділильна бабка складається з чавунної основи *8* (рис. 44.2, *a*) і корпусу *13* (рис. 44.2, *б*). Корпус із шпинделем *3* лежить в основі на шийках і може повертатися у вертикальній площині на кут від -10° до $+90^\circ$ по шкалі *11*. У потрібному положенні корпус закріплюють гайками *14*. Корпус повертають під кутом до стола при обробленні деталей, закріплених у патроні. На шпинделі *3* встановлено диск безпосереднього поділу *4*, який у певному положенні стопориться фіксатором *5*. Щоб шпиндель не провертався в процесі різання, затискують стопор *12*, а у разі поділу його відпускають.

Із правого боку корпусу бабки розміщується гітара диференціального поділу *7* із змінними зубчастими колесами *15*. Поворот шпинделя на певний кут при простому та диференціальному поділах досягається встановленням фіксатора *9* рукоятки *18* на відповідному ряду отворів ділильного диска (лімба) *10*.

Ділильний диск має кілька концентричних рядів отворів з обох боків. Наприклад, один бік може мати ряди з 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30 і 31 отворами; другий — з 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49 і 54 отворами.

Для встановлення фіксатора рукоятки на будь-який ряд отворів лімба фіксатор *9* переміщують по пазу рукоятки *18* і закріплюють гайкою.

Для повороту рукоятки *18* на потрібну кількість отворів по диску *10* виставляють ножі розсувного сектора *17*. При простому поділі диск *10* стопориться фіксатором *16*. Періодичний поворот оброблюваної деталі на потрібний кут здійснюють способами безпосереднього, простого і складного (диференціального) поділу.

Безпосередній поділ (див. рис. 44.2, *a*) виконують вручну поворотом диска *4* із шпинделем. Кут повороту диска рахують по отворах, поділках або градусній

шкалі, які є на ньому. Певне положення диска 4 забезпечують фіксатором 5. При цьому черв'як виводиться із зачеплення з черв'ячним колесом.

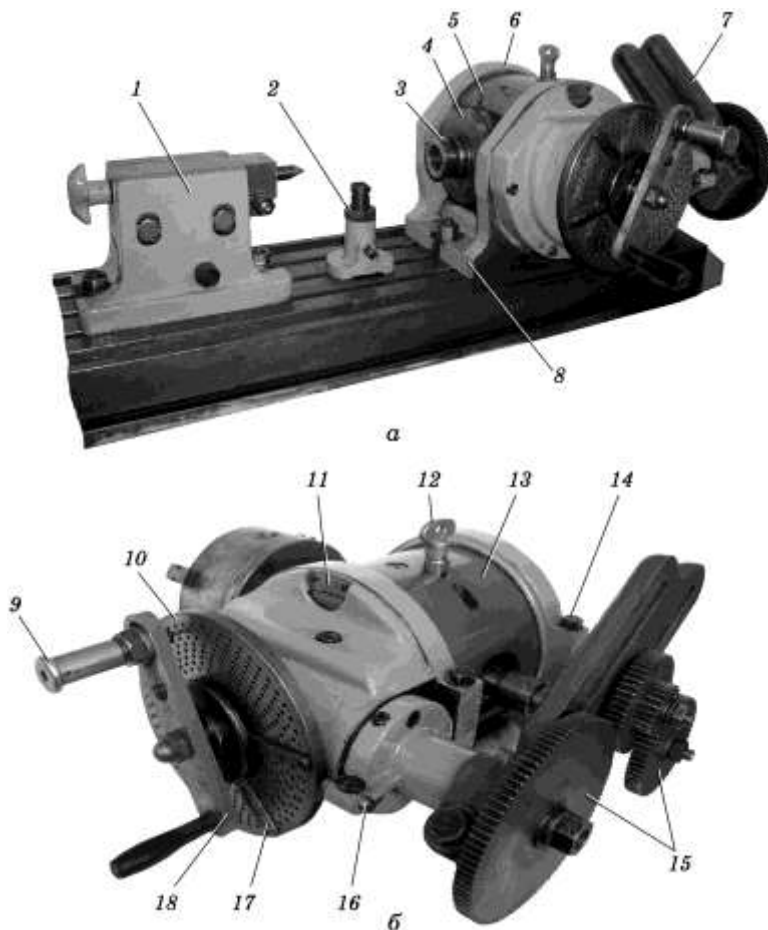


Рис. 44.2. Універсальна ділильна головка (а) і ділильна бабка (б)

Простий поділ (рис. 44.3, а) виконують поворотом шпинделя від рукоятки 2 (поз. 9 на рис. 44.2, б) при нерухомому диску 1 (поз. 10, рис. 44.2, а). Нерухоме положення диска забезпечується фіксатором 3 (поз. 16, рис. 44.2, б).

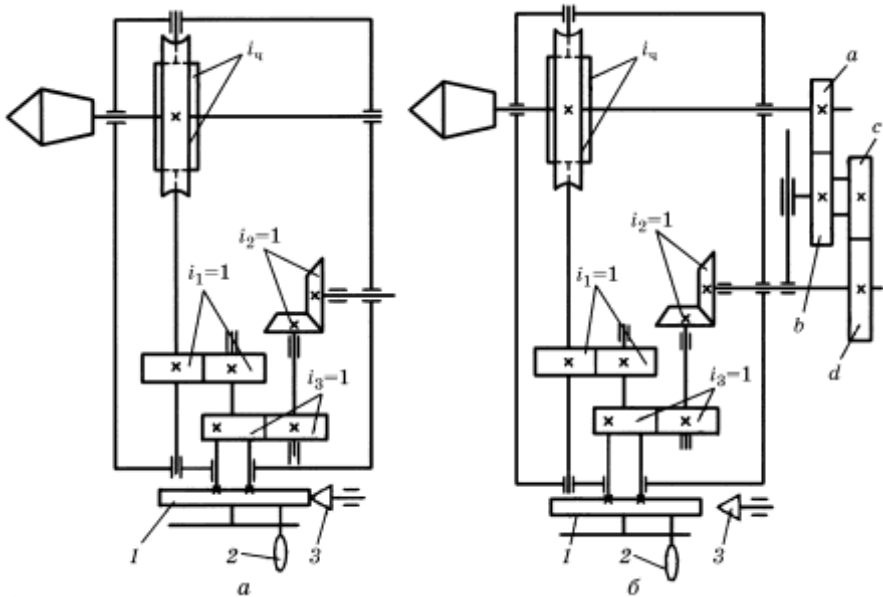


Рис. 44.3. Схеми налагодження універсальної ділильної головки

Поворот шпинделя із заготовкою на $\frac{1}{z}$ частину (z — кількість частин, на яку потрібно поділити заготовку) виконують за n_p обертів рукоятки, які зв'язані рівнянням кінематичного балансу ланцюга простого поділу головки.

$$n_p i_1 i_{\text{ч}} = \frac{1}{z}, \quad (44.1)$$

де: i_1 , $i_{\text{ч}}$ — передатні відношення зубчасті і черв'ячної передач; $i_1 = 1$;

$$i_{\text{ч}} = \frac{k}{z_{\text{к}}}, \quad (44.2)$$

де: $k = 1$ — кількість заходів черв'яка; $z_{\text{к}}$ — число зубців черв'ячного колеса (як правило, $z_{\text{к}} = 40$, але буває 60, 80, 120).

Величину, обернену передатному відношенню черв'ячної пари, називають *характеристикою ділильної головки*:

$$N = \frac{1}{i_{\text{ч}}} = \frac{z_{\text{к}}}{k}. \quad (44.3)$$

При $k = 1$ і $z_{\text{к}} = 40$ $N = 40$, тоді з формули (49.1) маємо кількість обертів рукоятки ділильного диска для простого поділу:

$$n_{\text{р}} \left(\frac{1}{N} \right) = \frac{1}{z}; \quad n_{\text{р}} = \frac{N}{z}. \quad (44.4)$$

Формулу (44.4) можна звести до такого вигляду:

$$n_{\text{р}} = \frac{N}{z} = a + \frac{b}{c}, \quad (44.5)$$

де: a — ціле число обертів рукоятки; b — кількість кроків між отворами, на яке потрібно додатково повернути рукоятку; c — кількість отворів у вибраному ряду диска.

Наприклад, потрібно фрезерувати зубчасте колесо з $z = 30$ зубцями. Кількість обертів рукоятки становить

$$n_{\text{р}} = \frac{N}{z} = \frac{40}{30} = 1 \frac{10}{30} = 1 \frac{1}{3} = 1 \frac{7}{21} = 1 \frac{11}{33}.$$

Щоб вибрати ряд отворів, потрібно скоротити дріб наскільки можливо і підібрати ряд отворів диска з числом, кратним знаменнику. Використовуючи властивості дробів, зробити, щоб число у знаменнику дорівнювало кількості отворів у вибраному ряду.

Щоб повернути рукоятку на $1 \frac{1}{3}$ оберта, потрібно підібрати на диску ряд отворів з числом, кратним знаменнику, тобто 3. Наприклад, 21, 30, 33, 39. Після цього фіксатор 9 рукоятки 18 (див. рис. 44.2, б) установлюють на ряд з вибраною кількістю отворів (наприклад, 21 отвір), рукоятку повертають на повний оберт і 7 проміжків між отворами на ряду з 21 отвором. Щоб при кожному повороті рукоятки не рахувати кількість проміжків, ножі розсувного сектора 17 встановлюють так, щоб між ними по ряду з 21 отвором по лімбу було 7 проміжків, тобто 8 отворів.

Складний (диференціальний) поділ (рис. 44.3, б) застосовують тоді, коли безпосереднім і простим способами не можна поділити коло на задану кількість частин.

За цього способу поділу забезпечують обертання диска 10 (рис. 44.2, б) від шпинделя ділильної головки через гітару змінних коліс 15. Щоб диск 10 пров'явся фіксатор 16 виводять із зачеплення з ним. Для виконання диференціаль-

ного поділу підбирають число z_0 (рекомендується приймати кратним 5), що наближається до z і на яке можна виконати простий спосіб поділу.

Кількість обертів рукоятки ділильного диска у даному разі, тобто диференціальному поділі, буде дорівнювати

$$n_p = \frac{N}{z_0}, \quad (44.6)$$

Диск простого поділу l обертається від шпинделя через змінні колеса a, b, c, d , пару конічних коліс з $i_2=1$ і пару циліндричних коліс з $i_3=1$. Необхідне число обертів рукоятки N/z при цьому буде являти алгебраїчну суму повороту рукоятки 2 відносно диска (N/z_0) і повороту самого диска l за $1/z$ частину повороту шпинделя.

$$\frac{N}{z} = \frac{N}{z_0} \pm \frac{1}{z} \cdot i_2 \cdot i_2 \cdot i_3 = \frac{N}{z_0} \pm \frac{1}{z} \cdot i_2;$$

де: $i_2 = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$ - передатне відношення змінних коліс гітари диференціального поділу.

Тобто,

$$i_2 = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{N(z_0 - z)}{z_0} \quad (44.7)$$

Якщо $z_0 > z$ (перед дробом знак «+»), то ділильний диск має обертатися в той самий бік, що й рукоятка. Якщо $z_0 < z$ (перед дробом знак «-»), то ділильний диск l має обертатися назустріч обертанню рукоятки 2 ділильної головки. Потрібне обертання рукоятки і диска досягається встановленням паразитних коліс.

Якщо підбирають чотири змінних колеса, то потрібно перевірити їх на умову зачеплення:

$$a + b \geq c + 15; \quad c + d \geq b + 15. \quad (44.8)$$

До універсальної ділильної головки поставляється набір змінних зубчастих коліс з кількістю зубців: 25, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

Гвинтові канавки (косі зубці) отримують завдяки обертанню шпинделя фрезерного верстата з фрезою, поздовжній подачі стола із заготовкою і обертанню заготовки, яке пов'язане з поздовжньою подачею стола.

Гвинтову канавку отримують при передачі руху від ходового гвинта верстата t_T (рис. 44.4) через змінні зубчасті колеса $\left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{c_1}{d_1}\right)$, вал 5, зубчасті передачі i_2, i_3 на ділильний диск 8. Від диска 8 через фіксатор 7 обертається рукоятка і далі через циліндричну зубчасту i_1 і черв'ячну i_4 пари шпindel 4 ділильної головки за допомогою оправки 2 обертає заготовку 1. Фіксатор 6 відведений від диска. Ділильна головка кріпиться на столі 3 фрезерного верстата, повернутого на кут β .

Рівняння кінематичного балансу ланцюга від ходового гвинта t_T до заготовки з кроком гвинта T має такий вигляд:

$$\left(\frac{T}{t_T}\right)\left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{c_1}{d_1}\right)i_2i_3\left(\frac{k}{z}\right) = 1 \text{ об. заготовки,} \quad (44.9)$$

де: $i_2 = 1; i_3 = 1$.

Тоді з формули (44.9) маємо:

$$i = \left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{c_1}{d_1}\right) = \frac{Nt_T}{T}. \quad (44.10)$$

Крок гвинтової канавки при фрезеруванні свердел, зенкерів, розверток та інших інструментів визначають за залежністю:

$$T = \frac{\pi D_3}{\text{tg}\beta}, \quad (44.11)$$

де: D_3 — зовнішній діаметр заготовки, мм; β — кут нахилу гвинтової канавки до осі заготовки.

Крок гвинтової канавки при фрезеруванні гвинтових зубців коліс визначають за формулою

$$T = \frac{\pi D}{\text{tg}\beta} = \frac{\pi m z}{\sin\beta}, \quad (44.12)$$

де: D — діаметр початкового кола, мм:

$$D = \frac{mz}{\cos\beta}, \quad (44.13)$$

де: m — нормальний модуль, мм; z — число зубців колеса.

При фрезеруванні гвинтових канавок стіл 3 (див. рис. 44.4) верстата із заготовкою повертається в горизонтальній площині на кут β ; правих канавок — проти ходу годинникової стрілки, лівих канавок — за ходом годинникової стрі-

лки, а в гітару змінних зубчастих коліс має бути встановлене додаткове паразитне колесо.

Для фрезерування z гвинтових канавок (зубців) після оброблення кожної чергової канавки заготовку повертають на $\frac{1}{z}$ кола рукояткою 18 (див. рис. 44.2, б), використовуючи простий поділ.

Оптичну ділильну головку застосовують для виконання особливо точних робіт і перевірки правильності виконання поділу. Розрізняють такі типи оптичних ділильних головок: ОДГ-2, ОДГ-5, ОДГ-10 і ОДГ-60 (числа означають ціну поділки в секундах). Для всіх головок найбільший діаметр виробу, що закріплюється в центрах, становить 250 мм.

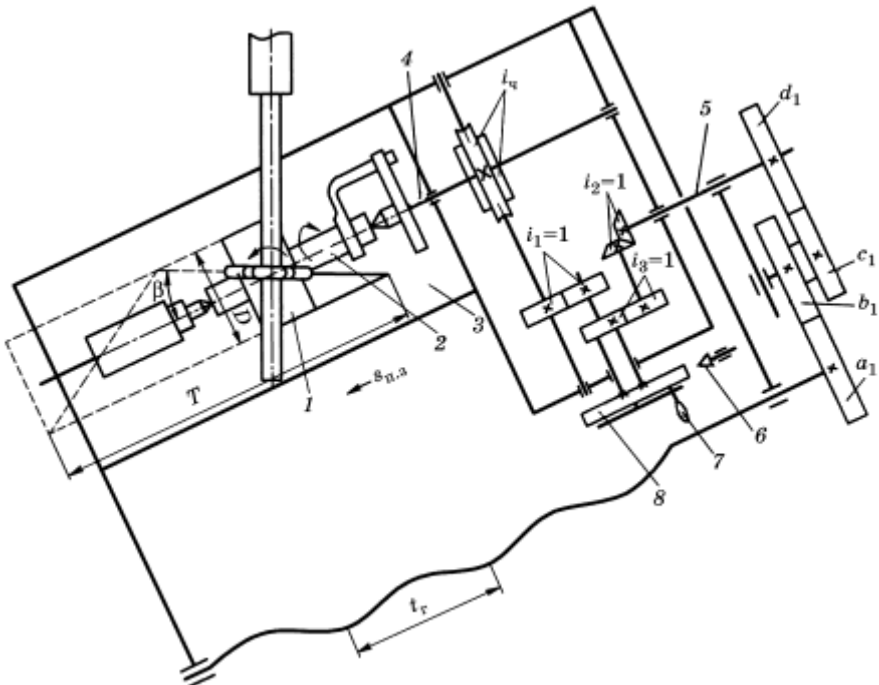


Рис. 44.4. Схема налагодження універсально-фрезерного верстата і ділильної головки на фрезерування гвинтових канавок (косих зубів)

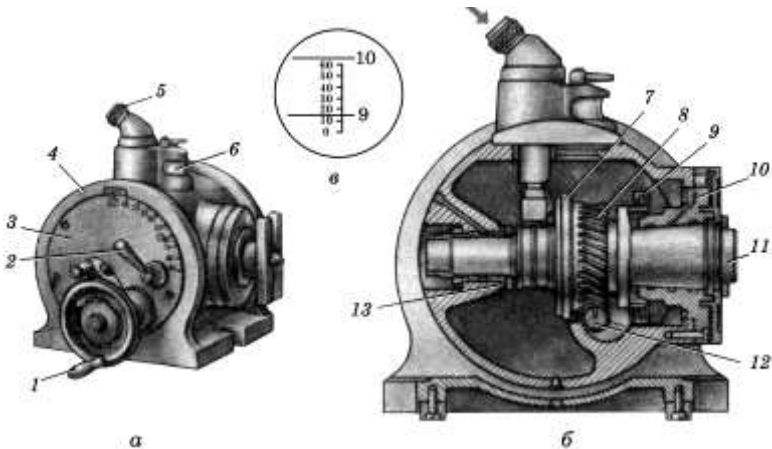


Рис. 44.5. Оптична ділильна головка

Оптична ділильна головка ОДГ-60 (рис. 44.5, а, б) складається з корпусу 4, шпинделя 11, встановленого на підшипниках 10 і 13 у поворотній частині 3 головки. Черв'ячне колесо 8 обертається черв'яком 12 від маховика 1. Черв'ячне колесо 8 зі шпинделем закріплюють у потрібному положенні притискною шайбою 9, повертаючи рукоятку 2. Черв'ячна пара призначена лише для повороту шпинделя. Один кінець валика черв'яка встановлюють в ексцентриковій втулці 7, що дає змогу виводити черв'як із зачеплення з черв'ячним колесом. Це потрібно для швидкого (вручну) повороту шпинделя головки.

