

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми
Сумський державний університет
2016

УДК [669+621.7](075.8)

ББК 30.3

T38

Авторський колектив:

С. В. Марченко, кандидат технічних наук, доцент;

О. П. Гапонова, кандидат технічних наук, доцент;

Т. П. Говорун, кандидат фізико-математичних наук, доцент;

Н. А. Харченко, кандидат технічних наук

Рецензенти:

О. Д. Погребняк – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри наноелектроніки Сумського державного університету;

В. І. Сігова – кандидат технічних наук, професор Сумського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти

Рекомендовано до видання вченою радою

Сумського державного університету як навчальний посібник

(протокол № 8 від 19 лютого 2015 року)

Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. /
T38 С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун,
Н. А. Харченко. – Суми : Сумський державний університет,
2016. – 146 с.

ISBN 978-966-657-612-8

У навчальному посібнику наведена стисла інформація про основні технологічні процеси одержання матеріалів і виробництво заготовок. Розглянуто технології металургійного одержання матеріалів, заготовок литтям, обробкою тиском. Подано короткі відомості про технологічні процеси з'єднання зварюванням, паянням. Проаналізовано технології неметалевих та композиційних конструкційних матеріалів.

УДК [669+621.7](075.8)

ББК 30.3

© Марченко С. В., Гапонова О. П.,
Говорун Т. П., Харченко Н. А., 2016

ISBN 978-966-657-612-8

© Сумський державний університет, 2016

ЗМІСТ

С.

Вступ	6
1. ВСТУП. ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	7
1.1. Основні етапи виготовлення машин	7
1.2. Властивості металів та сплавів, що використовуються в машинобудуванні	9
Питання до розділу 1	12
2. ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ.....	13
2.1. Доменна металургія чавуну	13
2.2. Отримання сталі	17
2.3. Технологія прямого відновлення заліза з руд (безкоксова металургія).....	22
2.4. Способи підвищення якості сталі.....	23
2.5. Способи розливання сталі	26
2.6. Металургія кольорових металів.....	28
2.7. Порошкова металургія.....	29
Питання до розділу 2	32
3. ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	34
3.1. Основні ливарні властивості сплавів	35
3.2. Ливарні сплави	36
3.3. Плавлення сплавів перед заливанням у форму	39
3.4. Технології отримання виливків	41
3.5. Механізація процесу формування	44
3.6. Спеціальні способи лиття.....	45
3.7. Післяопераційна обробка виливків	50
3.8. Вибір технологічного способу лиття	51
Питання до розділу 3	53
4. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ.....	55
4.1. Загальна характеристика обробки металів тиском (ОМТ).....	55

4.2. Вплив факторів на процеси обробки тиском.....	
металів.....	55
4.3. Температурно-швидкісні умови пластичного деформування.....	56
4.4. Вплив обробки тиском на макроструктуру та властивості виробу.....	58
4.5. Нагрівання металу перед обробкою тиском.....	59
4.6. Класифікація видів обробки металів тиском.....	60
4.7. Характеристика прокатного виробництва.....	61
4.8. Продукція прокатного виробництва.....	63
4.9. Технологія виробництва основних видів прокату.....	64
4.10. Технологія пресування.....	70
4.11. Технологія волочіння.....	71
4.12. Технологія кування.....	71
4.13. Технологія штампування.....	74
Питання до розділу 4.....	83
5. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	85
5.1. Фізичні основи одержання зварного з'єднання.....	85
5.2. Термічний клас зварювання.....	86
5.3. Термомеханічний клас зварювання.....	101
5.4. Механічний клас зварювання.....	103
5.5. Особливості зварювання металів і сплавів.....	105
5.6. Наплавлення та напилювання.....	108
5.7. Паяння металів і сплавів.....	110
5.8. Контроль якості зварних з'єднань.....	110
Питання до розділу 5.....	112
6. ТЕХНОЛОГІЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ТА КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	114
6.1. Загальні відомості про полімерні матеріали.....	114
6.2. Класифікація пластмас.....	115
6.3. Термопласти.....	116
6.4. Реактопласти.....	122
6.5. Еластоміри.....	122

6.6. Газонаповнені полімерні матеріали	127
6.7. Композиційні матеріали	128
6.8. Зварювання термопластичних пластмас.....	136
6.9. Склеювання пластмас	138
6.10. Покриття пластмасами	138
6.11. Лакофарбові покриття	139
Питання до розділу 6	142
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	144

Вступ

Технологія матеріалів, їх отримання та обробка належить до базових навчальних дисциплін спеціальностей інженерного напрямку. Це пов'язано насамперед з тим, що для отримання найвищих механічних, експлуатаційних властивостей деталі потрібно не лише вміти правильно застосувати матеріал, а ще й обрати оптимальну технологію отримання та обробки заготовки. Неправильна технологія зводить нанівець усі переваги обраного для деталі матеріалу або призводить навіть до руйнування механізму в цілому. Вибір найліпшого технологічного процесу отримання та обробки заготовок вимагає глибоких знань з усіх технологічних процесів роботи з матеріалами, їх особливості та застосовність для тих чи інших умов виробництва, експлуатації.

У посібнику стисло подано інформацію про основні технологічні процеси: металургійне, ливарне виробництво, обробку тиском, різанням, зварювання і паяння, технологію неметалевих та композиційних конструкційних матеріалів.

1. ВСТУП. ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Виготовлення того чи іншого механізму (автомобілю, кухонного комбайна тощо) складається з декількох етапів, кожен з яких відіграє важливу роль в остаточному результаті.

Етапи обираються, зважаючи на декілька чинників, таких як:

- матеріал заготовки деталі;
- розміри отримуваної заготовки;
- серійність виробництва;
- наявність обладнання на підприємстві тощо.

1.1. Основні етапи виготовлення машин

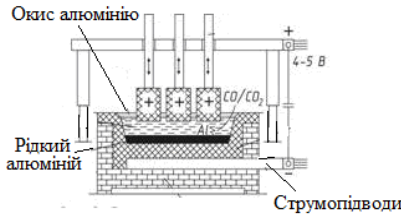


Рисунок 1.1 – Схема електролізної ванни для отримання алюмінію

готування заготовок отримують за технологією, що залежить від його природи.

Так, чорні метали отримують у металургійний спосіб, відновлюючи їх із залізних руд, алюміній – електролітичним віднов-

Наведено приклад послідовності етапів технології виготовлення поршня з алюмінієвого сплаву.

1-й етап. Отримання матеріалу для виготовлення заготовок. Матеріал для ви-



Рисунок 1.2 – Лита заготовка поршня

ленням з оксиду алюмінію тощо. Наприкінці цього етапу ми маємо метал у зливках – це напівфабрикат для виготовлення заготовки в цьому технологічному процесі.

2-й етап. Виготовлення заготовок. Заготовка за формою і розмірами близька до деталі. Заготовка більша від деталі на величину певного шару металу (припуску), щоб після механічної обробки набути потрібної точності та шорсткості поверхні.