Усередині корпусу головки є шкала, поділена на 360°. Зверху головки розміщується окуляр 5 з мікроскопом. Мікроскоп має нерухому шкалу 6 з ціною поділки 1'. Поле зору окуляра мікроскопа з відліком поділок кута 9°15' зображено на рис. 44.5, в. Поворот шпинделя головки на потрібні градуси і хвилини здійснюють маховиком 1, а точне встановлення — повільним поворотом накатної головки (на рисунку не показано). Кут повороту (в градусах) шпинделя ви-

значають за формулою $\alpha = \frac{360^\circ}{z}$.

Якщо задано крок поділок по колу, то кут повороту обчислюють за виразом

$$\alpha = \frac{P \cdot 360^\circ}{\pi D},$$

де: D — діаметр заготовки, мм; P — крок поділок по колу, мм.

Під час користування головкою кути послідовних поворотів додаються. Тому потрібно попередньо скласти повну таблицю кутів для всіх поворотів шпинделя головки.

Послідовність виконання роботи:

Нарізування прямих зубців зубчастого колеса:

1. Відповідно до завдання (модуль, число зубців, матеріал заготовки) розрахувати діаметр заготовки ($D_3 = m(z + 2)$) і висоту зубця ($h = 2,2m$). Якщо задано креслення деталі, то ці дані взяти з нього. Скласти креслення оброблюваної деталі.

2. Визначити кількість обертів рукоятки ділильного диска за формулою (44.4) для простого поділу і за формулою (44.6) для диференціального поділу.

3. Призначити режим фрезерування зубців дисковою модульною фрезою із швидкорізальних сталей за табл. 44.1. Значення подано для фрези із сталі Р6М5, твердості заготовки до 207 НВ. Залежно від кута нахилу зубців значення подачі множать на коефіцієнт $K_S = 0,9$ при $\beta = 15^\circ$; $K_S = 0,8$ при $\beta = 30^\circ$.

Режими нарізування зубчастих коліс дисковими модульними фрезами

Таблиця 44.1

Оброблюваний матеріал	Подача на оберт фрези s_0 , мм/об, при модулі m , мм						
	1	2	3	4	5	6	7
Сталь	1,40	1,50	1,56	1,65	1,68	1,71	1,80
Чавун	2,50	2,85	2,98	3,03	3,10	3,50	3,70
Оброблюваний матеріал	s_0 , мм/об, фрези			v , м/хв, при m , мм			
				1...5		5...7	
Сталь	0,7			32		30	
	1,4			29		27	
	2,0			26		24	
	2,5			23		21	
Чавун	1,2			27		25	
	2,5			24		22	
	3,7			21		19	
	4,5			18		16	

4. Встановити ділильну головку на фрезерний верстат.

5. Закріпити заготовку на оправку і встановити на ділильній головці (в центрах з хомутиком або в шпindelь ділильної головки і центр задньої бабки).

6. Фіксатор рукоятки 18 (див. рис. 44.2, б) вставити на потрібний ряд отворів ділильного диска 10.

7. Розсунути ножі 17 на необхідну кількість проміжків між отворами диска 10. При простому поділі ділильний диск 10 слід зафіксувати від провертання.

8. Вставити і закріпити змінні зубчасті колеса гітари (виконують при диференціальному поділі). При диференціальному поділі і нарізуванні гвинтових зубців ділильний диск 10 має бути розфіксований відведенням фіксатора 16.

9. Вибрати з набору потрібну фрезу, користуючись табл. 44.2, і встановити її на оправці в шпindelь верстата.

10. Вставити оброблювану деталь під фрезою так, щоб її вісь обертання розміщувалась у середній площині фрези.

Число зубців коліс, нарізуваних дисковими модульними фрезами

Таблиця 44.2

Номер фрези	1	2	3	4	5	6	7	8
Число нарізуваних зубців	12 – 13	14 – 16	17 – 20	21 – 25	26 – 34	35 – 54	55 – 134	>135

11. Увімкнути обертання шпindelя верстата і підніманням стола вручну підвести заготовку до фрези, якої має торкнутися її циліндрична поверхня.

12. Відвести стіл із заготовкою праворуч від фрези і виставити по лімбу верстата глибину фрезерування, яка дорівнює висоті зубця.

13. Установити потрібну подачу стола і частоту обертання шпindelя верстата залежно від матеріалу фрези і заготовки.

14. Увімкнути поздовжню подачу і проффрезерувати першу впадину.

15. Після фрезерування впадини увімкнути зворотню подачу і вивести заготовку в попереднє положення.

16. Повернути рукояткою заготовку на наступну впадину і проффрезерувати її. Це виконати до нарізування всіх зубців колеса.

17. Зняти оброблену деталь і перевірити її відповідність вимогам креслення.

Нарізування гвинтових зубців зубчастого колеса:

1. Відповідно до завдання (модуль, число зубців, напрямок зубців і кут їх нахилу, матеріал заготовки) розрахувати діаметр заготовки $D_3 = \frac{m(z+2)}{\cos\beta}$ і висоту зубця ($h = 2,2m$).

2. Скласти креслення заготовки і зобразити схему налагодження верстата аналогічно рис. 44.4.

3. Призначити режим фрезерування зубців дисковою модульною фрезею зі швидкорізальних сталей за табл. 44.1.

4. Визначити кількість обертів рукоятки ділильного диска за формулою (44.4). Підібрати ряд отворів ділильного диска.

5. Підібрати змінні колеса гітари для передачі руху від ходового гвинта стола фрезерного верстата до ділильної головки за формулою (44.10) і перевірити на умову зачеплення.

6. Підібрати номер дискової модульної фрези за зведеним числом зубців $\left(z_{зв} = \frac{z}{\cos^3 \beta} \right)$, користуючись табл. 44.2.

7. Закріпити заготовку на оправку і встановити на ділильній головці. Фіксатор рукоятки 9 (див. рис. 44.2, б) вставити на потрібний ряд отворів ділильного диска 10. Розсунути ножі 17 на потрібну кількість проміжків між отворами диска 10.

8. Установити і закріпити змінні колеса гітари відповідно до схеми між ходовим гвинтом поздовжньої подачі стола верстата і ділильною головою.

9. Вибрати з набору потрібну фрезу і встановити на оправці в шпindelь верстата.

10. Повернути стіл на потрібний кут і в потрібний бік, закріпити в цьому положенні. Надалі все виконують так, як і для прямих зубців, починаючи з п.8.

11. За допомогою оптичної ділильної головки розмітити заготовку на задану кількість частин.

Зміст звіту

1. Будова, призначення і органи керування верстата 6P81.
2. Будова і призначення ділильної головки.
3. Схеми налагодження ділильної головки на простий і диференціальний поділ та нарізування гвинтових канавок (зубців). Формули.
4. Послідовність розрахунків для налагодження ділильної головки і фрезерного верстата на фрезерування прямих і гвинтових зубців циліндричних коліс.
5. Послідовність налагодження верстата для нарізування зубців коліс.
6. Призначення і будова оптичної ділильної головки.

Контрольні запитання. 1. Основні частини універсально-фрезерного верстата 6P81. 2. Органи керування верстатом 6P81. 3. Призначення і будова універсальної ділильної

головки. **4.** Види поділу, які виконують на ділильній головці. **5.** Схема ділильної головки і формули для налагодження при простому поділі. **6.** Схема налагодження ділильної головки при диференціальному поділі. Формули. **7.** Схема налагодження ділильної головки і фрезерного верстата на нарізування гвинтових зубців (канавок). Формули. **8.** Яка послідовність розрахунків при нарізуванні прямих і гвинтових зубців зубчастих коліс? **9.** Як підбирають ряд отворів на диску простого поділу для заданого числа зубців (частин) зубчастого колеса. **10.** Яка послідовність налагодження ділильної головки і фрезерного верстата на нарізування прямих і гвинтових зубців зубчастих коліс? **11.** Основні частини оптичної ділильної головки. **12.** Порядок роботи на оптичній ділильній головці.

Лабораторна робота 45

Будова і налагодження зубцефрезерного верстата 5Д32

Мета роботи: ознайомитися з будовою і керуванням верстата; овоїти навички роботи на верстаті і налагодження для оброблення зубців зубчастих коліс.

Обладнання, матеріали та інструменти: зубцефрезерний верстат, комплект змінних зубчастих коліс, оправки, індикатор із штативом, штангенциркуль, штангензубомір, зубцемірний мікрометр, заготовки.

Теоретичні відомості

У серійному та масовому виробництвах основним методом нарізування зубців зубчастих коліс є метод обкочування (обгинання). У промисловості найпоширенішими є зубцефрезерні верстати, на яких нарізують зубці методом обкочування черв'ячною модульною фрезою. Це переважно напівавтомати і автомати.

Для нарізування зубців черв'ячною модульною фрезою (рис.45.1, *a*) потрібно здійснити такі рухи: обертання фрези $D_{r\phi}$ (головний рух), обертання заготовки D_{s_3} (рух поділу) і рух вертикальної подачі D_{s_v} для циліндричних коліс і радіальної подачі D_{s_p} для черв'ячних коліс.

При нарізуванні косих зубців заготовка отримує додаткове обертання з частотою n_d залежно від кута нахилу зубців. Щоб забезпечити певне значення цих рухів, підбирають і встановлюють змінні колеса гітар.

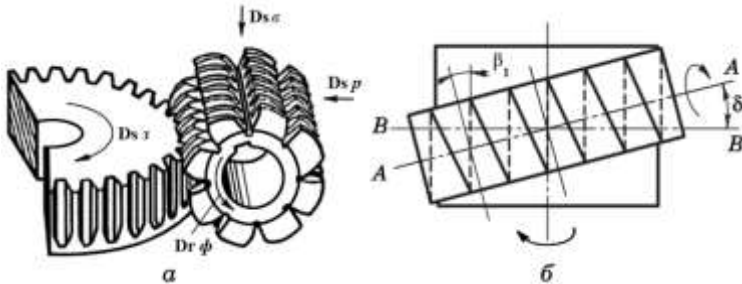


Рис. 45.1. Нарізування зубців коліс черв'ячною фрезою:
а — загальний вигляд; б — схема

При налагодженні зубцефрезерних верстатів розглядають чотири кінематичних ланцюги для підбору змінних коліс гітар: головного руху, або частоти обертання, фрези; поділу (обертання заготовки); вертикальної або радіальної подачі фрези; додаткового обертання заготовки (диференціала).

Числа зубців змінних коліс гітар визначають за рівнянням кінематичного балансу відповідних ланцюгів.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга головного руху (частоти обертання) має такий вигляд:

$$n_{\phi} = n i_1 \frac{A}{B}, \quad (45.1)$$

де: n_{ϕ} і n — частота обертання відповідно фрези і вала двигуна, хв^{-1} ; A , B — числа зубців змінних коліс гітари швидкостей; i_1 — передатне відношення постійних механізмів у ланцюзі від двигуна до фрези.

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot v}{\pi D_{\phi}}, \quad (45.2)$$

де: v — допустима швидкість різання, м/хв ; D_{ϕ} — діаметр фрези, мм .

Для нарізування потрібного числа зубців колеса слід узгодити частоту обертання заготовки і фрези:

$$\frac{n_3}{n_{\phi}} = \frac{k}{z}, \quad (45.3)$$

де: n_3 , n_{ϕ} — частота обертання відповідно заготовки і фрези, хв^{-1} ;

k, z — відповідно кількість заходів фрези і число зубців нарізаного колеса.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга поділу має вигляд

$$1_{\text{об.ф}} i_2 \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{k}{z}, \quad (45.4)$$

де: i_2 — передатне відношення постійних передач від фрези до заготовки; a, b, c, d — числа зубців змінних коліс гітари поділу.

Кінематичний баланс ланцюга подач визначають за рівнянням

$$1_{\text{об.ф}} i_3 \left(\frac{a_1}{b_1} \right) \left(\frac{c_1}{d_1} \right) t_T = s_B, \quad (45.5)$$

де: i_3 — передатне відношення постійних механізмів від заготовки до гвинта вертикального переміщення фрезерного супорта; t_T — крок гвинта вертикального переміщення фрезерного супорта, мм (як правило, $t_T = 10$); a_1, b_1, c_1, d_1 — числа зубців змінних коліс гітари подачі.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга додаткового обертання заготовки (диференціала) для нарізування гвинтових (косих) зубців має такий вигляд:

$$1_{\text{об.гв}} i_4 \left(\frac{a}{b} \right) \left(\frac{c}{d} \right) \left(\frac{a_1}{b_1} \right) \left(\frac{c_1}{d_1} \right) = \frac{t_T}{T}, \quad (45.6)$$

де: i_4 — передатне відношення постійних механізмів від гвинта вертикальної подачі до заготовки через диференціал; $\left(\frac{a}{b} \right) \left(\frac{c}{d} \right) = \frac{k}{(zi_2)}$ — передатне відношення змінних коліс гітари поділу; a_2, b_2, c_2, d_2 — числа зубців змінних коліс гітари диференціала; T, t_T — відповідно крок гвинта нарізуваних зубців і крок гвинта вертикальної подачі фрези.

Крок гвинта нарізуваних зубців визначають за формулою

$$T = \frac{\pi D_0}{\text{tg} \beta} = \frac{\pi m_s z}{\text{tg} \beta} = \frac{\pi m z}{\sin \beta}, \quad (45.7)$$

де: D_0 — діаметр початкового кола зубців нарізаного колеса, мм; $D_0 = m_s z$;

$$m_s = \frac{m}{\cos \beta}, \quad (45.8)$$

де: m_s, m — відповідно торцевий і нормальний модулі нарізуваних зубців, мм.

На зубцефрезерних верстатах нарізують також зубці черв'ячних коліс. Таке нарізування здійснюють двома методами: радіальної і тангенціальної (осьової) подач. У першому випадку використовують циліндричну, а в другому — конічну модульні фрези. Для нарізування черв'ячних коліс методом радіальної подачі потрібні обертання фрези, обертання заготовки і радіальна подача. Ці рухи настраюють за такими самими формулами, що і для прямозубцевих і гвинтових коліс. Лише для радіальної подачі розглядають ланцюг передачі руху від заготовки до гвинта радіальної подачі. Гвинт радіальної подачі нерухомий.

При нарізуванні черв'ячних коліс методом тангенціальної подачі замість фрезерного супорта ставлять протяжний, який забезпечує переміщення фрези вздовж її осі. Для цього методу потрібні такі рухи: обертання фрези, обертання заготовки, тангенціальна (осьова) подача фрези і додаткове обертання заготовки, яке зумовлене осьовим переміщенням фрези. Обертання фрези і заготовки налагоджують так само, як і для циліндричних зубчастих коліс.

Тангенціальну (осьову) подачу фрези налагоджують, виходячи з кінематичного балансу ланцюга передачі руху від стола до ходового гвинта осьової подачі фрези аналогічно подачі для циліндричних коліс.

Додаткового обертання заготовки, узгодженого з осьовим переміщенням фрези, досягають за умови, що за час осьового переміщення фрези на величину торцевого кроку зубців нарізуваного колеса заготовка повернеться додатково на $\frac{1}{z}$ оберта. Рівняння кінематичного балансу матиме такий вигляд:

$$\frac{t_s}{t_{r.o}} i_5 \left(\frac{a}{b} \right) \left(\frac{c}{d} \right) \left(\frac{a_3}{b_3} \right) \left(\frac{c_3}{d_3} \right) = \frac{1}{z}, \quad (45.9)$$

де: $t_s = \frac{\pi m}{\cos \beta}$ — торцевий крок зубців нарізуваного колеса, мм; $t_{r.o}$ — крок

гвинта осьової подачі фрези, мм; i_5 — передатне відношення постійних механізмів передачі руху від ходового гвинта тангенціальної подачі фрези до заготовки; a_3, b_3, c_3, d_3 — числа зубців змінних коліс у ланцюзі додаткового обер-

тання заготовки при тангенціальній (осьовій) подачі фрези; $\left(\frac{a}{b} \right) \left(\frac{c}{d} \right) = \frac{k}{(zi_2)}$ —

передатне відношення змінних коліс гітари поділу.

Зубцефрезерний напівавтомат 5Д32 (рис. 45.2) призначений для нарізування прямих і гвинтових зубців циліндричних коліс і зубців черв'ячних коліс. Діаметр нарізуваних коліс становить до 800 мм, ширина — до 275 мм, модуль

до 6 мм — по сталі і до 8 мм по чавуну, частота обертання фрези — $47 \dots 192 \text{ хв}^{-1}$, вертикальна подача 0,25...3 мм/об, радіальна — 0,06...0,72 мм/об.

На станині 1 (див. рис. 45.2) розміщено нерухомий 4 і супортний 9 стояки. Стояк 9 може переміщатися для встановлення потрібної глибини фрезерування або радіальної подачі при нарізуванні зубців черв'ячних коліс. По напрямних супортного стояка 9 може переміщатися вертикально фрезерний супорт 7. Заготовка кріпиться на столі 2 на оправці 3, яка підтримується кронштейном 5. Для жорсткості стояки 4 і 9 з'єднано поперечиною 6. Встановлення фрези під кутом до осі заготовки здійснюють поворотом фрезерної головки по шкалі 8.

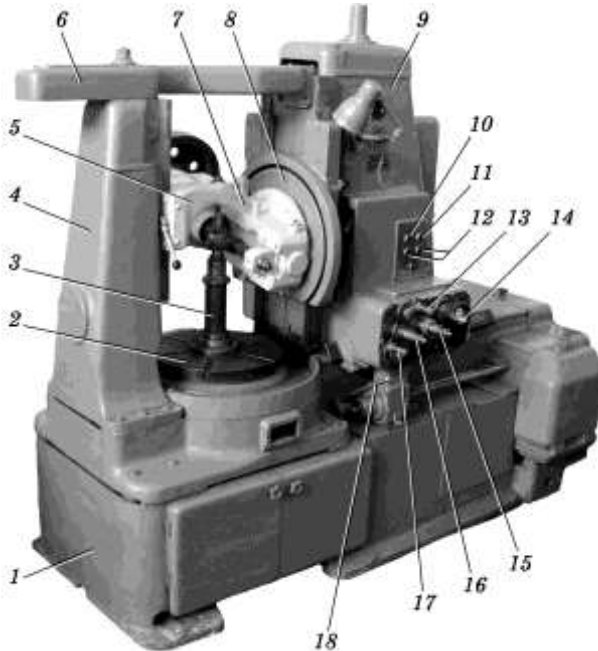


Рис. 45.2. Зубцефрезерний напівавтомат 5Д32

Верстат вмикають кнопками робочого 10 і прискореного 11 ходів, а вимикають кнопками 12. Уручну стояк фрезерного супорта в горизонтальній площині (радіальна подача) переміщують поворотом квадрата 15, а вертикально — поворотом квадрата 16.

Важелем 13 вмикають муфту подач. Для вмикання вертикальної подачі фрези користуються важелем 17. Щоб забезпечити радіальну подачу фрези, додатково повертають рукоятку черв'яка радіальної подачі 14. Черв'як радіальної подачі вмикають вручну, повертаючи квадрат 15 за ходом годинникової стрілки до клацання. Тангенціальну подачу вмикають важелем 13, коли встановлено протяжний супорт. Важелем 18 (повертаючи вниз) вмикають подачу для фрезерування і гітару диференціала.

Кінематична схема верстата 5Д32. Для вивчення роботи механізмів і налагодження верстата розглядають такі кінематичні ланцюги (рис. 45.3).

Ланцюг частоти обертання фрези. Шпindel ь із фрезою (вал VIII) отримує рух по ланцюгу: електродвигун ($N = 2,8$ кВт, $n = 1420$ хв⁻¹), клинопасова передача 105 : 224 — вал I, шестерні 32 : 48 — вал II змінні колеса А:В на вал IV, а для зміни напряму обертання фрези з вала II через шестерня 35 : 35 — вал III, та змінні колеса А:В також на вал IV. З вала IV рух передається через дві пари кінцевих шестерень 24 : 24 — вали V і VI, кінцеві шестерні 17:17 — вал VII, шестерні 16 : 64 — вал VIII (шпindel ь). Для гасіння вібрацій на валу VII встановлено маховик.

Кінематичний баланс ланцюга частоти обертання фрези, хв⁻¹, визначають за рівнянням

$$n_{\text{ф}} = 1420 \frac{105}{224} 0,985 \frac{32}{48} \frac{35}{35} \frac{A}{B} \frac{24}{24} \frac{24}{24} \frac{17}{17} \frac{16}{64} = 110 \frac{A}{B}. \quad (45.10)$$

Із рівняння (45.10) колеса гітари швидкостей підбирають за співвідношенням

$$\frac{A}{B} = \frac{n_{\text{ф}}}{110}. \quad (45.11)$$

Комплект змінних зубчастих коліс гітари швидкостей з числами зубців 18, 22, 25, 28, 32, 35, 38 і 42 забезпечує отримання семи частот обертання шпindel ь (рис. 45.4). Вибір ведучого вала (вал II або III) залежить від напряму обертання фрези.

Ланцюг поділу (обертання стола). Передача руху на стіл починається від вала IV, але для кінематичного ланцюга поділу початковою ланкою є вал VIII з фрезою, а кінцевою — вал стола. Тобто від вала VIII через вали VII, VI, V повертаємося до вала IV, а від нього через колеса 46-46 на диференціал, від нього на вал XV, через колеса C-D і вал XVI на змінні колеса гітари поділу a-b і c-d вал XXVII. Від вала XXVII через черв'ячну пару 1-96 обертається стіл із заготовкою. Якщо нарізується число зубців до 161, то C і D однакові ($z = 36$), а при більшому числі зубців $\frac{C}{D} = \frac{24}{48}$.

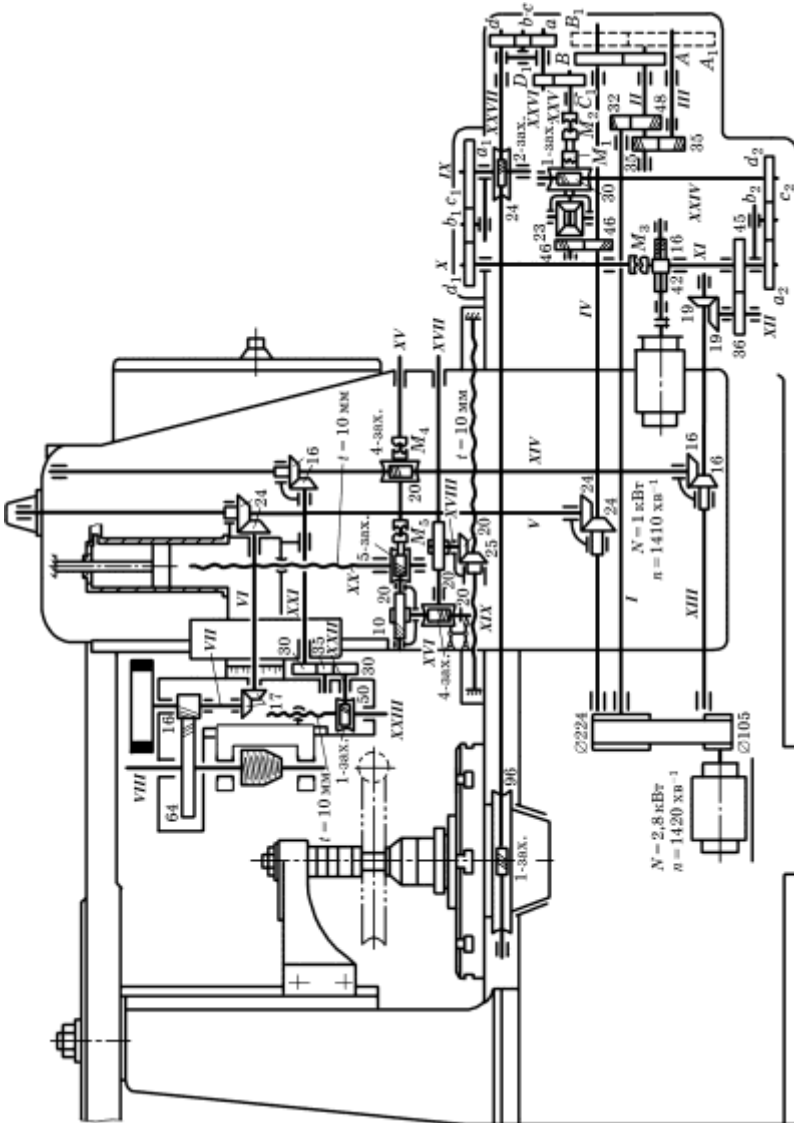


Рис. 46.3. Кінематична схема верстака 5/Д32

Рівняння кінематичного балансу ланцюга поділу має такий вигляд:

$$\frac{n_3}{n_{\Phi}} = \frac{k}{z} = \frac{64}{16} \frac{17}{17} \frac{24}{24} \frac{46}{46} \frac{1}{1} \frac{C}{D} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{1}{96} = \frac{1}{24} \frac{C}{D} \frac{a}{b} \frac{c}{d}. \quad (45.12)$$

Із рівняння (45.12) змінні колеса гітари поділу підбирають за виразами

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{24k}{z} \quad (\text{до } 161 \text{ зубця}); \quad (45.13)$$

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{48k}{z} \quad (\text{понад } 161 \text{ зубець}). \quad (45.14)$$

Ланцюг подач. У цьому ланцюзі початковим (ведучим) елементом є стіл із заготовкою, а кінцевим — гвинт вертикального переміщення фрезерного супорта. Фактично рух передається від вала XXVII через черв'ячну пару на вал IX, змінні колеса гітари подач $\frac{a_1}{b_1}$, $\frac{c}{d_1}$ — вал X, через муфту M_3 на вал XI, зубчасті колеса 45-36 вал XII, конічні колеса 19-19 вал XIII, конічні колеса 16-16 і вал XIV.

Для здійснення вертикальної подачі фрезерного супорта вмикають муфти M_4 і M_5 . Рух від вала XIV через черв'ячну передачу 4-20 вал XV і черв'ячну пару 5-30 передається вертикальному ходовому гвинту XX з кроком 10 мм.

Рівняння кінематичного

балансу ланцюга подач, мм/об, від стола із заготовкою до гвинта з $t=10$ мм вертикального переміщення фрезерного супорта має такий вигляд:

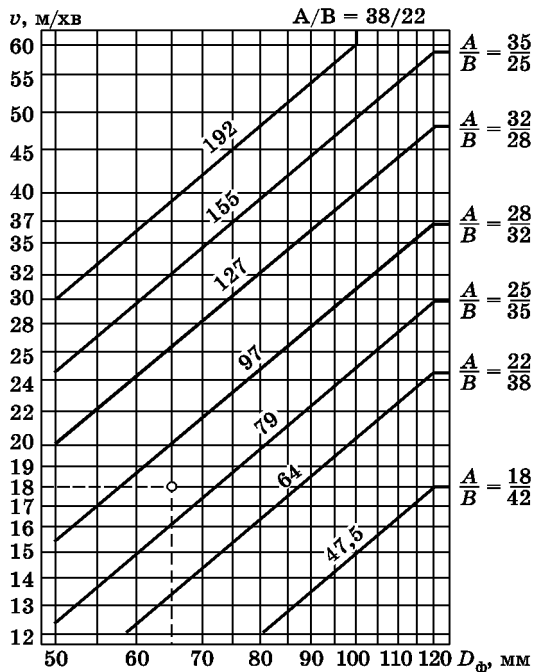


Рис. 45.4. Номограма частот обертання фрези верстата 5Д32

$$s_B = 1 \frac{96}{1} \frac{2}{24} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{45}{36} \frac{19}{19} \frac{16}{16} \frac{4}{20} \frac{5}{30} 10 = \frac{10}{3} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1}. \quad (45.15)$$

Із рівняння (46.15) змінні колеса гітари подач підбирають за виразом

$$\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} = 0,3 s_B. \quad (45.16)$$

Ланцюг додаткового обертання заготовки (диференціала). Цей ланцюг працює при нарізуванні гвинтових зубців циліндричних коліс. Для надання додаткового обертання столу використовують диференціал. *Диференціал* — механізм, який дає змогу додавати два рухи і передавати їх столу.

Диференціал (рис. 45.5) складається з водила n_0 і сонячного конічного зубчастого колеса z_1 , вільно посаджених на вал XXV . Друге сонячне конічне колесо z_3 закріплене на цьому валу. На пальцях водила вільно посаджено сателіти z_2 , які зачеплені з колесами z_1 і z_3 . З колесами z_1 з'єднано шестерню $z = 46$, яка отримує основний рух від вала IV (рис. 45.3). На втулці водила вільно сидить черв'ячне колесо 30 , яке отримує додаткове обертання через черв'ячну передачу $\frac{1}{30}$ від вала $XXIV$ (рис. 45.3).

При ввімкненні муфти M_2 водило жорстко з'єднується з валом XXV (рис. 45.5, *a*). Водило n_0 і колеса z_1 , z_2 , z_3 з'єднуються в жорсткий вузол і колесо $z = 46$ обертає безпосередньо вал XXV . У цьому разі диференціал вимкнено, а столу передається лише основний рух (нарізаються прями зубці).

Для додаткового обертання стола (нарізаються косі зубці) замість муфти M_2 ставиться муфта M_1 (рис. 45.5, *б*). У цьому разі основний рух передаватиметься від шестерні $z = 46$ через конічне колесо z_1 , сателіти z_2 і конічне колесо z_3 .

Додатковий рух через черв'ячне колесо $z = 30$ передаватиметься водилу, яке за допомогою пальців обертає сателіти z_2 навколо конічного колеса z_1 і обертає колесо z_3 з валом XXV .

Додаткове обертання добавляється до основного або віднімається від нього. Передатне відношення диференціала при передачі додаткового руху $i = 2$.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга додаткового обертання заготовки (диференціала) має такий вигляд:

$$\frac{T}{10} \frac{30}{5} \frac{20}{4} \frac{16}{16} \frac{19}{19} \frac{36}{45} \frac{\alpha_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{1}{30} \frac{1}{2} \frac{C_1}{D_1} \frac{ac}{bd} \frac{1}{96} = \pm 1. \quad (45.17)$$

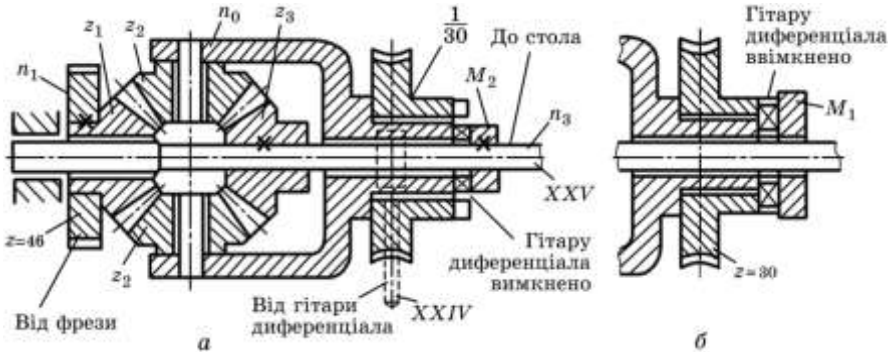


Рис. 45.5. Схема диференціала: *a* — вимкненого; *б* — увімкненого

Із рівняння (45.17) змінні колеса гітари диференціала вибирають за співвідношенням

$$\frac{\alpha_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{600}{T} \frac{bd}{ac} = \frac{25 \sin \beta}{\pi mk} = \frac{7,95775 \sin \beta}{mk}. \quad (45.18)$$

Для нарізування зубців черв'ячних коліс гітара диференціала налагоджується лише під час роботи з осьюовою подачею фрези (при протяжному супорті).

Число зубців змінних коліс гітари диференціала для черв'ячних коліс визначають за рівнянням

$$\frac{\alpha_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} = \frac{2,38733 \cos \beta}{mk}. \quad (45.19)$$

Змінні колеса підбирають за одним із методів. Для верстата 5Д32 це краще здійснювати логарифмічним методом. Для цього знаходять логарифм числа, за яким, користуючись відповідними таблицями, підбирають змінні колеса для найближчого значення логарифма. Якщо значення кута ціле число, то доцільно скористатися табл. 45.1.

Для налагодження кінематичних ланцюгів поділу, подачі і диференціала до верстата прикладено спільний для всіх трьох гітар набір змінних зубчастих коліс (усього 43 шт.) з числами зубців: 20, 20, 23, 24, 25, 25, 30, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 79, 80, 83, 85, 89, 90, 92, 95, 97, 98, 100.

Ланцюг радіальної подачі фрези. Цей ланцюг працює при нарізуванні зубців черв'ячних коліс з радіальною подачею фрези. Початковим елементом у ланцюзі є стіл, а кінцевим — гвинт радіальної подачі XIX (див. рис. 45.3). На верстаті гвинт не обертається. Рівняння кінематичного балансу ланцюга радіальної подачі має такий вигляд:

$$s_p = 1 \frac{96}{1} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{45}{36} \frac{19}{19} \frac{16}{16} \frac{4}{20} \frac{10}{20} \frac{4}{20} \frac{10}{20} \frac{20}{25} 10. \quad (45.20)$$

Із рівняння (45.20) змінні колеса гітари знаходять за виразом

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = 1,25s_B. \quad (45.21)$$

Ланцюг тангенціальної подачі фрези. Цей ланцюг налагоджується при нарізуванні зубців черв'ячних коліс з осьюовою подачею фрези.

Початковим елементом ланцюга є стіл, а кінцевим — гвинт XXIII (див. рис. 45.3) осьового переміщення фрези з кроком 5 мм.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга тангенціальної подачі фрези має такий вигляд:

$$s_T = 1 \frac{96}{1} \frac{2}{24} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{45}{36} \frac{19}{19} \frac{16}{16} \frac{16}{16} \frac{30}{30} \frac{1}{50} 5. \quad (45.22)$$

Із рівняння (45.22) число зубців змінних коліс гітари тангенціальної подачі фрези визначають за формулою

$$\frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} = s_T. \quad (45.23)$$

Послідовність розрахунків при налагодженні зубцефрезерного верстата на нарізування зубців. Вихідними даними для розрахунків є число і напрямок зубців, модуль і матеріал заготовки, а також діаметр, матеріал, кількість заходів, напрямок і кут підйому витків фрези.