Способи отримання заготовки:

- лиття – отримання заготовок шляхом заливання розплавленого металу заданого хімічного складу в ливарну форму, порожнина якої має конфігурацію заготовки;

- обробка тиском – технологічні процеси, що базуються на пластичній формозмінності металу;

- зварювання – технологічний процес отримання нерознімних

Рисунок 1.3 – Механічно оброблена заготовка поршня

з'єднань із металів і сплавів (з декількох окремих складових зварюють суцільну заготовку) за рахунок утворення атомно-молекулярних зв'язків між частинками заготовок, що з'єднуються.

У цьому прикладі заготовку поршня можна як відлити, так і отримати обробкою тиском – залежно від того, це ливарний сплав або сплав для обробки тиском. Переваги та недоліки мають обидва матеріали й технології. За певних умов можливе створення деталі прямо з напівфабрикату, однак такий виріб зазвичай матиме вкрай низькі механічні властивості.

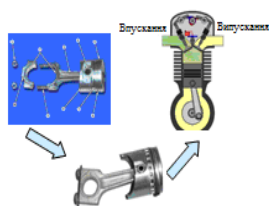


Рисунок 1.4 – Складений шатунно-поршневий вузол, двигун

3-й етап. *Обробка заготовок.* Для формоутворення заготовок найчастіше застосовують механічну обробку (різанням), а для надання деталі остаточних властивостей: обробку пластичним деформуванням, електрофізичні та електрохімічні способи обробки, термічну і хіміко-термічну обробку.

4-й етап. *Складання вузлів і машин* – заключний етап у виробництві машин, складені деталі з'єднуються між собою у вузли, а вузли з'єднуються у машини.

1.2. Властивості металів та сплавів, що використовуються в машинобудуванні

Конструкційні матеріали (КМ) – це матеріали, з яких

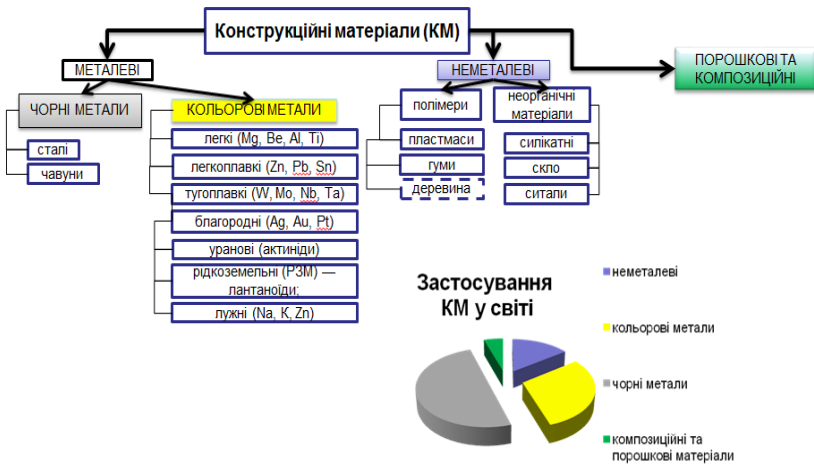


Рисунок 1.5 – Класифікація конструкційних матеріалів

виготовляються деталі конструкцій (машин і споруд), що сприймають силове навантаження. Визначальними параметрами конструкційних матеріалів є механічні властивості, що відрізняє їх від інших технічних матеріалів (оптич-

них, ізоляційних, мастильних, лакофарбових, декоративних, абразивних та ін.).

Конструкційні матеріали поділяють на групи: металеві, неметалеві та композиційні й порошкові.

Основою конструкційних матеріалів є металеві сплави на основі заліза (чавуни та сталі), міді (бронзи та латуні), алюмінію, титану.

Основні види обробки конструкційних матеріалів під час виготовлення деталей:

- лиття;
- обробка тиском;
- зварювання;
- обробка різанням.

Основні способи обробки матеріалів для надання їм потрібних властивостей:

- термічна обробка (температурна);
- механічна;
- термомеханічна;
- термохімічна.

Основні властивості металів: фізичні, механічні, експлуатаційні та технологічні.

Механічні властивості:

- твердість;
- пластичність;
- ударна в'язкість;
- межа витривалості тощо.

Фізичні властивості:

- температура плавлення;
- густина;
- коефіцієнти лінійного та об'ємного розширення;
- електропровідність і теплопровідність.

Хімічні властивості:

- хімічна активність;
- здатність до хімічної взаємодії;
- антикорозійні властивості.

Технологічні властивості:

- здатність до оброблення тиском;
- ливарні властивості;
- здатність до обробки різанням тощо.

Експлуатаційні (службові) властивості:

- холодостійкість;
- жароміцність;
- антифрикційність;
- зносостійкість тощо.

Механічні, фізичні та хімічні властивості показують загальні властивості матеріалу, зазвичай за певних, чітко визначених умов випробування.

Експлуатаційні властивості визначають можливість деталі (механізму) виконувати свої функції з найвищою продуктивністю в умовах експлуатації, коли вимагається, наприклад, здатність витримувати низькі температури (холодостійкість), здатність працювати під навантаженням при високих температурах (жароміцність) тощо.

Технологічні властивості визначають можливість або раціональність отримання, обробки заготовки з певного матеріалу в той чи інший спосіб.

Питання до розділу 1

1. ТКМ – це наука про...?
2. Назвіть основні види обробки конструкційних матеріалів під час виготовлення деталей.
3. Назвіть основні способи обробки матеріалів для надання їм потрібних властивостей.
4. Назвіть основні етапи виготовлення машин.
5. Дайте визначення поняття «конструкційні матеріали»...
6. Металеві конструкційні матеріали поділяють на...
7. Чорні метали поділяють на...
8. Неметалеві матеріали поділяють на...
9. Який із конструкційних матеріалів мають здатність поєднання виняткових властивостей різних за природою матеріалів.
10. Перелічіть властивості матеріалів, що застосовуються як конструкційні.
11. Дайте визначення пластичності.
12. Дайте визначення твердості.
13. Дайте визначення ударній в'язкості.
14. Дайте визначення властивості «витривалість».

2. ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ

Чорні метали – це сталі та чавуни. Вони є сплавами заліза з вуглецем. Сталі містять до 2,14 відсотка вуглецю, чавуни – більше 2,14 (6,67 % максимального). Крім вуглецю, до складу сталей і чавунів входять й інші хімічні елементи.

2.1. Доменна металургія чавуну

Сталь переважно отримують за двоступінчастою схемою, що складається з доменної виплавки чавуну і різних способів його переробки на сталь.

1. Під час доменного плавлення з руди одержують *чавун* – сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором.

2. Переробку чавуна в сталь проводять у конвертерах, мартенівських та електричних печах. У цих агрегатах відбувається вибіркоче окиснення домішок чавуну та перехід їх у шлак і газу.

2.1.1. Вхідні матеріали для виробництва чавуну

Вхідні матеріали для виробництва чавуну: сировина (залізні руди), паливо, флюси, вогнетривкі матеріали.