З нормативів вибирають допустимі значення швидкості різання і подачі. Так, для зустрічного фрезерування при обробленні фрезами зі швидкорізальних сталей беруть такі значення:

- ♦ чорнове нарізування — для чавуну $v = 32 \dots 60$ м/хв; $s = 0,9 \dots 3,2$ мм/об; для сталі $v = 30 \dots 57$ м/хв; $s = 0,8 \dots 3,0$ мм/об;

- ♦ чистове нарізування по суцільному металу — для чавуну $v = 22 \dots 50$ м/хв; $s = 1,2 \dots 1,8$ мм/об; для сталі $v = 20 \dots 48$ м/хв; $s = 1,0 \dots 1,8$ мм/об;

- ♦ чистове нарізування по прорізаному зубцю ($Ra = 3,2$) — для сталі і чавуну $v = 18 \dots 24$ м/хв; $s = 0,8 \dots 2,5$ мм/об.

Набори змінних коліс гігари диференціала

Таблиця 45.1

β	Число зубів змінних коліс гігари поділу диференціала при модулях m, мм																									
	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4													
8	62	73	58	33	41	67	45	41	40	45	45	35	30	65	58	34	20	60	50	37	25	33	47	58	20	
	61	67	45	48	60	62	53	55	65	50	40	80	62	71	59	83	65	50	61	89	79	59	89	59	71	
9	75	65	55	43	50	30	65	40	50	59	30	71	50	47	40	47	61	20	43	37	65	20	33	58	59	25
	50	47	25	95	60	83	43	85	60	79	70	55	59	80	62	67	30	98	62	67	43	85	73	79	60	79
10	40	57	35	70	53	73	47	73	45	35	47	62	40	83	59	41	57	20	53	43	55	35	30	65	57	20
	50	33	60	41	60	79	55	79	40	57	65	73	65	59	58	83	33	75	67	80	65	75	79	67	55	60
11	67	47	58	67	53	34	47	60	59	62	55	37	33	53	45	60	40	53	45	30	34	40	25	60	55	37
	34	61	59	80	20	89	50	65	61	79	45	67	60	48	73	67	59	71	34	85	57	55	65	57	67	80
12	65	35	55	71	45	40	65	40	35	65	25	61	30	55	35	65	35	60	35	30	65	60	25	33	50	
	25	55	50	59	34	48	50	55	55	50	34	35	79	40	80	55	75	55	75	55	75	55	40	85	57	70
13	48	80	45	70	41	70	47	58	48	40	40	53	50	67	40	59	41	35	40	58	53	25	65	20	53	25
	65	33	55	40	65	37	65	41	33	65	41	65	65	71	55	65	37	65	62	67	35	73	34	79	40	73
14	55	70	55	35	55	70	55	35	43	58	67	30	35	45	40	35	45	40	35	55	35	55	55	35	55	34
	50	40	25	50	50	60	50	40	50	53	55	45	58	50	33	85	50	65	50	70	50	75	58	67		
15	59	83	59	71	45	65	41	58	45	73	65	40	62	45	65	45	65	45	37	65	53	43	53	40		
	58	41	62	41	71	30	47	43	58	55	71	70	43	71	55	71	60	71	61	67	50	83	58	71		
16	47	70	79	47	70	47	60	47	47	70	45	65	62	30	41	79	65	45	37	55	30	61	58	47	34	
	50	30	45	30	75	60	50	50	60	50	60	40	53	70	58	60	67	45	73	40	55	79	62			
17	70	58	57	70	41	45	65	62	50	65	65	35	65	30	55	30	61	45	35	59	40	55	37	33	55	
	30	37	48	37	50	55	40	41	65	40	55	33	55	65	59	40	40	55	55	71	41	80	65	48		
18	65	70	60	70	60	50	55	53	47	73	47	45	40	57	40	43	65	70	37	47	45	61	43	40	58	
	37	50	61	35	30	61	34	61	62	45	43	30	61	30	85	55	62	58	59	43	70	50	80	61	62	
19	61	79	57	60	57	60	57	57	45	57	40	57	45	30	57	30	57	30	57	30	57	30	57	30	57	30
	62	30	33	50	33	60	33	60	33	60	33	60	33	60	33	60	33	60	33	60	33	60	33	60	33	80
20	50	83	61	70	70	35	70	53	57	33	55	60	45	55	62	33	62	47	62	35	60	43	67	43		
	61	25	53	37	30	45	45	37	60	50	30	40	62	53	65	55	41	58	60	45	45	79	58	73		

Визначають такі параметри і величини:

1. Зовнішній діаметр заготовки:

$$\diamond \text{ для прямих зубців — } D = m(z + 2); \quad (45.24)$$

$$\diamond \text{ для гвинтових зубців — } D = \frac{m(z + 2)}{\cos \beta}, \quad (45.25)$$

де: m , z , β — відповідно нормальний модуль, число зубців і кут нахилу зубців.

2. Глибину фрезерування (висоту зуба): $t = h = 2,2m$. (45.26)

3. Число зубців змінних коліс гітари швидкостей вибирають за формулою (45.11) або за номограмою (рис. 45.4) залежно від діаметра фрези і швидкості різання.

4. Число зубців змінних коліс гітари поділу за рівнянням (45.13) або (45.14) залежно від кількості нарізувальних зубців колеса.

5. Число зубців змінних коліс гітари подачі за рівнянням (45.16).

6. Число зубців змінних коліс гітари додаткового обертання заготовки (диференціала) при нарізуванні гвинтових зубців циліндричних (рівняння (45.18)) і черв'ячних (формула (45.19)) коліс.

Зауваження. При підборі змінних коліс гітар не можна використовувати колесо з одним і тим самим числом зубців (якщо воно одне) у двох гітарах. Крім того, при чотирьох змінних колесах слід перевірити їх на умову зачеплення:

$$a + b > c + 15; \quad c + d > b + 15, \quad (45.27)$$

де: a , b , c , d — числа зубців змінних коліс у гітарі.

Для кінематичного ланцюга подачі допускається незначна зміна передатного відношення.

При нарізуванні циліндричних прямозубців коліс з простим числом зубців понад 100 за допомогою набору змінних зубців гітар не можна здійснити точний поділ. У цьому разі гітару поділу налагоджують на число зубців $z \pm C$, зручне для налагодження. Щоб компенсувати похибку в частоті обертання стола, використовують коригування через кінематичний ланцюг диференціала.

Послідовність виконання роботи:

Нарізування зубців циліндричних коліс:

1. Вивчити будову, кінематику і керування верстатом.
2. Відповідно до завдання виконати потрібні розрахунки для налагодження верстата.
3. Намалювати схеми встановлення фрези і змінних коліс у гітарах.

4. На основі розрахунків підібрати і встановити на верстат змінні колеса гітар. При встановленні змінних коліс гітар використовувати схеми установлення для прямих (табл. 45.2) і гвинтових зубців (табл. 45.3) циліндричних коліс.

Схеми встановлення фрези і змінних коліс гітар при нарізуванні прямих зубів коліс

Таблиця 45.2

Фреза	Установлення фрези	Гітара швидкохідної	Гітара поділу		Гітара подачі			
					Зустрічне фрезерування		Попутне фрезерування	
			2	4	2	4	2	4
Правохідна								
Лівохідна								

5. Закріпити фрезу з оправкою у фрезерному супорті. Вісь фрези встановити (поворотом супорта) на потрібний кут за схемами (див. табл. 45.3 і 45.4) залежно від типу зубців (прямі, гвинтові) зубчастого колеса і напрямку витків (ліві, праві) зубчастого колеса і фрези.

6. Закріпити заготовку на оправці, встановленій на столі верстата. Встановити фрезу на глибину фрезерування і по висоті. Для цього вимкнути падаючий черв'як рукояткою 14 (рис. 45.2), відпустити гайку кріплення поперечини 6. Підвести фрезу до заготовки (по середині ширини вінця) до легкого дотикання (фреза і заготовка мають обертатися).

Після цього супорт підняти (або опустити при попутному фрезеруванні) за межі заготовки. Супортний стояк перемістити до осі заготовки на глибину фрезерування (висоту зубця) h . Переміщення відмічають по лімбу квадрата 15 з ціною поділки 0,05 мм. Стояк і поперечину закріпити. Підвести фрезу на відстань:

$$a = \sqrt{\frac{h(D_{\text{ф}} - h)}{\cos \beta}}. \quad (45.28)$$

7. Виставити упори на напрямних стояка фрезерного супорта для роботи верстата у напівавтоматичному режимі.

8. Увімкнути верстат.

9. Після автоматичного вимкнення верстата зняти заготовку, підняти фрезу у вихідне положення, закріпити заготовку і кнопкою запустити верстат у роботу.

Налагодження верстата на нарізування зубців черв'ячних коліс:

1. Розрахувати і підібрати змінні колеса гітар. Гітари швидкостей і поділу розрахувати за такими самими формулами, що й для зубців циліндричних коліс.

Гітару подач розрахувати за рівнянням (45.21) — при радіальній подачі фрези і за рівнянням (45.23) — при тангенціальній. Гітара диференціала налагоджується лише під час роботи з тангенціальною (осьовою) подачею фрези з використанням рівняння (45.19).

2. Встановити змінні колеса гітар поділу і подач, користуючись табл. 45.4 для радіальної подачі.

3. Встановити заготовку на оправці.

4. Встановити фрезу так, щоб її вісь була горизонтально (супорт на 0°) і по середині ширини заготовки.

Зміст звіту

1. Суть нарізування зубців зубчастих коліс за методом обкочування; здійснювані рухи.

2. Кінематичні ланцюги для розрахунків при нарізуванні зубців черв'ячною модульною фрезою.

3. Призначення, будова і кінематика зубцефрезерного верстата 5Д32. Формули для підбирання змінних коліс гітар.

4. Послідовність розрахунків для налагодження зубофрезерного верстата 5Д32 на нарізування косих зубців (відповідно до завдання).

5. Послідовність налагодження верстата 5Д32 на нарізування косих зубців.

6. Схеми розміщення фрези і змінних коліс гітар для налагодження верстата.

7. Послідовність розрахунків і налагодження верстата 5Д32 на нарізування зубців черв'ячних коліс.

8. Схеми розміщення фрези і змінних коліс гітар для налагодження верстата на нарізування зубців черв'ячних коліс.

Встановлення фрези і змінних коліс гітар при нарізуванні черв'ячних коліс з радіальною подачею

Таблиця 45.4

Фреза	Напрямки рухів	Гітара швидкоостей	Гітара поділу		Гітара подач	
			2	4	2	4
Правовахідна						
Лівовахідна						

Контрольні запитання. 1. Методи нарізування зубців зубчастих коліс. 2. Які рухи потрібні для нарізування зубців зубчастих коліс черв'ячною модульною фрезою? 3. Рівняння кінематичного балансу для ланцюгів частот обертання фрези, подачі, поділу, диференціала. 4. Послідовність і формули розрахунків при нарізуванні прямих і гвинтових зубців циліндричних коліс, зубців черв'ячних коліс. 5. Будова, керування і кінематика передачі руху на верстаті 5Д32. 6. Гітари змінних коліс, які налагоджуються при нарізуванні прямих і гвинтових зубців зубчастих коліс. 7. Яка послідовність налагодження верстата 5Д32 на нарізування зубців циліндричних зубчастих коліс і зубців черв'ячних коліс?

Лабораторна робота 46

Будова і налагодження зубцедовбального верстата

Мета роботи: ознайомитися з будовою і керуванням зубцедовбального верстата, освоїти практичні способи налагодження на потрібні параметри оброблення зубців.

Обладнання, матеріали та інструменти: зубцедовбальний верстат, комплект змінних зубчастих коліс, довбачі, оправки для заготовок, набір слюсарного інструменту, індикатор зі штативом, штангенциркуль, штангензубцемер, зубцемерний мікрометр, таблиці для визначення довжин спільної нормалі, кінематична схема верстата.

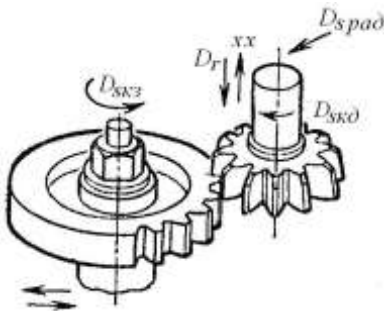


Рис. 46.1. Схема нарізування зубців зубчастих коліс довбалами.

- ♦ рух радіальної подачі довбача D_{spad} .

Щоб при холостому ході не було тертя довбача по заготовці, стіл із заготовкою незначно відводиться від довбача, а перед робочим ходом — займає вихідне положення.

Для налагодження верстата на оброблення зубців розраховують ланцюги головного руху, колової подачі і поділу (обкочування).

Ланцюг головного руху налагоджують за частотою подвійних ходів довбача, яка дорівнює

$$n_{п.х} = \frac{1000v}{2L}, \quad (46.1)$$

де: v — швидкість різання, м/хв; L — довжина ходу довбача, мм; $L = b + (5 \dots 7)$; b — ширина вінця зубчастого колеса, мм.

Теоретичні відомості

Нарізування зубчастих коліс довбачами ґрунтується на імітації зачеплення двох циліндричних коліс, одним з яких є різальний інструмент — довбач, іншим — заготовка (нарізуване колесо). Для оброблення зубців довбачами (рис. 46.1) потрібно здійснити такі основні рухи:

- ♦ зворотно-поступальний рух довбача D_r — головний рух;
- ♦ обертальний рух довбача D_{sko} — рух колової подачі;
- ♦ обертальний рух заготовки D_{skz} ;

Будова зубцедовбального напівавтомата моделі 5140 (рис. 46.2). Верстат призначений для нарізування зовнішніх і внутрішніх зубців (прямих і гвинтових) циліндричних зубчастих коліс в умовах серійного виробництва. Оброблення на верстаті здійснюється в автоматичному режимі за один, два чи три робочих цикли.

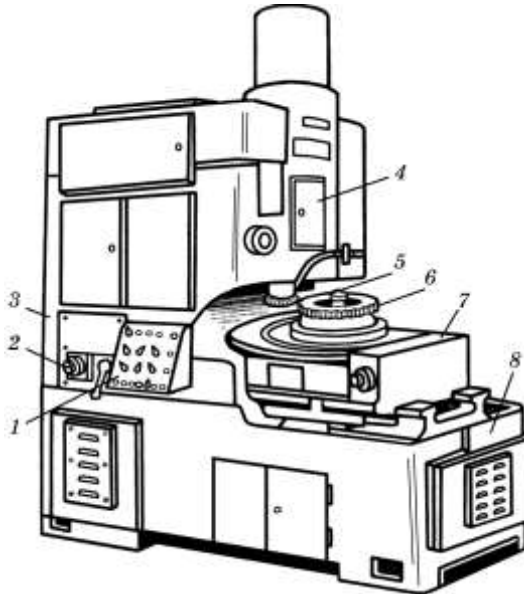


Рис. 46.2. Загальний вигляд зубцедовбального напівавтомата моделі 5140

Основними частинами верстата (див. рис. 46.2) є: станина 8, стояк 3, супорт 4, панель керування 1, дросель регулювання швидкості візання 2, довбач 5, стіл 7 для закріплення заготовки 6.

Верстат забезпечує оброблення зубчастих коліс з діаметром до 500 мм і модулем до 8 мм. Хід штоселя становить 0...150 мм.

Кінематичну схему верстата зображено на рис. 46.3.

Головний рух здійснюється від двошвидкісного електродвигуна М1 ($N = 3,7$ кВт, $n = 940/1420$ хв⁻¹) через клинопасову передачу зі шківками $D_1 = 100$ мм і $D_2 = 160$ мм, коробку швидкостей, пасову передачу зі шківками $D_3 = 180$ мм і $D_4 = 365$ мм, вал IV з кривошипно-повзунним механізмом.