Залізні руди – містять залізо у вигляді оксидів або солей. Зазвичай комплексні (є, крім заліза, ще хімічні сполуки, елементи):

- бурий залізняк (лимоніт);
- червоний залізняк (гематит);
- магнітний залізняк (магнетит);
- шпатовий залізняк (сидерит).

Порожня порода залізних руд містить кварц, кальцит, CaCO_3 , глину, польові шпати, сульфід тощо.

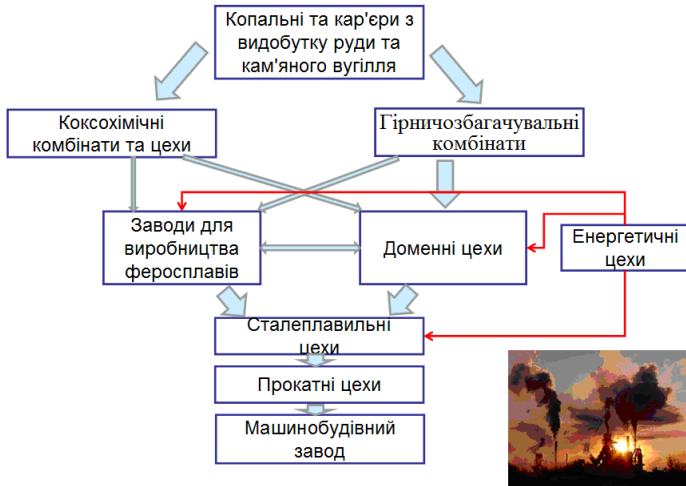


Рисунок 2.1 – Структура металургійного виробництва

Підготовка сировини полягає в її збагаченні (щоб було не менше 55 % заліза) магнітним, гравітаційним способами і флотацією.

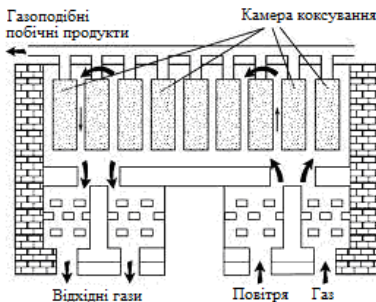


Рисунок 2.2 – Схема коксової печі

Руди перед використанням подрібнюють (30–80 мм), рудний пил спікають разом із коксом (агломерація).

Флюси – речовини, що сплавляють пусту породу, золу палива, виводять шкідливі домішки. Застосовують із цією метою вапняк або доломіт.

Паливо. Основне паливо для доменних печей – кам'яновугільний кокс, який іще служить відновником. Вартість коксу становить 40–50 % собівартості чавуну. Кокс отримують у коксових печах спіканням у пористий про-

дукт вугілля окремих сортів без доступу кисню при 1000 °С протягом 15 годин. Містить кокс до 90 % С.

Лише 15 % коксу можна замінити іншими видами палива.

Вогнетривкі матеріали – використовуються для вогнетривкого футерування (облицювання) частин обладнання, що працюють за високих температур з контактом рідкого металу тощо. За хімічним складом є:

- кислі – на основі кремнезему SiO_2 (динасові, кварцеглинясті);
- основні – зі вмістом основних окислів CaO , MgO (магнезитові, доломітові);
- нейтральні – на основі Al_2O_3 , Cr_2O_3 (хромомагнезитові, шамотні).

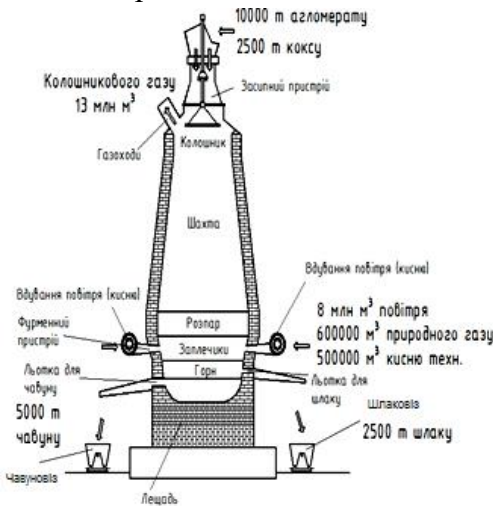


Рисунок 2.3 – Схема доменної печі об'ємом 2700 м³ та її приблизний добовий баланс

Шихта – суміш вхідних матеріалів у певному співвідношенні. Завантажують шихту в доменну піч окремими порціями – колошами.

Агломерат – дрібна або пилоподібна руда, концентрат, інші матеріали, що спеклися в грудки (шматочки).

Котуни – продукт переробки дуже дрібних шматків корисних копалин у грудки.

2.1.2. Виробництво чавуну в доменній печі

Доменна піч конструктивно виконана у вигляді шахтної.

Час безперервної роботи доменної печі називається компанією і становить 6 – 8 років.

Доменна піч працює за принципом зустрічних потоків: згори рухається потік сировинних матеріалів, а знизу вгору – гази, утворені від згоряння палива.

Основні фізико-хімічні процеси, що проходять у доменній печі:

- | | |
|---|--|
| 1. Горіння палива | У зоні фурм до 1800 °С |
| 2. Відновлення заліза | Оксидом вуглецю з оксидів заліза у верхній частині шахти при 400–500 °С – «губчасте залізо» |
| 3. Відновлення домішок | Відновлення кремнію (при 1450 °С).
Відновлення марганцю (500–450 °С).
Відновлення сірки.
Відновлення фосфору |
| 4. Навуглецьовування заліза та утворення чавуну | 400 –1200°С – насичення губчастого заліза вуглецем – знижується його температура плавлення і переходить у рідкий стан, розчиняє відновлені домішки і стікає до горна доменної печі |
| 5. Утворення шлаку | Із вапняку при температурі близько 900 °С утворюються оксид кальцію і двоокису вуглецю. Шлак стікає до горна. |

2.1.3. Продукція доменного виробництва

Продукція доменного виробництва: чавуни, доменні феросплави, шлак, доменний газ.

Чавун випускають із печі через кожні 3–4 години в спеціальні ковші. Залежно від хімічного складу, швидкості охолодження та інших чинників розрізняють:

Переробний білий чавун – для переробки на сталь, отримують при швидкому охолодженні. Вуглець знаходиться у Fe_3C (тверда сполука, що називається «цементит»), має низьку пластичність і білий колір). Шляхом відпалювання білого чавуну одержують ковкий чавун.

Ливарний (сірий) чавун – одержують за повільного охолодження. Майже весь вуглець перебуває у вигляді графіту. Із сірого чавуну одержують модифікований (високоміцний).

Доменні феросплави мають підвищений вміст (більше як 10 %) одного або кількох елементів (Si, Mn та інших). Використовують феросплави для розкиснення сталі, її легування.

Шлак випускають із печі через кожні 1,5 –2 години в спеціальні ковші-шлаковози. На 1 т чавуну утворюється 0,6 т шлаку.

Доменний газ. Доменного газу утворюється близько 3000 м³ на 1 т чавуну. Після очищення використовується як паливо для нагрівання повітря в повітронагрівниках.

2.2. Отримання сталі

Сталь – сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором, у якому вуглецю менше 2,14 %. Є вуглецеві та леговані сталі.

Основна відмінність від чавуну – в сталі немає вуглецю у вільному стані (графіту) – вуглець може бути розчиненим у залізі або утворювати цементит із залізом або карбіди з легувальними елементами.

Для одержання сталі із чавуну видаляють надлишок вуглецю, кремнію, марганцю, сірки та фосфору шляхом окиснення. Окиснювачем є кисень, що примусово додається ззовні, кисень у складі хімічних сполук та кисень, розчинений у металі.

Вхідні матеріали для виробництва сталі:

- переробний (рідкий або твердий) чавун;
- скрап (сталевий та чавунний брухт, лом, стружка);
- металізовані котуни, руда, розкиснювачі, легувальні елементи;
- флюси, паливо.

Сталь отримують трьома способами: киснево-конвертерним, мартенівським, електрометалургійним.

2.2.1. Кисневий конвертер

У ньому виплавляють з рідкого чавуну вуглецеві та низьколеговані сталі.

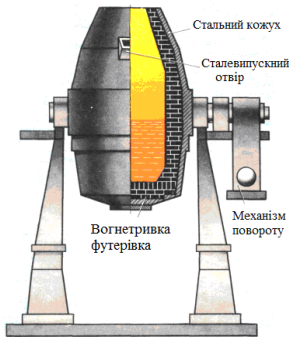


Рисунок 2.4 – Кисневий конвертер

Об'єм конвертерів становить 100–400 т. Разом з іншими операціями плавлення триває 45–50 хв.

Сировина для виплавляння сталі:

- 1) рідкий чавун;
- 2) скрап (частково залізна руда), вапно, розкиснювачі, легувальні елементи. Скрапу використовують 25–30 %.

Джерелом тепла є енергія хімічних реакцій окиснення домішок – для цього в рідкий чавун вдувають кисень через трубку (фурму).

2.2.2. Мартенівська піч

У мартенівській печі виплавляють вуглецеві та леговані сталі якісні й високоякісні з:

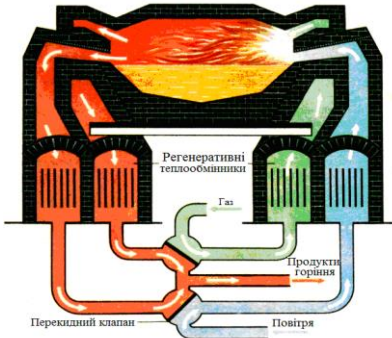


Рисунок 2.5 – Мартенівська піч

- твердого або рідкого чавуну;
- сталевого і чавунного скрапу, залізної руди;
- окалини, феросплавів і флюсів.

Використовується паливо тверде, рідке, газоподібне, змішане.

Мартенівські печі є основні та кислі.

Якщо для одержання сталі використовують лише тверду шихту (твердий чавун, скрап), то такий процес називають *скрап-процесом*.

Якщо для одержання сталі використовують рідкий чавун (до 75 %), то такий процес називають *скрап-рудним процесом*.

Найчастіше застосовують скрап-рудний процес (50–75 % рідкого чавуну, решта – скрап і залізна руда).

Технологічний процес виплавляння сталі в мартенівській печі при скрап-рудному процесі містить такі операції:

- заправлення подини і відкосів;
- завантаження і прогрівання твердих матеріалів;
- заливання шихти;
- кипіння розплавленої ванни;
- розкислення;
- легування;
- випускання сталі та шлаку.

Тривалість плавлення – 8–12 годин.

2.2.3. Електричні печі

Металургійні електричні печі можуть бути електродуговими, індукційними та плазмовими.

Дугові електроречі

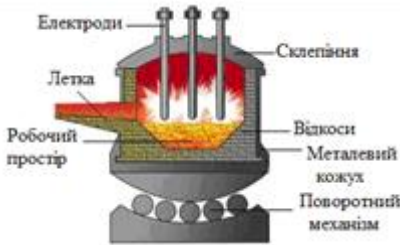


Рисунок 2.6 – Схема металургійної електродугової трифазної печі

руда й окалина для окиснення домішок, флюси.

Робота печі складається із двох етапів:

- окиснювального – окислюються кремній, марганець, фосфор, вуглець, частково залізо, метал кипить;

- відновлювального.

Сталь рафінується – додають вапно і плавиковий шпат (або шамот), розкиснювачі, розмелений кокс, легувальні елементи. Кінцево сталь розкиснюють алюмінієм. Розливають у ківш.

Триває плавлення 2–4 год.

Застосовують однофазні та трифазні прямого нагрівання місткістю 2,5–200 т.

Склад шихти: сталевий брухт (близько 90 %), чавун (5–10 %) – для забезпечення кипіння сталі після розплавлення шихти, залізна

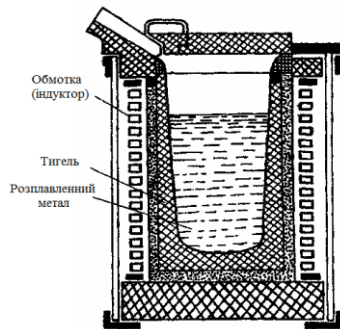


Рисунок 2.7 – Схема індукційної печі

Індукційні печі

Застосовують для виплавляння високоякісних високолегованих жаростійких, жароміцних сталей, конструкційних, вуглецевих сталей з мінімальним вмістом вуглецю, сплавів з особливими властивостями. Місткість печей – 5 кг до 25 т.

Вхідні матеріали – лише чисті, ретельно дібрані. Шихта розплавляється від вихрових струмів, що виникають в індукторі під час пропускання через нього струму високої частоти.

Наприкінці плавлення до сталі додають розкиснювачі та легувальні елементи.

Плавлення в індукційних печах часто відбувається у вакуумі або інертному газі.

Плазмово - дугова піч

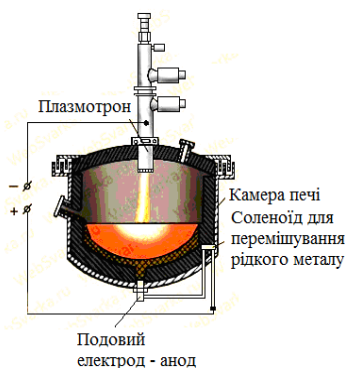


Рисунок 2.8 – Плазмова піч для плавлення металу

За формою ванни та матеріалами, що застосовуються для футерування, плазмово-дугова піч не відрізняється від звичайної дугової електропечі, натомість дає можливість досягти високих і легкорегульованих температур у будь-якій контрольованій атмосфері (частіше аргону).

Завдяки цьому виключається забруднення металу небажаними домішками, наприклад вуглецем із електродів.