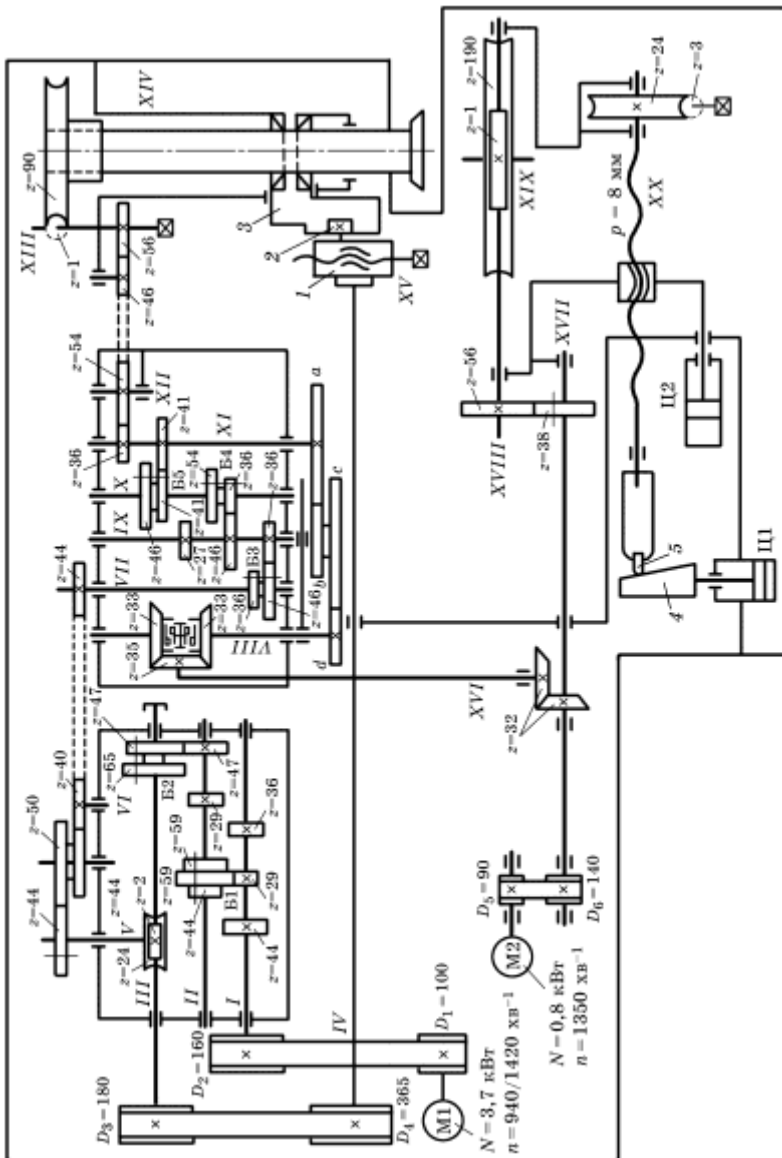


Рис. 46.3. Кінематична схема зубцодобального напівавтомата моделі 5140

Із вала IV рух передається повзуну 3 кривошипним диском 1 і каменем 2. Повзун зі штоселем здійснює зворотно-поступальний рух. Хід штоселя регулюється гвинтом XV. Штосель має *гідростатичні* напрямні.

Рівняння кінематичного балансу головного руху, подв. хід/хв, має вигляд:

$$940(1420) \left(\frac{100}{160} \right) 0,985 \frac{44}{44} \left(\frac{29}{59}, \frac{36}{52} \right) \left(\frac{29}{65}, \frac{36}{52} \right) \frac{180}{365} 0,985 = n. \quad (46.2)$$

Кількість частот руху довбача $K = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$. Для чорнового оброблення використовується такий ряд подвійних ходів за хвилину: 65, 92, 132, 145, 206, 296. В автоматичному циклі при переході з чорнового оброблення на чистове частота обертання електродвигуна М1 перемикається з 940 на 1420 хв⁻¹, що забезпечує таку кількість подвійних ходів за хвилину: 98, 139, 199, 219, 311, 447.

Колова подача (обертання довбача на колову подачу $s_{\text{кол}}$) має здійснюватися за один подвійний хід довбача, який, у свою чергу, відбувається за один оберт вала IV. Тому рівняння кінематичного балансу ланцюга колових подач має вигляд

$$1 \frac{365}{180} 0,985 \frac{2}{24} \frac{44}{50} \frac{45}{40} \frac{40}{44} \left(\frac{46}{36}, \frac{36}{46} \right) \left(\frac{46}{36}, \frac{37}{55} \right) \left(\frac{41}{41}, \frac{46}{36} \right) \times \\ \times \frac{36}{54} \frac{54}{46} \frac{46}{56} \frac{1}{90} \pi D = s_{\text{кол}}. \quad (46.3)$$

У рівняння (46.3) підставлено передатні відношення зубчастих пар коробки колових подач довбача. Виходячи з вибраної подачі, передатне відношення передач коробки подач визначають за рівнянням:

$$i_{\text{к.п}} = \frac{298s_{\text{кол}}}{D_{\text{д}}} = \frac{298s_{\text{кол}}}{mz_{\text{д}}}. \quad (46.4)$$

На верстаті можна встановити вісім значень колових подач довбача (мм/подв.хід): 0,14; 0,18; 0,22; 0,29; 0,36; 0,45; 0,59; 0,75, перемикаючи блоки Б3, Б4 і Б5 в автоматичному циклі гідравлічно.

Ланцюг поділу налагоджують підбором змінних коліс гітари поділу, виходячи з рівняння кінематичного балансу цього ланцюга:

$$\frac{1}{z_{\text{д}}} \frac{90}{1} \frac{56}{46} \frac{46}{54} \frac{54}{36} \frac{a}{b} \frac{c}{d} \frac{33}{33} \frac{32}{32} \frac{38}{56} \frac{1}{190} = \frac{1}{z}. \quad (46.5)$$

Із рівняння (46.5) змінні колеса гітари поділу визначають за формулою

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{2z_{\text{д}}}{z}. \quad (46.6)$$

При налагодженні гітари перевіряють умову зачеплення, щоб $a + b = 120$, $c = k \cdot 2z_{\text{д}}$ ($K = 1; 2$). Міжцентрова відстань для гітари має становити 160...220 мм.

Набір змінних коліс гітари поділу має таке число зубців: 24, 30, 32, 36, 38, 40, 40, 44, 45, 46, 48, 50, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 90, 91, 92, 94, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 120. Модуль змінних коліс $m = 1,5$ мм.

Радіальна подача стола із заготовкою здійснюється від гідроциліндра Ц1, який конусним копиром 4 переміщує ролик 5 із валом XX і столом. Стіл постійно притиснений гідроциліндром Ц2 до копіра 4 через упор і ролик 5. Радіальна подача (врізання) стола із заготовкою $s_{\text{рад}} = 0,025 \dots 0,1$ мм/подв.хід довбача. Радіальне врізання здійснюватиметься доти, доки упор не натисне на шляховий вимикач кінця врізання і не спрацює лічильник.

Робота верстата залежить від вибраного циклу оброблення — одно-, дво- чи трипрохідний.

При однопрохідному циклі лічильник вмикається після закінчення циклу врізання і вимикається після повного оберту деталі. Після цього лічильник дає команду на вимкнення верстата.

При дво- і трипрохідному циклах ставиться відповідно два і три упори глибини врізання на спеціальному барабані врізання.

При двопрохідному циклі після одного оберту стола із заготовкою перемикається подача, вмикається лічильник. Здійснюється наступне врізання і довбання зубців до натискання другого кулачка барабана на відповідний кінцевий вимикач і верстат вимикається.

При трипрохідному циклі зубці нарізаються за три оберти заготовки.

Швидке обертання стола здійснюється від електродвигуна М2 через пасову передачу зі шківками D_5 і D_6 , зубчасту пару $z = 38$ і 56 і ділильну черв'ячну пару $z = 1$ і 190 . Швидке обертання стола потрібне для перевірки заготовки на биття.

Відведення довбача при холостому ході здійснюється від ексцентрика на валу IV через систему важелів.

Режими оброблення при зубцедовбаннях. Рациональний режим оброблення досягається вибором оптимальної колової подачі і швидкості різання. Вони залежать від властивостей матеріалу заготовки та інструменту, параметрів нарізуваних зубців, характеристики обладнання і потрібної шорсткості поверхні зубців.

Рекомендовані колові подачі наведено в табл. 46.1, а швидкості різання — в табл. 46.2.

Рекомендовані колові подачі при зубцедовбанні за однопрохідне нарізування

Таблиця 46.1

Оброблення	Модуль <i>t, мм</i>	<i>S, мм/подв. хід,</i> при потужності верстата, <i>кВт</i>		
		до 1,5	2...3	4,5...6,3
Чорнове і напівчистове під шевінгування	1,0...2,5	0,10...0,30	0,15...0,35	—
	2,5...4,0	0,25...0,35	0,35...0,40	—
	> 4...6	0,10...0,20	0,25...0,35	0,35...0,45
Чорнове і напівчистове під шліфування	1,0...2,5	0,12...0,30	0,18...0,36	—
	2,5...4,0	0,30...0,40	0,40...0,45	—
	> 4...6	0,15...0,25	0,30...0,40	0,40...0,50
Чистове по суцільному металу	1...3	0,28...0,35		
Чистове по попередньо прорізному зубу колеса	> 3...12	0,25...0,30		

Швидкість різання при зубцедовбанні довбачами із швидкорізальної сталі

Таблиця 46.2

Оброблення	Колова подача <i>s, мм/подв. хід</i>	<i>v, м/хв, при t, мм</i>		
		1...2	> 2...4	> 4...6
Чорнове, напівчистове і чистове по суцільному металу заготовки	0,10	41,5	36,0	29,0
	0,15	34,0	28,0	23,0
	0,20	30,0	25,0	21,0
	0,25	27,0	22,0	18,5
	0,30	24,0	20,0	16,0
	0,35	22,5	18,0	15,0
	0,40	21,0	17,0	14,5
	0,45	—	16,0	13,5
	0,50	—	15,5	13,5
Чистове по попередньо обробленому зубу колеса	0,15	44		
	0,20	40		
	0,25	35		
	0,35	31		

У разі чорнового оброблення і двопрхідного робочого циклу табличні значення збільшують у 1,2 раза. Значення радіальних подач (при врізанні) вибирають за залежностями

$$s_p = (0,1\dots 0,3)s_{\text{кол}}. \quad (46.7)$$

Більші значення подач доцільно використовувати при обробленні зубчастих коліс з числом зубців понад 25, менші — з числом зубців до 25.

Послідовність виконання роботи:

1. Отримати завдання і ознайомитися з кресленням деталі.

Вихідні дані: модуль m , число зубців заготовки z , число зубців довбача z_d , матеріал заготовки і довбача, ступінь точності зубців нарізаного колеса.

2. Вивчити будову і налагодження верстата.

3. Вибрати рекомендоване значення колової подачі довбача з табл. 46.1. визначити передатне відношення зубчастих коліс у коробці подач за формулою (46.4). За паспортом верстата взяти подачу, що не перевищує розрахункову.

4. Підібрати змінні колеса гітари поділу, користуючись залежністю (46.6) і враховуючи умови зачеплення змінних коліс.

5. Визначити оптимальну частоту руху довбача за формулою (46.1).

6. Вибрати за паспортом верстата найближчу до розрахункової частоти подвійних ходів довбача за умови $n_k \leq n \leq n_{k+1}$. Значення більшої частоти можна брати за умовою $n_{k+1} \leq 1,1n$.

8. Визначити фактичну швидкість різання за обраною частотою подвійних ходів довбача $n_{п.х}$.

$$v_{\text{ф}} = \frac{n_{п.х} L}{500}. \quad (46.8)$$

9. Визначити радіальну подачу за формулою (46.7).

10. Установити рукоятку коробки швидкостей на відповідну частоту подвійних ходів довбача.

11. Установити рукоятки коробки подач відповідно до значення колової подачі.

12. Установити підібрані колеса в гітару поділу.

13. Виставити дроселем радіальну подачу заготовки.

14. Закріпити довбач на шпинделі верстата різальними кромками вниз.

15. Відрегулювати хід довбача (штоселя) гвинтом XV.

16. Закріпити заготовку на оправці і встановити її в конічне гніздо шпинделя стола.

17. Перевірити індикатором радіальне биття і паралельність руху довбача відносно осі оправки. Биття оправки не повинно перевищувати 0,01 мм на відстані 200 мм від поверхні стола і 0,008 мм у його поверхні.

18. Перевірити радіальне биття заготовки, яке не повинно перевищувати 0,01...0,05 мм.

19. Увімкнути верстат і обробити деталь.

20. Здійснити контроль нарізаного зубчастого колеса.

Зміст звіту

1. Схема нарізування зубців коліс довбачами. Потрібні рухи і рівняння їх кінематичних балансів.

2. Будова зубцедовбального напівавтомата.

3. Рівняння кінематичних балансів ланцюгів і формули для їх налагодження на певному верстаті.

4. Розрахунки для налагодження верстата.

5. Послідовність налагодження верстата на роботу.

6. Контроль параметрів нарізаного зубчастого колеса.

Контрольні запитання. 1. Види рухів при нарізуванні зубців довбачем. 2. Рівняння кінематичних балансів ланцюга колової подачі, ланцюга поділу. 3. Яку будову має зубодовбальний напівавтомат 5140? 4. Передача рухів у ланцюгах поділу, головного руху і радіальної подачі стола із заготовкою. 5. За якою формулою визначають швидкість різання під час довбання?

Лабораторна робота 47

Будова і налагодження шліфувальних верстатів

Мета роботи: вивчити основні частини і органи керування кругло- і плоскошліфувального верстатів. Навчитися налагоджувати верстати і обробляти заготовки. Вивчити і засвоїти прийоми статичного балансування і правлення шліфувальних кругів.

Обладнання, матеріали та інструменти: круглошліфувальний і плоскошліфувальний верстат, шліфувальні круги, алмазний інструмент для правлен-

ня кругів, пристрій для статичного балансування шліфувальних кругів, поводкові хомутики, центри, мікрометр, штангенциркуль 0-125, 0-150, калібр скоба, масштабна лінійка.

Теоретичні відомості

Види шліфування

Шліфування процес оброблення матеріалів абразивними інструментами, різальними елементами яких є зерна абразивних матеріалів (від латинського „abrasio” – „зискрібання”). Шліфування застосовується як кінцеве (фінішне) оброблення різних за профілем поверхонь заготовок із усіх металів і сплавів, обдирних робіт (зачищення відливок та ін.), загострювання різальних інструментів. Шліфування забезпечує точність розмірів 11...5 квалітетів і шорсткість поверхні від $R_z 40$ до $R_a 0,16$ мкм.

Залежно від форми оброблюваних поверхонь застосовують такі види шліфування: кругле (рис. 47.1) – для оброблення поверхонь, що мають форму тіл обертання (циліндричні, конічні); плоске (рис. 47.2) – для оброблення плоских поверхонь; фасонне – для шліфування фасонних поверхонь, в тому числі зубо-, різешліфування та ін.

Кругле зовнішнє шліфування циліндричних поверхонь може виконуватися за чотирма основними схемами (рис. 47.1, *a-z*):

а) з поздовжньою подачею D_{sn3} заготовки (рис.47.1, *a*) – для оброблення відносно довгих поверхонь. Заготовка рівномірно обертається (D_{skol}) і здійснює зворотно-поступальний рух (D_{sn3}). Шліфувальний круг обертається, (головний рух D_r) і в кінці кожного ходу заготовки, переміщається на величину поперечної подачі S_n .

б) врізне шліфування з поперечною подачею шліфувального круга D_{sp} (рис.47.1, *b*) – для оброблення поверхонь, довжина яких менша ширини шліфувального круга. Цей спосіб застосовують для шліфування фасонних поверхонь і кільцевих канавок.

в) глибинне (рис. 47.1, *в*) – шар матеріалу знімається на всю глибину за один робочий хід. Шліфувальний круг має кінчну частину довжиною 8...12 мм.

г) шліфування уступами (рис. 47.1, *г*), виконується поєднанням способів поперечної і поздовжньої подач. Шліфування здійснюють у два етапи. На першому етапі шліфують врізанням з подачею S_n (мм/об.заг.), пересовуючи періодично стіл на 0,8...0,9 ширини круга, для оброблення поверхні по всій довжині. На другому етапі виконують декілька ходів з поздовжньою подачею S_{n3} заготовки

для видалення слідів оброблення між уступами. На цьому етапі круга не дається поперечна подача.

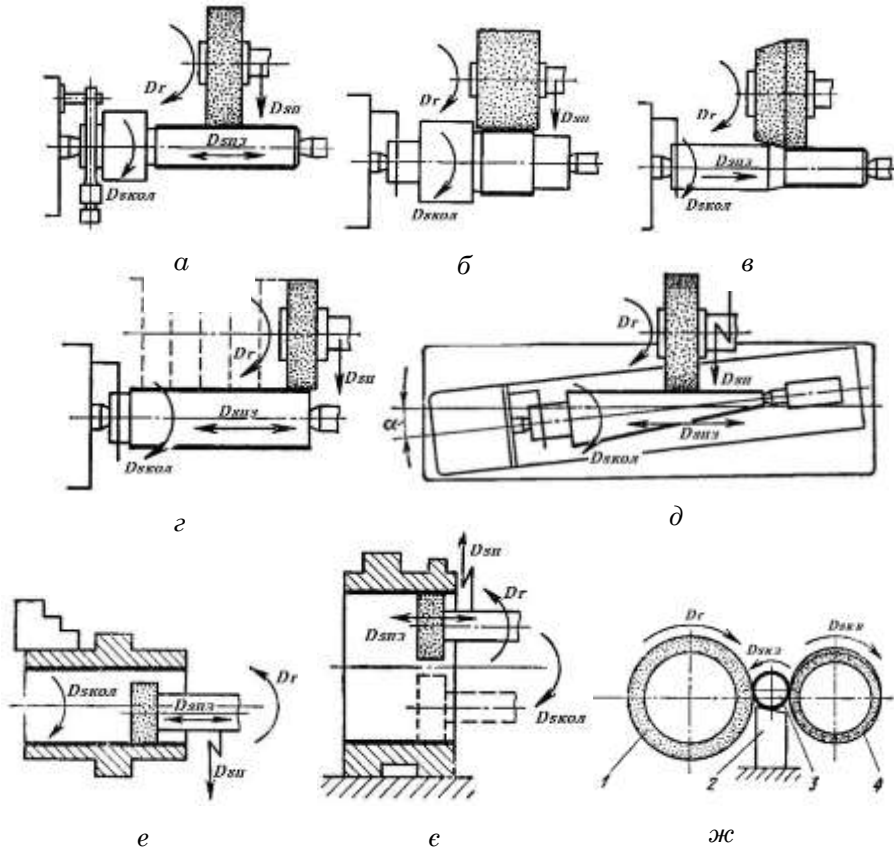


Рис. 47.1. Схеми оброблення заготовок на круглошліфувальних верстатах

Шліфування кінцевих поверхонь (рис. 47.1, д), на круглошліфувальних верстатах виконують такими способами: поворотом стола (рис. 47.1, д), поворотом шліфувальної бабки; поперечною подачею заправленого на конус шліфувального круга.