2.3. Технологія прямого відновлення заліза з руд (безкоксова металургія)

Безкоксова металургія базується на прямому відновленні заліза (низько- і високотемпературному) з оксидів поза доменною піччю (немає забруднення навколишнього середовища, коксу, витрат на обслуговування доменної печі).

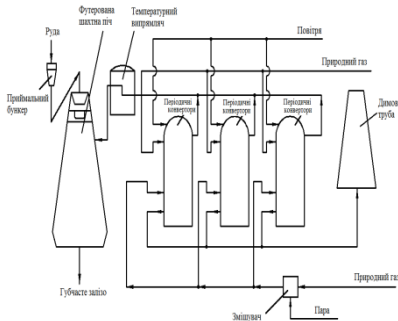


Рисунок 2.9 – Схема низькотемпературного процесу прямого відновлення заліза з руд

Продукцією прямого відновлення є металізовані матеріали, продукти прямого відновлення, губчасте залізо тощо.

За призначенням їх ділять на шихту для доменного (70–85 % Fe) або сталеплавильного (90–98 % Fe) виробництва і початковий продукт для виробництва залізного порошку (99 % Fe).

Відновлюваний газ отримують шляхом обробки природного газу паром за певних температур.

2.4. Способи підвищення якості сталі

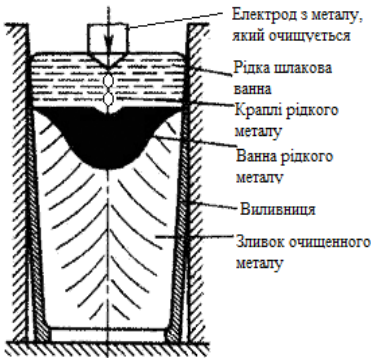


Рисунок 2.10 – Схема електрошлакового переплавлення металу

ленням;

- електронно-променевим переплавленням;
- вакуумуванням;
- рафінуванням синтетичним шлаком.

2.4.1. Електрошлакове переплавлення

Струм проходить через розплавлений шлак, що має підвищений електричний опір. Температура досягає 2000 °С.

Електрод зі сталі, що переплавляється, плавиться і, краплями просочуючись крізь шлак, очищується від домішок. У кристалізаторі сталь утворює зливоч перетину, що визначається формою кристалізатора.

Підвищують якість сталі шляхом зменшення в металі неметалічних вкраплень (сполуки з домішками), газів (кисень, водень) шкідливих домішок (сірка, фосфор).

Способи підвищення якості сталі:

- електрошлаковим переплавленням;
- вакуумно-дуговим переплавленням;
- плазмовим переплавленням;

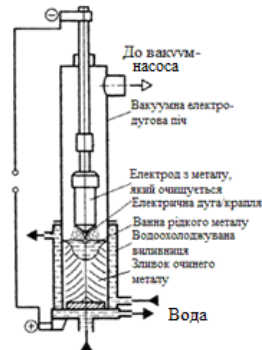


Рисунок 2.11 – Схема електродугового переплавлення сталі у вакуумі (ВДП)

2.4.2. Вакуумно-дугове переплавлення

Відбувається завдяки створенню вакууму в печах електродугового нагрівання.

Таким чином, знижується розчинність газів у сталі при зниженні тиску атмосфери й унеможливується хімічна взаємодія металу з футерівкою печі, оскільки ВДП проходить у водоохолоджувальних мідних виливницях.

Унаслідок спрямованого відведення тепла виливки ВДП мають підвищені механічні властивості, рівномірний хімічний склад.

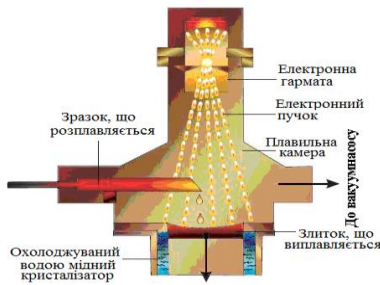


Рисунок 2.12 – Схема електронно-променевої печі сталі.

Створюється вакуум і плавлення йде за рахунок тепла, що виділяється при зіткненні електронів із поверхнею металу. Метал плавиться, стікає до кристалізатора, де утворюється зливочок.

Сумарний вміст домішок в очищених матеріалах становить $10^{-3} - 10^{-4} \%$ мас.

2.4.4. Плазмове переплавлення

Стержень із матеріалу, що переробляється, оплав-

2.4.3. Електронно-променеове переплавлення

Застосовують для отримання особливо чистих тугоплавких металів і сплавів танталу, ніобію, молібдену, цирконію, титану, а також для виплавлення складнолегованої сталі.

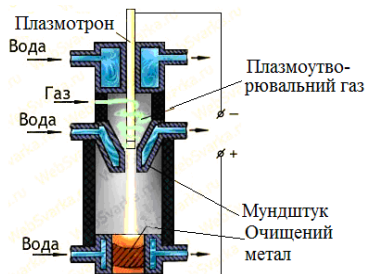


Рисунок 2.13 – Схема плазмового переплавлення металу

ляється факелом плазми. Анодом є поверхня ванни рідкого металу в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі.

У контакті з контрольованою газовою атмосферою камери метал рафінується, кристалізується у кристалізаторі, витягується з нього.

Параметри енерговитрати аналогічні електропечам.

2.4.5. Вакуумування сталі

Під час створення вакууму зменшується розчинність газів, деяких елементів, що виводяться на поверхню і відсмоктуються.

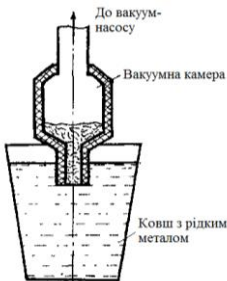


Рисунок 2.14 – Схема порційного вакуумування (періодично)

потужним струменем.

Між металом і шлаком завдяки миттєвому збільшенню поверхні доторкання відбувається активна взаємодія.

Можливе шляхом вдунання через трубку у вигляді порошку: в рідкий метал у потоці інертного газу (аргону) через фурму вводять подрібнені десульфатори та розкиснювачі.

Вакуумування проводять у ковші, у вакуумних камерах, під час розливання.

Є об'ємне, порційне, циркуляційне вакуумування.

2.4.6. Рафінування синтетичним шлаком

У ковш перед випусканням у нього сталі заливають розплавлений шлак (найчастіше вапняноглиноземний) і виливають сталь

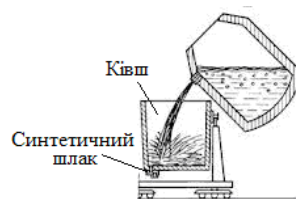


Рисунок 2.15 – Схема рафінування синтетичним шлаком

Унаслідок такої обробки можна одержати метал із вмістом сірки та кисню менше 0,005 % мас.

2.5. Способи розливання сталі

Після отримання сталі її розливають для отримання зливків одним із трьох способів: у виливниці зверху, у виливниці знизу – сифоном, безперервним.

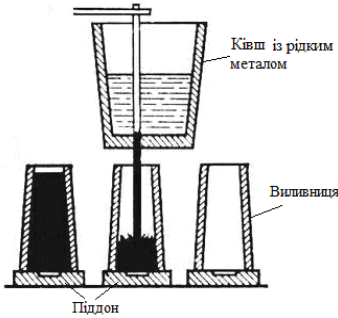


Рисунок 2.16 – Розливання сталі у виливниці зверху

Недоліки:

- великий парк виливниць;
- бризки металу застигають на стінках виливниці і погіршують поверхню зливка – отже, велика витрата металу.

2.5.2. Сифонове розливання

Заповнюють одночасно декілька виливниць (від 2 до 60), використовуючи принцип посудин, що сполучаються. Використовується для дорогих легованих і високоякісних сталей.

2.5.1. У виливниці зверху

Найпростіший спосіб – немає витрат на ливники, температура сталі, що заливається, може бути нижчою, ніж при сифоновому розливанні.

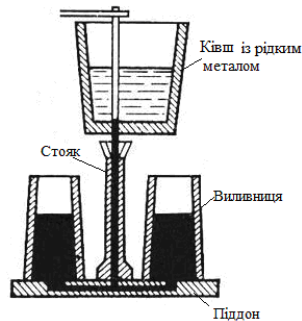


Рисунок 2.17 – Розливання сталі сифоном (у виливниці знизу)

Забезпечує повільне, без розбризкування заповнення виливниць, можна розливати велику масу металу одночасно на декілька дрібних злитків.

Недоліки – трудомісткість, витрата металу на ливники, перегрів металу.

Після розливання сталі у виливниці залежно від ступеня розкиснення отримують сталь спокійну, напівспокійну та киплячу:

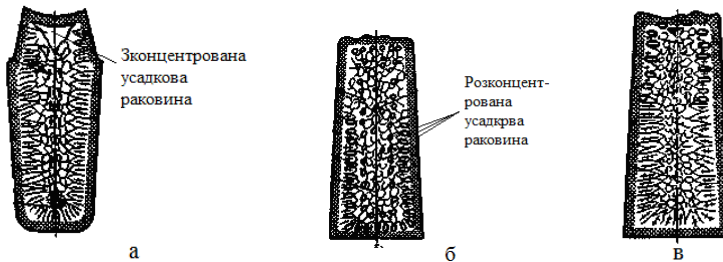


Рисунок 2.18 – Схема зливків із різним ступенем розкиснення: а – спокійна сталь; б – кипляча сталь; в – напівспокійна сталь

2.5.3. Безперервне розливання сталі

Проводять у водоохолоджувальну виливницю без дна – кристалізатор, із нижньої частини якого витягується тверднучий вилівок.

Переваги:

- відсутні усадкові раковини;
- щільна будова;
- дрібнозерниста структура;
- якісна поверхня;
- ККД 96 – 98% від маси сталі;
- не потрібні блюмінги і слябінги;
- зменшується хімічна неоднорідність;
- покращуються умови праці.

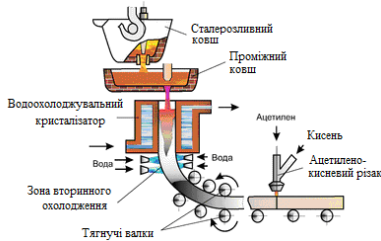


Рисунок 2.19 – Безперервне розливання сталі

2.6. Металургія кольорових металів

У машинобудуванні найбільш застосовані сплави на основі алюмінію, міді, титану, магнію.

2.6.1. Отримання алюмінію

Промисловим способом отримання металевого алюмінію є електролітичне розкладання оксиду Al_2O_3 , розчиненого в розплавленому кріоліті Na_3AlF_6 .

Виробництво алюмінію складається із двох стадій: отримання глинозему з боксидів (алюмінієвих руд) та електроліз глинозему з отриманням металу.

Електроліз проводиться у спеціальних пристроях – електролізерах (ваннах). Металевий алюміній збирається на дні ванни під шаром електроліту.

Щоб одержати алюміній підвищеної чистоти, необхідно провести рафінування: електролітичне або хлором.

2.6.2. Отримання міді

Сировиною для виробництва міді слугують сульфідні, оксидні або змішані мідні руди, а також відходи міді та її сплавів. Мідні руди піддають збагаченню. Далі проводиться окиснювальне випалення для видалення сірки.

Наступним етапом виробництва міді є плавка концентрату на штейн (вміст міді в штейні 20–45 %, шлаку 0,4–0,6 %).

Потім відбувається плавлення у шахтних печах з отриманням спочатку чорної і після рафінування – чистої міді.

2.6.3. Отримання титану

Найпоширенішими титановими рудами є ільменіт $FeO \cdot TiO_2$, рутил TiO_2 та ін.

Титанові руди збагачують різними способами.

Далі йде відділення оксидів заліза FeO і Fe_2O_3 . При цьому відбувається перехід титану в шлак 96–97 %.

Потім проводять хлорування титанового шлаку й отримання чотирихлористого титану.

Із чотирихлористого титану відновлюють титан і магній – термічним способом (до 75 % від загальної маси) й одержують титанову губку (титан + магній).

2.6.4. Отримання магнію

Головним способом отримання магнію є електроліз його розплавлених солей при 700–720 °С.

Сировиною для виробництва магнію служать магнієві руди: хлориди і карбонати.

Металевий магній може бути одержаний також термічними способами – шляхом відновлення оксиду магнію вуглецем, кремнієм або феросиліцієм при високих температурах і відносно глибокому вакуумі.

Зливки з титанової губки одержують способом вакуумно-дугового переплавлення.

2.7. Порошкова металургія

Порошкова металургія – це галузь, що охоплює виробництво порошків металів (Fe, Cu, Ni, Al тощо), їх сплавів і сполук, а також неметалевих матеріалів (графіту, сажі) та одержання з них напівфабрикатів, заготовок або готових виробів. При цьому основний компонент таких матеріалів не доводять до плавлення.

Метод порошкової металургії цінний можливістю отримання матеріалів із металів зі значною різницею температури плавлення (W + Cu), металів і неметалів (бронза + графіт), хімічних сполук (оксидів, карбідів, нітридів) – тверді сплави, матеріалів із пористістю тощо.