Шліфування отворів у деталях, які мають форму тіл обертання і не великі за масою (зубчасті колеса, втулки та ін.) виконують на внутрішньошліфуваль-

них верстатах (рис. 47.1, е). Шліфувальний круг здійснює обертальний рух D_r (головний), поздовжню і радіальну подачі. Заготовка закріплюється в патроні чи іншому пристрої і обертається з коловою подачею $D_{скз}$. У заготовках несиметричної форми або великих за розмірами і масою застосовують планетарне шліфування (рис.47.1, є). Заготовка в процесі оброблення нерухома, а всі рухи виконує абразивний інструмент.

Безцентрове шліфування (рис. 47.1, ж) виконується на безцентрових круглошліфувальних верстатах у випадку оброблення зовнішніх і внутрішніх (рідше) поверхонь. Головний рух D_r здійснює шліфувальний круг 1. Рух колової подачі заготовки $D_{скз}$ забезпечується обертанням ведучого круга 4 із значно меншою швидкістю ніж шліфувального. Подача заготовки вздовж її осі досягається встановленням ведучого круга 4 під кутом $0-8^\circ$ до осі шліфувального круга. Заготовка 3 операється на ніж 2. Безцентрове шліфування виконують способом поздовжньої подачі (шліфування на прохід) і способом поперечної подачі – врізанням (заготовки зі ступінчастими або фасонними поверхнями).

Плоске шліфування (рис. 47.2). Плоскі поверхні обробляють периферією (рис. 47.2, а) і торцем круга (рис. 47.2, б, в). Заготовки закріплюють на прямокутних або круглих столах. У випадку оброблення периферією круга на прямокутному столі (рис. 47.2, а), стіл із заготовкою здійснює зворотно-поступальний рух поздовжньої подачі $D_{спз}$ і рух поперечної подачі D_{sc} (після шліфування по всій ширині). Шліфувальний круг обертається і здійснює поперечну подачу $D_{скз}$ при зміні напрямку поперечної подачі стола.

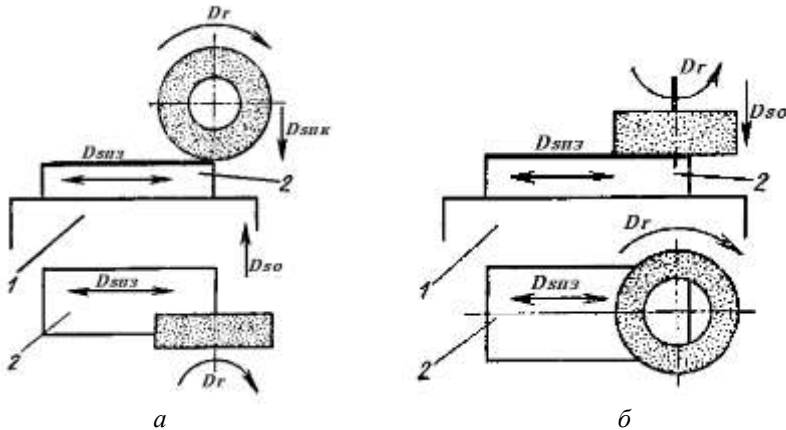


Рис. 47.2. Схеми плоского шліфування. 1 – стіл; 2 – заготовка

У випадку шліфування торцем круга на прямокутному столі (рис. 47.2, б), стіл здійснює лише зворотно-поступальний рух (поздовжня подача) $D_{змз}$, а круг – обертальний рух D_r , подачі D_{sk} і рух осьової (вертикальної) подачі D_{so} в кінці кожного ходу стола. Круглі столи (рис. 47.2, в, г) здійснюють обертальний рух колової подачі. Всі інші рухи здійснюються шліфувальним кругом аналогічно з рухами при шліфуванні на прямокутних столах.

Балансування шліфувальних кругів. Незбалансованість круга спричиняє інтенсивне зношування верстата, погіршення шорсткості поверхні, зниження точності оброблення, збільшення витрати абразивного інструменту, може призвести до розривання круга. Застосовують статичне і динамічне балансування.

Крім статичного балансування кругів на абразивних заводах їх додатково балансують у фланцях перед установленням на верстат. Для балансування застосовують балансувальні пристрої.

Балансувальний пристрій (рис. 47.3, а) складається із станини 1 і термічно оброблених ножів 2 (або валиків). Для балансування круг установлюють у фланцях 3 і на оправці 4. З обох боків круга ставлять прокладки із еластичного матеріалу. Балансують круг сухариками 5.

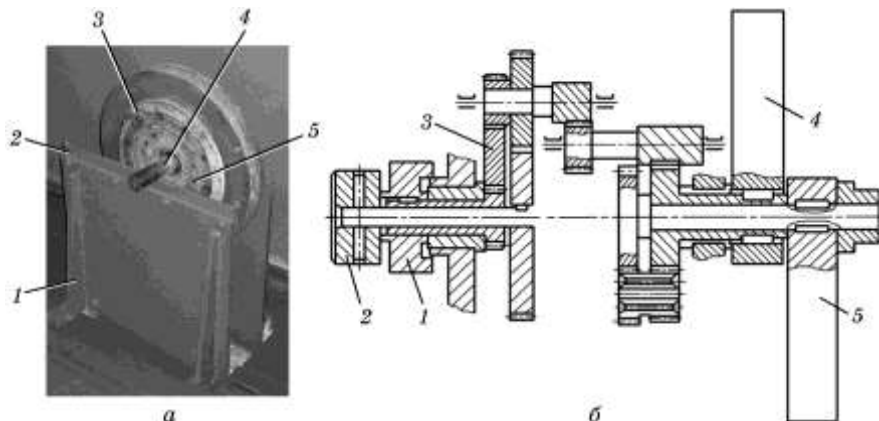


Рис. 47.3. Зовнішній вигляд пристрою для статичного балансування (а) і схема пристрою для автоматичного балансування шліфувального круга на верстаті (б).

Для балансування круг установлюють на балансувальний пристрій так, щоб вісь оправки була перпендикулярною до осі балансувальних ножів. Легким поштовхом прокочують круг по ножах до повної зупинки. Після зупинки круга в найвищій точці його периферії крейдою проводять радіальну риску. Круг пове-

ртають приблизно на кут 90° від крейдяної риски то в один бік, то в інший так, щоб він міг котитися по ножах.

Якщо після кожного повороту круг зупиняється так, що крейдяна риска буде в одному й тому самому положенні, то важку частину круга визначено правильно. Балансувальний сухарик, який розміщується найближче до крейдяної риски, рухаючи по кільцевому пазу, встановлюють симетрично відносно неї. Два інші сухарики встановити приблизно на однаковій відстані від верхнього.

Круг знову повертають на ножах на кут 90° то в правий бік, то в лівий. Якщо круг повертається у вихідне положення, то його зрівноважують, пересуваючи нижні сухарики відносно верхнього, який стоїть під крейдяною рискою. Круг буде збалансований, якщо після повороту ліворуч або праворуч на 90° відносно крейдяної риски він залишається нерухомим у цьому положенні. Для контролю правильності балансування потрібно 2...3 рази повторити поворот круга відносно крейдяної риски на кут $70... 90^\circ$.

У процесі роботи збалансованість круга може змінюватися. Повторне балансування особливо потрібне для виконання точних робіт, отримання малої шорсткості поверхні і при швидкісному шліфуванні.

Для повторного балансування кругів застосовують балансувальні механізми для автоматичного зрівноваження круга на шліфувальному верстаті. Балансувальний механізм (рис. 47.3, б) — невеликий редуктор, корпус якого закріплюють на фланці шліфувального круга. У середині редуктора є два вантажі 4 і 5, які можуть зміщуватися один відносно одного. На зовнішньому боці корпусу редуктора є два маховички 1 і 2, якими через зубчасті передачі обертають вантажі. Обидва вантажі повертають одночасно в один і той самий бік, але вантаж 5 незначно відстає від вантажу 4. Таким чином, повертаючись, вантажі змінюють взаємне положення і забезпечують можливість знаходження дисбалансу. Якщо маховичком 2 зробити 128 обертів, то вантажі здійснять один оберт. Коли маховичок 1 зробить 64 оберти, вантажі здійснять один повний оберт, але в протилежний бік, оскільки рух передається через паразитне колесо 3.

При балансуванні на верстаті редуктор обертається разом із шліфувальним кругом з частотою 800 хв^{-1} і більше. Щоб привести редуктор у дію, достатньо зупинити обертання, загальмувавши один із маховичків.

Для балансування круга маховичок 2 потрібно утримувати від обертання до-ти, доки круг не буде збалансований. Якщо при гальмуванні маховичка 2 буде пройдено найсприятливіше положення і дисбаланс збільшиться, то відпускають маховичок 2 і гальмують маховичок 1. Отже, пригальмовуючи маховички по-чергово, знаходять найсприятливіше положення вантажів для повного усунення дисбалансу.

Круглошліфувальний верстат 3С120В

Універсальний верстат 3С120В високої точності (рис. 47.4) призначений для шліфування зовнішніх і внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь з поворотом стола і розворотом шліфувальної бабки. На верстаті оброблюють заготовки діаметром до 125 мм і довжиною до 400 мм – при зовнішньому шліфуванні, та діаметром до 50 мм і довжиною до 75 мм при внутрішньому шліфуванні. Розміри шліфувального круга $D \times T = 350 \times 40$ мм. Найбільші кути повороту: верхнього стола за годинниковою стрілкою – 4° ; проти годинникової – 11° ; передньої бабки – до шліфувальної бабки – 20° ; від шліфувальної бабки – 30° ; шліфувальної бабки – $0-90-180^\circ$; поворотної плити $\pm 45^\circ$. Частота обертання шпинделя передньої бабки $80-500 \text{ хв}^{-1}$. Швидкість переміщення стола від гідропривода – $50 \dots 4000 \text{ мм/хв}$. Величина поперечних періодичних подач – $0,0025 - 0,025 \text{ мм/хід}$.

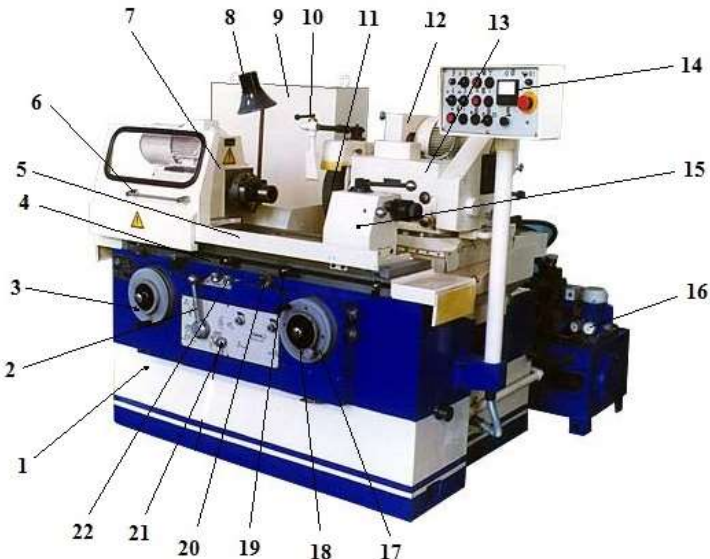


Рис. 47.4. Круглошліфувальний верстат 3С120В.

На верстаті здійснюються такі рухи:

- обертання шліфувального круга зовнішнього шліфування (шпинделя шліфувальної бабки) – головний рух;
- обертання заготовки – рух колової подачі;

- поперечна (періодична) подача шліфувальної бабки (ручна і автоматична);
- поздовжня подача (переміщення) стола із заготовкою;
- швидке підведення і відведення шліфувальної бабки;
- підведення (гідравлічне) пінолю задньої бабки;
- обертання шліфувального круга (шпинделя) внутрішнього шліфування – головний рух.

Верстат складається із станини 1, на напрямних якої встановлений нижній стіл 4 з поворотним столом 5. На Т-подібних позах нижнього стола закріплюються два упори 19 для встановлення довжини ходу стола 5. На поворотному столі закріплені передня бабка 7 і задня бабка 15.

Передня бабка має окремий електродвигун і забезпечує обертання заготовки від планшайби з поводком. Її можна повертати на певний кут для шліфування конічних поверхонь. Заготовка закріплюється в центрах або патроні.

Шліфувальна бабка 13 зовнішнього шліфування з шліфувальним кругом 11 монтується полозками на напрямних поворотної плити. Плита закріплюється на станині. Шпindel шліфувальної бабки встановлюється в двох гідродинамічних підшипниках ковзання, які змащуються від окремого гідронасоса. Полозки мають фторопластові напрямні, які змащуються під тиском.

На задньому торці шліфувальної бабки 13 встановлений механізм внутрішнього шліфування 12, який комплектується двома шліфувальними головками з кругами діаметрами 80 або 50 мм. Для внутрішнього шліфування шліфувальна бабка розвертається відносно полозків на 180°.

На верстаті є гідростанція 16, яка забезпечує автоматичне переміщення стола, швидке підведення, відведення і автоматичну періодичну подачу шліфувальної бабки при шліфуванні і правці круга, відведення пінолі задньої бабки, подачу оливи до підшипників шпинделя шліфувальної бабки, змащування напрямних стола і полозків шліфувальної бабки.

Для подачі і очищення холодильної рідини на верстаті є окремо розміщена установка з магнітним сепаратором. Інтенсивність подачі рідини регулюється краном 10.

До верстата додається відкритий і закритий, люнети для шліфування довгих заготовок. Відкритий люнет використовують для заготовок діаметром від 5 до 40 мм, а закритий – важких заготовок діаметром від 5 до 60 мм.

Правку шліфувального круга по периферії і торцю круга виконують жорстким, або відкидним (лише по периферії) – пристроями для правки круга. Вони входять до комплекту верстата і встановлюється на столі. Відкидний прилад не потрібно знімати з верстата, а лише повернути головку в горизонтальне положення. Інструментом для правлення є алмазні олівці. Зйомну оправку – алмазо-

тримач відкидного приладу можна встановлювати на корпусі задньої бабки. Верстат може бути укомплектований (по необхідності) приладом радіусної правки круга при шліфуванні зовнішніх і внутрішніх поверхонь радіусом до 20 мм. Виконання зовнішнього чи внутрішнього шліфування встановлюють рукояткою 21. Ручне повздовжнє переміщення стола здійснюють маховиком 3, а швидкість повздовжньої подачі стола рукояткою 22. Ручну поперечну подачу шліфувальної бабки виконують маховиком 17, а швидке підведення і відведення її встановлюють рукояткою 2.

Для безпечної роботи шліфувальника є пересувне огороження 6, а робоча зона освітлюється ліхтарем 8. Керування верстатом здійснюється з панелі 14.

Гідросистема верстами 3С120В

Гідросистема верстата забезпечує:

- автоматичне реверсування переміщення стола з робочою швидкістю шліфування і на швидкості правки круга;
- регулювання швидкості перегону стола;
- швидке підведення і відведення шліфувальної бабки;
- автоматичну періодичну подачу шліфувальної бабки в момент реверсу стола;
- відведення пінолю задньої бабки;
- розвантаження кругових напрямних шліфувальної бабки.

Принципова гідравлічна схема верстата 3С120В наведена на рис. 47.5.

Насосна установка і більшість апаратури керування винесені в окремо розміщену гідростанцію. Основна насосна установка складається із насоса НП2 для привода шліфувальної бабки і насоса НП1 для привода всіх решти механізмів. При вмиканні реверсивного переміщення стола насос НП2 спрацьовує разом із насосом НП1.

Переміщення стола. Пуск стола від гідросистеми виконується при підведеній шліфувальній бабці (рукоятка РК взята на себе) і вмикнених електромагнітах YA2 і YA4 поворотом рукоятки РК в право. При цьому олива від насосної установки підводиться до циліндра ЦМБ, який вимикає механізм ручного переміщення стола. Після цього через демпфер олива поступає під торець стопового золотника ЗС та переміщує його вліво за схемою. Зміною положення золотника ЗР олива поступає через золотники ЗС і ЗР то в ліву то в праву порожнини циліндра переміщення стола ЦС. З протилежної порожнини олива витискується на злив. Швидкість руху стола встановлюється дроселем ДРШ.