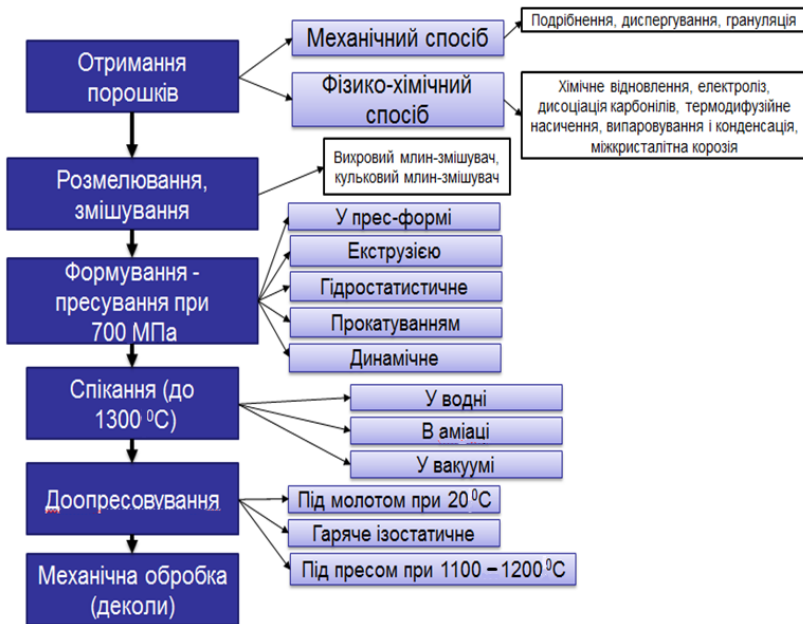


Рисунок 2.20 – Схема отримання зі сталевих порошків заготовок та виробів

Тут є мінімальною втрата матеріалів, і метод є високо-ефективним під час виготовлення деталей загального машинобудування. Такі вироби виготовляють із порошків сталі, бронз, латуней та інших матеріалів.

За умов дотримання технології такі деталі можна додатково обробляти різанням, піддавати термічній обробці.

2.7.1. Способи отримання порошків

Є механічні (грануляція, подрібнення тощо) та фізико-хімічні (хімічне відновлення, електроліз тощо).

Для виготовлення якісних заготовок або деталей порошки відпалюють, розділяють за розмірами частинок, змішують.

Властивості порошкових виробів значною мірою залежать від якості змішування компонентів шихти. Ця опера-

ція здійснюється у спеціальних змішувачах, кульових або вібраційних млинах та іншими способами.

2.7.2. Процес формування заготовок

Це надання матеріалу форми та розмірів заготовки, що полягає в ущільненні порошку під дією прикладеного тиску з метою виготовлення з нього заготовок певної форми.

Формування здійснюється:

- пресуванням;
- видавлюванням;
- прокатуванням;
- шлікерним литтям.

Пресування порошоків є холодним, гарячим і гідростатичним. Може проводитися за допомогою екструзії (видавлюванням крізь отвір), прокатуванням тощо.

Для підвищення міцності відформовані з порошку заготовки піддають спіканню. Цю операцію здійснюють за температури, що становить $2/3$ від температури плавлення основного компонента.

Якщо потрібно підвищити точність розмірів й ущільнення поверхневого шару, то спечені деталі піддають калібруванню (ступінь деформації 0,2–1,6 % від відповідного розміру).

Питання до розділу 2

1. У чому полягає процес отримання сталі? За якими схемами отримують сталь?
2. Перелічіть та дайте характеристику вхідних матеріалів для виробництва чавуну.
3. Будова доменної печі. Які основні фізико-хімічні процеси проходять у доменній печі?
4. Дайте характеристику продукції доменного виробництва.
5. Перелічіть та дайте характеристику вхідних матеріалів для виробництва сталі.
6. Опишіть роботу кисневого конвертера. Переваги, недоліки.
7. Опишіть роботу мартенівської печі. Переваги, недоліки.
8. Опишіть роботу індукційної печі. Переваги, недоліки.
9. Опишіть роботу електродугової печі. Переваги, недоліки.
10. Опишіть роботу плазмово-дугової печі. Переваги, недоліки.
11. Опишіть принцип підвищення якості сталі електрошлаковим переплавленням. Переваги, недоліки.
12. Опишіть принцип підвищення якості сталі вакуумно-дуговим переплавленням. Переваги, недоліки.
13. Опишіть принцип підвищення якості сталі електронно-променевим переплавленням. Переваги, недоліки.
14. Опишіть принцип підвищення якості сталі плазмовим переплавленням. Переваги, недоліки.
15. Опишіть принцип підвищення якості сталі дегазуванням та рафінуванням синтетичним шлаком. Переваги, недоліки.

16. Опишіть принцип розливання сталі зверху. Переваги, недоліки.

17. Опишіть принцип розливання сталі сифоном. Переваги, недоліки.

18. Опишіть принцип безперервного розливання сталі. Переваги, недоліки.

19. Дайте характеристику порошкової металургії.

20. Опишіть загальний технологічний процес отримання виробів порошковою металургією.

3. ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Ливарне виробництво – це отримання виробів шляхом заповнення рідким матеріалом порожнини форми, що має конфігурацію потрібної заготовки.

Після кристалізації та охолодження металу у формі отримуємо виліток (лита деталь або заготовка), що витягається з форми і піддається подальшій обробці.

Загалом литі заготовки мають механічні властивості нижчі, ніж поковки, проте є винятки.

Ливарна форма – це приладдя, що створює робочу порожнину, при заливанні до якої рідкого металу формується виліток.

Модельний комплект – це комплект формувальних пристроїв, потрібних для утворення при формуванні робочої порожнини. Це модель, стрижневі ящики, моделі ливникової системи, формувальні, контрольні та складальні шаблони для визначеного вилітка.

Модель – елемент, за допомогою якого у ливарній формі одержують порожнину (відбиток), куди заливатиметься метал. Модель більша за виліток на величину усадки металу і припуску на механічну обробку. Виготовляють моделі для лиття в піщано-глинясту форму з дерева, металу, пластмаси.

Виліток – заготовка, отримана способом лиття.



Рисунок 3.1 – Виліток робочого колеса насоса з ливниковою системою, додатками

Формувальні суміші застосовують для виготовлення разових форм. Суміші містять пісок, глину, проти-пригарні зв'язувальні речовини. Повинні мати високу пластичність, міцність, газопроникність, вогнетривкість, піддатливість. Формові суміші поділяють на облицювальні, наповнювальні та єдині.

3.1. Основні ливарні властивості сплавів

На першому місці при виборі цього технологічного способу стоїть така властивість, як здатність матеріалу бути застосованим для отримання з нього заготовки литтям. *Отже, технологічні властивості того чи іншого матеріалу передумовляють можливість застосовності його для цього способу загалом або показують можливість вибору лише певного зі способів лиття.*

Рідкоплавкість – здатність металу заповнювати ливарну форму і відтворювати контури її робочої порожнини. Залежить від фізичних властивостей металу, його хімічного складу, температури, фізичних властивостей і стану форми.

Збільшення вуглецю, кремнію, фосфору, а також підвищення температури підвищують рідкоплавкість.

Певні матеріали, до яких би температур їх не нагрівали, не здатні стати рідкими, отже отримати заготовку з них литтям є або неможливим, або потребує спеціальних способів лиття.

Усадка – властивість металів і сплавів зменшувати об'єм під час охолодження в розплавленому стані, в процесі затвердіння і затверділому стані. Залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки, конфігурації вилівка.