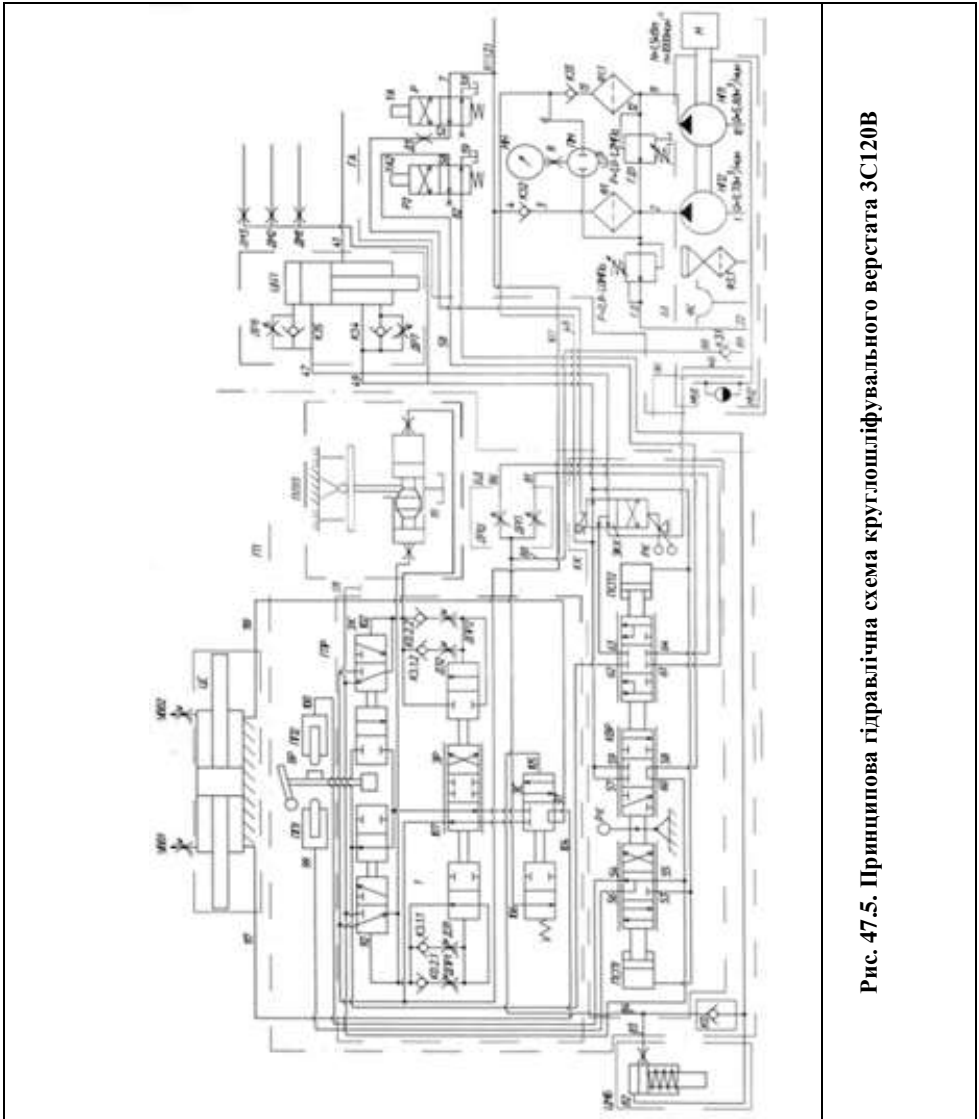


Рис. 47.5. Принципова гідравлічна схема круглошліфувального верстата 3С120В

крайніх положеннях стола упори 19 (див. рис.47.4) на нижньому столі натискують на важіль золотника ЗК (рис.47.5), який направляє оливу до правого чи лівого торців реверсивного золотника ЗР, через який вона попадає то в ліву то в праву порожнину гідроциліндра ЦС, а з іншої – зливається. У середньому положенні золотника ЗК стіл тормозиться завдяки дроселюванню зливання оливи конусним пояском золотника ЗК. При переході золотника ЗК через середнє положення, він під тиском оливи на плунжер швидко переміщується в крайнє положення, відкриваючи злив під час наступного ходу стола. Одночасно олива подається в золотник реверсу ЗР, який забезпечує реверс стола. Регулювання затримки стола при реверсах здійснюється дроселями ДЗ1 і ДЗ2, а плавність його розгону після реверсу – дроселями ДПР1 і ДПР2.

Перегін стола. Для керування перегонем стола рукоятку РК (поз. 2 на рис. 47.4) нахилиють вправо або вліво, залежно від необхідного напрямку руху стола. При цьому олива поступає через лівий переріз крана КК до плунжерів ПП1 або ПП2, які переміщуючись повернуть важіль реверса ВР у відповідну сторону.

Швидкість руху стола при перегоні забезпечується нахилом рукоятки РК, якою регулюється величина прохідної щілини крана КР. Плунжери ПСП1 і ПСП2 знаходяться під тиском, і після зняття зусилля шліфувальника з рукоятки РК вона повертається у вихідне положення.

Переміщення стола при правці круга. Рукоятку РК нахилиють вліво, а дроселем ДРП регулюють швидкість переміщення стола при правці круга. Для вимикання переміщення стола від гідросистеми рукоятку РУ повертають у вертикальне положення. При цьому порожнини гідроциліндра ЦС через стоповий золотник ЗС з'єднуються між собою, а муфта механізму блокування ручного переміщення стола вимикається пружиною і стає можливим переміщення стола вручну маховиком 3 (див. рис. 47.4). Автоматичне вимикання зворотно - поступального переміщення стола здійснюють електромагнітом УАЗ. При цьому олива поступає під плунжер ЗКУ, золотник рухається вниз і олива по трубопроводу 48 поступає під торці плунжерів ПСП1 і ПСП2, які через рейку повертають кран КК. Рукоятка РК (поз. 2 на рис. 47.4) автоматично стає в середнє положення і відхиляється «від себе». Шліфувальна бабка відходить у крайнє положення, а стіл зупиняється.

Швидке підведення і відведення шліфувальної бабки. Швидке підведення шліфувальної бабки до заготовки здійснюється нахилом рукоятки РК (поз. 2 на рис. 47.4) на себе. При цьому олива через зворотній клапан КЗ2 і редуційний клапан КР поступає до золотника ЗКК, а через нього до верхньої порожнини циліндра ЦБП. З нижньої порожнини цього циліндра олива зливається. У кінці

швидкого підведення олива зливається через дросель ДР7, а бабка гальмується при підході у крайнє положення. Швидкість гальмування регулюється дроселем ДР7. Для швидкого відведення шліфувальної бабки від виробу рукоятку РК (поз. 2 на рис. 47.4) подають від себе. У кінці швидкого відведення шліфувальна бабка гальмується. Швидкість гальмування регулюється дроселем РР8. Автоматичне відведення шліфувальної бабки здійснюють вимиканням електромагніта УА3. При цьому олива через демпфер ДЗ поступає до золотника ЗКК, переміщує його вниз, а рукоятка РК нахиляється на себе.

Періодична подача шліфувальної бабки при повздовжньому шліфуванні. У момент реверсу стола олива під тиском подається до торців розподільника ППП і переміщує його у протилежне положення. При його переміщенні натискається один із мікроперемикачів, який вмикає електромагніт УА4. Залежно від положення перемикача на пульті, електромагніт УА4 може вмикатись під час реверсу зліва або справа, або за кожного реверсу. Відповідно буде здійснюватись і періодична подача шліфувальної бабки. При вмиканні УА4 олива подається через гідро розподільник до лівого торця плунжера МПП по каналах 43 - 44, а злив по каналах 45 – 80. При переміщенні плунжера МПП зліва направо собачка повертає храпове колесо яке через шестерні обертає гвинт шліфувальної бабки, яка здійснює поперечну подачу. При вимиканні УА4 олива подається у праву порожнину плунжера МПП і механізм поперечних подач перезаряджається.

Відведення пінолю задньої бабки. Керування пінолю задньої бабки здійснюється натисканням на педаль розміщену внизу на передній стінці станини, яка вмикає або вимикає електромагніт УА1. Відвести піноль задньої бабки можливо лише за відведеної шліфувальної бабки.

Плоскошліфувальний верстат 3Г71

Плоскошліфувальний верстат високої точності призначений для шліфування плоских поверхонь периферією круга. В певних межах можливе оброблення поверхонь розміщених під кутом 90° до площини стола.

Технічна характеристика верстата.

Найбільші розміри заготовки, яка шліфується: довжина – 630мм; висота – 320мм; ширина – 200 мм. Розміри шліфувального круга $D \times T \times d$ - 250×25×76. Частота обертання шліфувального круга – 2740хв⁻¹. Колова швидкість шліфувального круга – 35 м/с. Найбільше вертикальне переміщення шліфувальної бабки – 365 мм. Ціна однієї поділки лімба маховика вертикальної подачі – 0.001 мм.

Величина автоматичної вертикальної подачі (ступінчастої через 0.005 мм) – 0.005...0.05 мм. Поперечна автоматична подача при найменшому ході стола і швидкості стола 10 м/хв. – не менша 2 мм.

Верстат 3Г71 (рис. 47.6): складається із станини 26 на якій кріпиться колона 17. По напрямних колони може переміщуватися (вертикально) шліфувальна бабка 15. Стіл 21 переміщується вздовж по хрестовому столі 22, якому надається поперечна подача по напрямних станини 21. Холодильна рідина подається і очищається холодильною станцією 24.

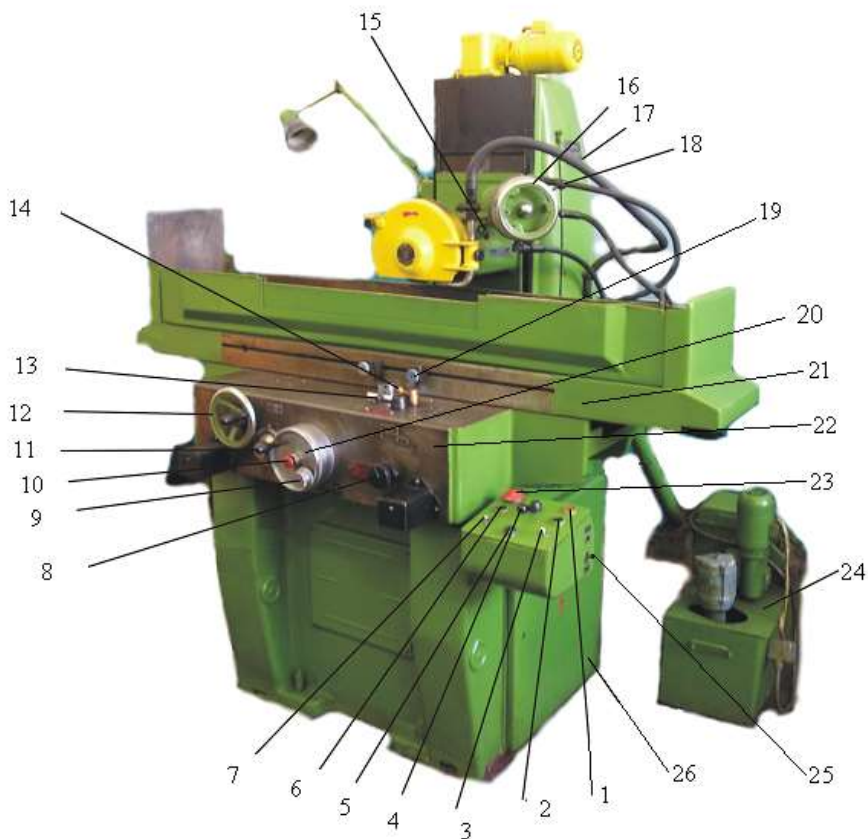


Рис. 47.6. Зовнішній вигляд плоскошліфувального верстата 3Г71

Органи керування

1 – кнопка “Стоп гідроприводу”; 2 – кнопка “Пуск гідроприводу”; 3 – перемикач подачі холодильної рідини; 4 – перемикач пришвидшеного переміщення шліфувальної бабки; 5 – перемикач роботи “з магнітною плитою”; 6 – кнопка “Пуск шпинделя”; 7 – перемикач магнітної плити; 8 – кнопка вимикання і реверсування поперечної подачі; 9 – маховик ручної мікрометричної поперечної подачі стола; 10 – кнопка вмикання маховика ручної поперечної подачі стола; 11 – лімб встановлення величини автоматичної поперечної подачі стола; 12 – маховик повздовжнього переміщення стола; 13 – рукоятка регулювання швидкості повздовжнього переміщення стола; 14 – рукоятка вмикання повздовжнього переміщення стола; 16 – маховик ручної вертикальної подачі шліфувальної бабки; 18 – рукоятка встановлення величини автоматичної вертикальної подачі шліфувальної бабки; 19 – упор встановлення переміщення стола; 20 – маховик ручної поперечної подачі стола; 23 – кнопка “Все стоп”; 25 – вмикач верстата.

Робота гідроприводу верстата

Гідропривід верстата вмикається в роботу кнопкою 2 “Пуск гідроприводу” (рис. 47.7) встановленням крана ВШЛГ – 35 в положення „Пуск”.

Гідрокінематична схема верстата дана на (рис. 47.7).

Повздовжнє переміщення стола. Для цього повздовжнього переміщення стола рукоятку 14 повертають в положення „Пуск” стола (рис. 47.6). При цьому лопатевий насос Г12-23А (рис. 47.7) подає оливу через золотник Г54-13, фільтр тонкої очистки 0.2 Г – 41 – 23, по трубопроводу 1 в центральну порожнину реверсивного золотника „Л” панелі ВШПГ – 35. При положенні золотника „Л”, як показано на схемі, основний потік оливи поступає в його ліву проточку і по трубопроводу 4 у праву порожнину гідроциліндра переміщення стола. Стіл рухається в напрямку стрілки. Олива з лівої порожнини гідроциліндра стола зливається по трубопроводу 3, дросель „С”, підпірний клапан П у резервуар. Швидкість переміщення стола регулюється поворотом рукоятки 13 (рис. 47.6) дроселя С (рис. 47.7). Стіл переміщується вліво до тих пір поки упор „а” не поверне важіль реверса „б”, який через шестерні переміщує золотник керування В у ліве положення. При цьому реверсійний золотник Л переміщується вліво і олива через канал 3 поступає в ліву порожнину гідроциліндра переміщення стола і стіл рухається вправо. Під час реверсу (зміни напрямку руху) стола відбувається поперечна подача хрестового стола.

Поперечна подача стола. Для автоматичної поперечної подачі стола рукоятку реверса, заблоковану з краном Т, необхідно повернути за годинниковою стрілкою до упору. Після того як золотник керування В займе ліве положення,

потік оливи із правої кільцевої виточки по трубопроводу 5 поступає до золотника Е розподільчої панелі. При цьому золотник Е переміщується у верхнє положення, а золотник Ж у нижнє положення, потік оливи із його центральної проточки по трубопроводу 7 поступає в ліву порожнину сервомотора і поверне лопатку за годинниковою стрілкою. Одночасно потік оливи із центральної порожнини золотника Ж через кран Т потупає в середню канавку золотника Н. Золотник Н зорієнтований у верхньому положенні. Із золотника Н олива по каналу 11 поступає у верхню камеру золотника М. Золотник М переміщується вниз, заводить у зачеплення рухому шестерню храпового механізму, яка, обертаючись повертає гвинт поперечної подачі і здійснює поперечна подачу стола. При цьому олива з нижньої камери золотника М через трубопровід 10 зливається. Коли золотник Е розподільчої панелі займе верхнє положення, верхня торцева камера золотника Ж через центральну канавку золотника Е і магістраль 6 з'єднується зі зливом. По трубопроводу 8 потік оливи під тиском 0.2...0.3 МПа перекине золотник Ж у верхнє положення, поступить у сервомотор і поверне лопатку проти годинникової стрілки у вихідне положення. Олива з під лопатки по трубопроводах 7 і 2 стікає на злив.

Вертикальна подача шліфувальної бабки. Паралельно, по трубопроводу 11, потік оливи поступає до золотника Д, який почне повільно переміщуватися вліво. Через центральну канавку золотника Д, олива поступає до крана К і трубопроводу 9 у сервомотор механізму вертикальної подачі СМВ. Лопатка повертається проти годинникової стрілки і через храповий механізм здійснить вертикальну подачу. З під іншої сторони лопатки олива по трубопроводу 13, ліву канавку золотника Д, трубопроводу 10 і 2 стікає на злив. Коли золотник Д займе ліве положення, то потік оливи через кран К і трубопровід 13 поступить у порожнину сервомотора і поверне його лопатку у вихідне положення. Олива з під лопатки по трубопроводу 9, центральну канавку золотника Д, трубопроводу 10 і 2 зливається. Таким чином здійснюється вертикальна подача і встановлення механізму вертикальної подачі у вихідне положення. При наступному реверсі стола, коли золотник В і Л займуть положення, показане на (рис. 47.7), потік оливи по магістралі 6 поступає до золотника Е розподільчої панелі. Описаний вище цикл повторюється. Таким чином при кожному реверсі стола працює механізм поперечної подачі, а механізм вертикальної подачі працює під час реверсу стола хрестового супорта.

Реверс механізму поперечної подачі здійснюється упорами хрестового супорта через важіль Р, який зв'язаний із золотником О. Реверс може здійснюватись вручну переміщенням кнопки 8 (рис. 47.6) до себе, або від себе. При реверсі магістраль 10 з'єднується з каналом 1 подачі оливи, а 11 з каналом 2 зливу і на-

впаки. Вимикання поперечного реверсу здійснюється краном Т, а вимикання механізму вертикальної подачі краном К.

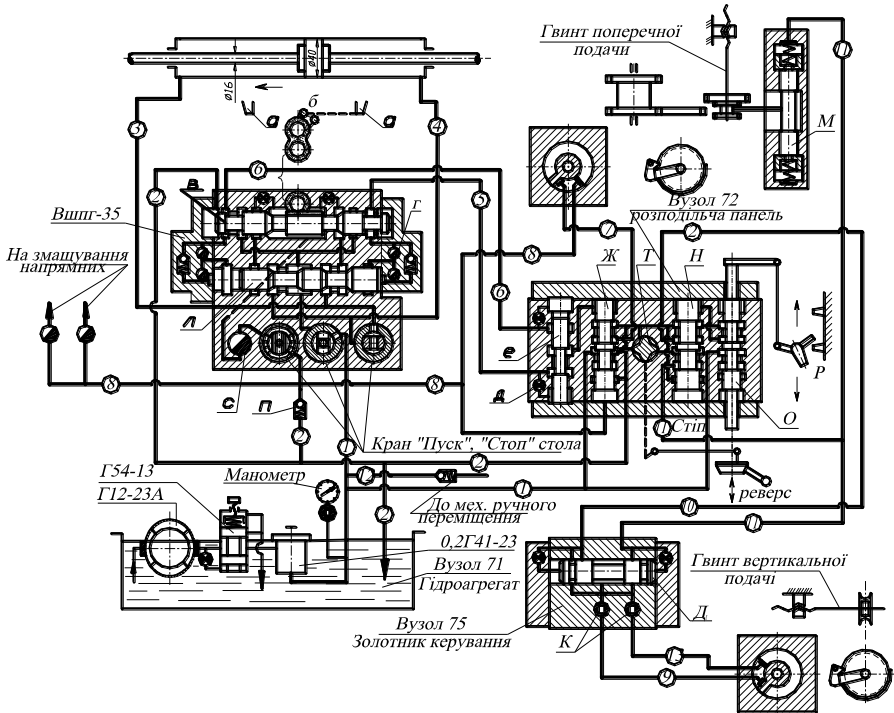


Рис. 47.7. Гідро-кінематична схема плоскошліфувального верстата 3Г71

Вибір абразивних кругів і призначення режиму шліфування

Характеристики абразивних кругів і режим шліфування залежать від виду і властивостей оброблюваного матеріалу, вимог до точності та шорсткості обробленої поверхні, виду і характеру операцій шліфування.

Залежно від конкретних факторів встановлюють такі характеристики шліфувального круга, які рекомендовані в табл. 47.1 і 47.2:

а) форма і розміри абразивного інструменту – вибираються зовнішній діаметр і ширина круга максимально допустимі для даного верстата, обов'язково стандартних розмірів;

Характеристики шліфувальних кругів для круглого шліфування

Таблиця 47.1

Оброблюваний матеріал	Кругле шліфування					Внутрішнє шліфування		
	Марка абразиву	Зернистість	Твердість	Зв'язка	Зв'язка	Марка абразиву	Зернистість	Зв'язка
Конструкційна сталь	12А-16А	32-63	С2-СМ2	К	К	12А-16А	32-50	К
Загартована сталь	12А-16А 22А-25А	32-80	СМ1-М3	КБ	КБ	12А-16А 22А-25А	40-63	К;Б
Інструментальна сталь	12А-16А	32-63	СМ2-СМ1	КБ	КБ	12А-16А	40-63	К;Б
Чавун	52С-55С	32-63	СМ1-М2	К	К	52С-55С	32-50	К
Алюмінієві сплави	52С-55С	32-50	СМ1-М3	К	К	52С-55С	32-50	К
Латунь	52С-55С	32-50	СМ1-С1	К	К	52С-55С	40-63	К
Тверда бронза	12А-15А	32-63	СМ1-М3	К	К	12А-15А	40-63	К
Тверді сплави	62С-64С	40-100	СМ1-М3	К	К	62С-64С	63-80	К

Характеристики абразивних кругів для плоского шліфування периферією круга

Таблиця 47.2

Оброблюваний матеріал	Шорсткість поверхні R_a , мкм	Характеристики круга				
		марка абразиву	номер зернистості	категорія твердості	номер структури	марка зв'язки
Незагартована сталь	1,2...2,5	13А, 14А	40...63	С2–СТ1	3,4	К1, К5, К8
	0,63...1,25		16...32			
Загартована сталь	1,2...2,5	23А, 24А	40...63	СМ1–СМ2	5,6	К1, К5, К8
	0,63...1,25		16...32			
Чавун	1,2...2,5	53С, 54С	40...63	СМ2–С1	3,4	К2, К3
	0,63...1,25		16...32			
Алюмінієві сплави, латуні	1,2...2,5	54С, 55С	40...63	М2–СМ2	7,8	К2, К3
	0,63...1,25	25А	16...32			К5, К8
Тверда бронза	1,2...2,5	54С, 55С	40...63	М2–СМ2	4,5	К2, К3
	0,63...1,25	14А	16...32			К5, К8

Примітка. Верхні значення для попереднього, а нижні значення для заключного шліфування

б) вид абразивного матеріалу – залежно від виду і властивостей оброблюваного матеріалу, виду абразивного оброблення;

в) зернистість абразивного матеріалу залежно від шорсткості обробленої поверхні. Так зернистість складає: 50; 63 – для попереднього круглого і плоского шліфування до $R_a = 2,5...0,63$ мкм; 40; 32 – для попереднього і чистового шліфування до $R_a = 2,5...0,32$ мкм; 25; 20; 16 – для чистового шліфування до $R_a = 1,25...0,16$ мкм; 12; 10 – заключне шліфування до $R_a = 0,63...0,16$ мкм;

г) вид зв'язки залежно від способу шліфування. Керамічна К1, К2, К3, К4, К6, К8, К10 – для всіх видів шліфування крім прорізування пазів і відрізування; К2, К3 – для інструменту із карбиду кремнію, для загострювання інструментів із твердих сплавів; К1, К2, К8 – для інструменту із електрокорунду; вулканітові В1, В2, В3, В5 – для ведучих кругів безцентрового шліфування.

д) категорію твердості залежно від виду і властивостей оброблюваного матеріалу, довговічності інструменту. Тверді матеріали оброблюють м'якими круга-

ми (М, СМ, С) м'які – твердим. В'язкі мідь, свинець обробляють м'якими кру-
гами.

е) структуру абразивного інструменту залежно від виду оброблюваного ма-
теріалу і способу шліфування. Рекомендуються номери структури: 3, 4 – для
шліфування твердих і крихких матеріалів; 5, 6 – для круглого зовнішнього, без-
центрального, плоского шліфування периферією круга металів з високим опором
розтягу; 7, 8 – шліфування в'язких матеріалів з низьким опором розриву, внут-
рішнього шліфування, плоского шліфування торцем круга; 9, 12 – швидкісного
шліфування.

Параметри режиму різання для різних видів шліфування визначають корис-
туючись табл. 47.3.

Параметри режиму різання для шліфування конструкційних матеріалів

Таблиця 47.3

Характеристика шліфування	Швидкість круга, V_k , м/с	Швидкість заготовки, ⁽¹⁾ V_z , м/хв.	Глибина шліфування, ⁽¹⁾ t , мм	Поздовжня (поперечна) ⁽²⁾ подача, $S_{пз}$, мм
Кругле зовнішнє шліфування				
З поздовжньою подачею: на кожен хід на подвійний хід врізне	30...35	$\frac{12...25}{15...55}$	$\frac{0,01...0,025}{0,005...0,015}$	$\frac{(0,3...0,7)B}{(0,2...0,7)B}$
			$0,015...0,05$	$(0,3...0,7)B$
		$\frac{30...50}{20...40}$		$\frac{0,001...0,005}{0,0025...0,0075}$
Кругле внутрішнє шліфування				
попереднє	30...35	20...40	$0,005...0,02$	$\frac{(0,4...0,7)B}{(0,25...0,04)B}$
заклучне			$0,0025...0,01$	
Плоске шліфування периферією круга				
На верстатах з пря- мокутним столом: у серійному вироб- ництві	30...35	$\frac{8...30}{15...20}$	$\frac{0,015...0,04}{0,005...0,015}$	$\frac{(0,4...0,7)B}{(0,2...0,3)B}$
			$3...8$	$\frac{0,05...0,15}{0,01...0,015}$
в інструментально- му виробництві				$\frac{1...2 \frac{MM}{xid}}{1...1,5 \frac{MM}{xid}}$

Примітки: 1 – значення у чисельнику для попереднього, у знаменнику для заключного шліфування. 2 – значення поперечних подач для врізного шліфування.

Послідовність виконання роботи:

Оброблення на круглошліфувальному верстаті

1. Ознайомитись з правилами безпечної роботи на шліфувальних верстатах.
2. Ознайомитись із загальною будовою, органами керування, гідро кінематичною схемою круглошліфувального верстата 3С120Б.
3. Відповідно до завдання вибрати шліфувальний круг за розмірами і характеристиками.
4. Призначити режим шліфування.
5. Встановити і закріпити круг у фланцях та на оправці для статичного балансування. Провести статичне балансування шліфувального круга.
6. Встановити відбалансований круг на шпинделі шліфувальної бабки і закріпити та торці фланця балансувальний пристрій в тому ж положенні в якому він знаходився до зняття.
7. Увімкнути верстат і відбалансувати шліфувальний круг на верстаті.
8. Виконати правлення шліфувального круга. Правлення проводити за декілька робочих ходів с подачею на правильний інструмент 0.02...0.03 мм, а потім без подачі.
9. Встановити передню і задню бабки залежно від довжини заготовки так, щоб середина заготовки була на осі повороту верхнього стола.
10. Встановити верхній стіл так, щоб риска вказівника співпала з нульовою поділкою шкали конусності.
11. Встановити заготовку в центрах.
12. Упори реверсу стола виставити на довжину шліфування так, щоб вихід круга за межі заготовки в крайніх положеннях стола складав приблизно 1/3 його ширини.
13. Перемикнути рукоятку 21 (рис.47.4) у положення поздовжнього шліфування і встановити необхідну швидкість стола.
14. Швидко підвести шліфувальну бабку так, щоб шліфувальний круг не дійшов до заготовки і не врізався в неї. Відрегулювати подачу холодильної рідини і вручну підвести круг до дотикання із заготовкою (появляється іскра).
15. Прошліфувати заготовку і виміряти її діаметр у двох перерізах з протилежних торців. При наявності недопустимої конусності скоректувати положення верхнього стола на необхідну величину користуючись індикатором. Прошліфувати заготовку і знову заміряти конусність поверхні.
16. Відповідно до завдання налагодити верстат і прошліфувати конусну поверхню.

17. Вимірити мікрометром діаметри поверхні з обох кінців у взаємно перпендикулярних площинах і визначити еліпсність і конусність.

Оброблення на плоскошліфувальному верстаті

1. Ознайомитись із загальною будовою, органами керування, гідравлічною схемою плоскошліфувального верстата 3Г71.

2. Відповідно до завдання вибрати шліфувальний круг за розмірами і характеристиками. Призначити режим шліфування.

3. Встановити і закріпити заготовку на магнітній плиті. Для закріплення заготовки перемикач 7 (рис. 47.6) повертають у положення „Плита увімкнена”.

4. Встановити упори 15 повздовжнього реверса стола так, щоб хід стола був більший від довжини заготовки на 80...100 мм.

5. Увімкнути почергово шліфувальний круг (кнопкою 6) і гідропривід (кнопкою 2).

6. Дросельний кран гідропанелі встановити у положення „Пуск”.

7. Рукоятку 13 „Швидкість стола” повільно перевести з положення „менше” вліво поступово збільшуючи швидкість стола.

8. Підвести шліфувальний круг до заготовки, при швидкості стола 8...10 м/хв., рукояткою 4, а маховиком 16 встановити глибину шліфування.

9. Встановити необхідну швидкість стола рукояткою 13.

10. Встановити необхідну величину поперечної подачі маховиком 10.

11. Увімкнути кнопкою 8 автоматичну поперечну подачу в ту чи іншу сторону залежно від того з якої сторони починається шліфування. Прошліфувати поверхню заготовки.

Зміст звіту

1. Види шліфування та їх застосування.
2. Балансування абразивних кругів, як його проводять?
3. Основні частини і органи керування круглошліфувального верстата.
4. Вибір абразивних кругів і режиму шліфування.
5. Послідовність налагодження круглошліфувального верстата на шліфування циліндричної і конічної поверхонь.
6. Схема встановлення деталі на верстаті, режим шліфування, розрахунок машинного часу.
7. Основні частини і органи керування плоскошліфувального верстата.
8. Послідовність налагоджування плоскошліфувального верстата.

Контрольні запитання. 1. Способи зовнішнього круглого шліфування. 2. Способи внутрішнього круглого шліфування. 3. Способи плоского шліфування. 4. Вибір режиму різання при шліфуванні. 5. Загальна будова круглошліфувального верстата. 6. Органи керування круглошліфувального верстата. 7. Будова пристроїв для балансування кругів і послідовність балансування шліфувальних кругів. 8. Порядок налагодження круглошліфувального верстата на шліфування циліндричних і конічних поверхонь. 9. Будова плоскошліфувального верстата. 10. Органи керування плоскошліфувального верстата. 11. Послідовність налагодження плоскошліфувального верстата.

Список літератури

1. Будник А. Ф. Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв, О.А. Будник: Сумський держ. ун-т. – Суми: СумДУ, 2008. – 222с.
2. Волокулин В.Ф. Металловедение и термическая обработка: Учеб. справоч. пособие/ Украинская международная академия оригинальных идей. – Винница: Книга-Вега, 2005. – 462с.
3. Гарнець В.М. Матеріалознавство. – К.: «Кондор» 2009, 386с.
4. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: «Металлургия» 1986, 544с.
5. Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. техн. спец./ М. Ф. Дмитриченко, В. М. Ткачук, О. В. Мельник. – К.: НТУ, 2008.- 176с.
6. Добровольский О.Г. Метали і зварювання у будівництві: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво»/ О. Г. Добровольский. – К.: КНУБА, 2012. – 203с.
7. ДСТУ EN 10020:2007. Сталі. Визначення і класифікація (EN 10020:2000). – Вид офіц. – на заміну ДСТУ EN 10020:2002. – К.: Держспожив стандарт України. 2009. – IV, 5с.
8. Зоткин В.Е. Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебн. пособие для студ. вузов обучающихся по спец. «Материаловедение и термическая обработка металлов» - 4-е изд., перероб. и доп. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2008. – 320с.
9. Зубо-та різьбооброблювальні металорізальні верстати: Навч. посіб./ Р.Д.Іскович-Лотоцький, Л.К.Поліщук; Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2008, – 132 с.
10. Інженерне матеріалознавство: підруч. для студ. вищ. навч. закл./ О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедєва, С.М. Самохін. – Миколаїв: НУК, 2009. – 444с.
11. Казакова Т.В. Теорія різання. Практикум. Навч. посіб. для студ. машинобудівних спец. / Т.В.Казакова, В.М.Птах. Дніпропетровська держ. машинобуд. академія. – Краматорськ: ДДМА, 2008 – 152 с.
12. Киричок П. О. Основи металознавства і порошкової металургії: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. С. Морозов. – К. НТУУ «КПІ», 2012. – 128с.
13. Кондаков А.В., Васильев А.С. Выбор заготовок в машиностроении. Справочник. – М.: Машиностроение, 2007 – 560с.
14. Котречко О. О. Патент України № 100471, 2012. Метод визначення твердості пластмас по Котречку.
15. Котречко О. О. Патент України № 10793, 2005. Спосіб визначення твердості деревини.
16. Котречко О. О. Патент України № 17459, 2006. Спосіб для визначення межі міцності деревини при перерізанні впоперек волокон.
17. Котречко О. О. Патент України № 44683, 2009. Спосіб визначення межі міцності пластмас при розтягуванні.
18. Котречко О. О. Патент України № 60075, 2011. Спосіб визначення ударної в'язкості деревини.
19. Лабораторний практикум по курсу «Технология конструкционных материалов» Уч. пособие. Г.В.Попов, А.А.Афанасьев, Ю.М.Веневцев и др.: Воронежский гос.технолог.акад. – Воронеж, 2001, - 151с.

20. Мазур М.П. та інш. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів]. під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ -2000, 2010. – 422с.
21. Металлорежущие станки. Уч. для студ. спец. «Механизация сельского хозяйства» с.-х. вузол / П.И.Ящерицын, В.Д.Ефремов, А.И.Кочергин (ред.) – Белорусский государственный аграрный технический университет. - Минск; БГАТУ, 2001 – 447с.
22. Металорізальні верстати: Навч. посіб. для студ. механічних спец. вищ.навч. закл./ В.Н.Бочков, Р.І.Сілін, О.В.Гаврильченко: Р.І.Сілін (ред.). Нац. ун.-т «Львівська політехніка», 2009 – 268 с.
23. Роянов В. О. Дефекти та якість при зварюванні і споріднених процесах: підр. для студ. зварюв. та машинобуд. напрямків вищ. навч. закл./ В. О. Роянов, В. Я. Зусін, С. С. Самотугін. – Маріуполь: Рената, 2010. – 226с.
24. Сварочные процессы и оборудование: учеб. для студ. вузов которые обучаются по направлению подготовки «Сварка»/ С. К. Фомичев и др. – К.: НТУУ «КПИ», 2012. – 488с.
25. Смирнов А.А. Производство оливок из чугуна: учеб. пособие./ А. Н. Смирнов, И. В. Рейлих. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 245с.
26. Справочник по конструкционным материалам/ Б. Н. Арзамасов, Т. В. Соловьева, С. А. Герасимов и др.: Т. В. Соловьева (ред.). – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 637с.
27. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів Навч. посіб. - Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010 -232с.
28. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавства. Практикум. Навч. посіб. / В.В.Попович, А.І.Кондер, А.І.Плешаков та ін. – Л.: Світ 2009 – 552 с.
29. Технологія конструкційних матеріалів. Практикум. Навч.посібник / В.М.Плескач, І.П.Волчок. – Запоріжжя: Дике поле; 2007 -168с.
30. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648с.
31. Функціональні матеріали і покриття: навч.посіб. для студ. вищ. навч. закладів / [М.О.Азаренков та ін.]: Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна. – Х.: ХНУ, 2013. – 206 с.
32. Шагун В. И. Металлорежущие станки/ В. И. Шагун. – М.: Высшая школа, 2006. – 862с.
33. Шагун В.И. Металлорежущие инструменты. Уч. Пособие для студентов Вузов. – М.: Высшая школа. 2007. – 423 с.