Є об'ємна і лінійна усадки. Об'ємна впливає на появу усадкових раковин. Лінійна визначає розмірну точність одержаних виливків.

Лінійна (об'ємна) усадка становить: сірого чавуну – 0,8–1,3 % (max ~7 %); вуглецевих сталей – 2–2,4 %; алюміні-

нієвих сплавів – 0,9–1,45 % (max 3,2–6,8 %); мідних сплавів – 1,4–2,3 %.

Для попередження утворення усадкових раковин установлюють додатки – резервуари з розплавленим металом, а також зовнішні або внутрішні холодильники, які спрямовують процес кристалізації.

Газопоглинання – здатність ливарних сплавів у розплавленому стані розчиняти водень, азот, кисень та інші гази.

Ліквіація – хімічна неоднорідність по об'єму виливка (зливка).

3.2. Ливарні сплави

Різні метали, сплави мають неоднакові ливарні властивості, що врешті й визначає вибір тієї чи іншої технології лиття.

3.2.1. Чавуни

Є найпоширенішим матеріалом для отримання фасонних виливків (близько 80 % продукції лиття).

Унаслідок наявності в структурі графіту чавунні виливки не такі чутливі до зовнішніх концентраторів напружень, добре протистоять вібраційним навантаженням. Мають добрі технологічні властивості й порівняно дешеві.

Сірий чавун. Чавун СЧ 00–СЧ 12 – феритова структура; СЧ 24–СЧ 44 – перлітова, інші ф+п. Цифри – межа міцності при розтягуванні.

Швидкість охолодження впливає на структуру – отже, різнотовщинна заготовка із чавуну може мати різну мікроструктуру та міцність після лиття.

Ковкий чавун. Для отримання ковкого чавуну спочатку виплавляють білий із перлітоцементною структурою: 2,5– 2,9 % С; 0,8– 1,4 % Si; 0,3– 0,5 % Mn; до 0,2 % P, до 0,12 % S; до 0,05 % Cr.

Спочатку виливки виготовляють з білого чавуну, які потім відпалюють на ковкий за різних режимів: розкладається цементит й отримуємо графіт відпалювання в кінцевій структурі.

Може бути феритним КЧ 37-12 і перлітним КЧ50-5 тощо.

Високоміцний чавун. Одержують модифікацією рідкого чавуну деякими лужними або лужноземельними металами. Частіше застосовують магній у кількості 0,03–0,07 %.

Під дією магнію графіт у процесі кристалізації металу в формі набуває не пластинчастого, а кулястого вигляду.

Кулястий графіт не є активним концентратором напруження, отже чавуни з кулястим графітом мають вищі механічні властивості, не поступаються литій вуглецевій сталі, зберігаючи при цьому хороші ливарні властивості та оброблюваність різанням, здатність гасити вібрації.

Типовий склад чавуну: 2,7–3,6 % С; 1,6–2,7 % Si; 0,5–0,6 % Mn; 0,10 % S і 0,10 % P.

3.2.2. Сталь

Має гірші за чавун ливарні властивості. Застосовують для отримання виливків, які разом із високою міцністю повинні володіти добрими пластичними характеристиками.

Виготовлення форм для виливків зі сталі відрізняється застосуванням великих додатків для живлення великої (6 %) об'ємної усадки сталі. При цьому необхідно враховувати, що сталь має знижену рідкоплавкість і високу температуру заливання. У середньому маса додатка становить 0,6 від маси виливка.

Легована сталь має гірші ливарні властивості, ніж не-
легована. Зі збільшенням вмісту вуглецю, легувальних
елементів ливарні властивості сталей гіршають.

3.2.3. Алюмінієві сплави

Високими ливарними властивостями володіють сплави
з евтектикою – алюмінію з кремнієм, силуміни (АЛ2, АЛ3,
АЛ5). Однак механічні властивості цих сплавів низькі.

Сплави алюмінію та міді (АЛ7, АЛ19) після термічної
обробки мають високі механічні властивості, хорошу об-
роблюваність різанням, проте низькі ливарні властивості.

Сплави алюмінію та магнію (АЛ3, АЛ13, АЛ27) мають
низькі ливарні властивості, високу корозійну стійкість, хо-
роші механічні властивості та оброблюваність різанням.

Для отримання щільного виливка зі сплаву АЛ24 без
пор передбачають масивні додатки й холодильники (мета-
леві вкладиші) у всіх місцях, у яких може утворитись усад-
кова пористість. Для рівномірної подачі металу у форму
застосовують ливникову систему з розгалужувальним ко-
лектором.

3.2.4. Мідні сплави

Мідні сплави – бронза та латунь.

Латунь володіє доброю зносостійкістю, антифрикцій-
ністю, корозійною стійкістю. Виготовляють шестерні, вту-
лки тощо.

Мідні сплави характеризуються великою усадкою, по-
рівняно легкою окиснюваністю при високій температурі.
Застосовують достатні за об'ємом додатки, передбачають
повільне підведення металу у форму, що виключає падіння
сплаву з висоти, розбризкування й зіштовхування його по-
токів.

3.2.5. Магнієві сплави

До ливарних відносять такі магнієві сплави: на основі системи Mg-Al-Zr (МЛЗ, МЛ5; $\sigma_B = 147\text{--}225$ МПа, $\delta = 2\text{--}5$ %); на основі Mg-Nb-Zr, Mg-Zn-Zr.

До деформованих відносять: на основі системи Mg-Mn (МА1; МА8; $\sigma_B = 240\text{--}260$ МПа, $\delta = 5\text{--}12$ %); Mg-Al-Zn, Mg-Nd тощо.

Під час отримання форм для магнієвого литва враховують велику реакційну здатність магнію – до формувальних матеріалів додають сірку та борну кислоту. Під час заливання форми струмів металу опилують сірчанним порошком. Сірка утворює пари і захисний сірчистий газ.

3.3. Плавлення сплавів перед заливанням у форму

Для плавлення сплавів у ливарних цехах застосовують: дугові електропечі, індукційні електропечі, печі опору, електронно-променеві печі, полумєневі печі, вагранки.

3.3.1. Дугові електропечі

У цих печах плавлять сталь і чавун. Конструкція печей і процес плавки в них описані в розділі «Металургія».

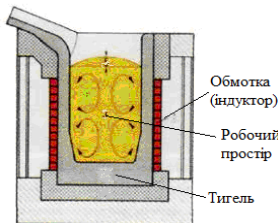


Рисунок 3.3 – Індукційна електропеч без сердечника

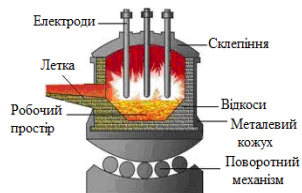


Рисунок 3.2 – Трифазна дугова піч

3.3.2. Індукційні електропечі без сердечника

Ці печі є повітряним трансформатором, первинною обмоткою яких є мідний порожнистий водоохолоджуваний індуктор, а

вторинною – металева шихта, що завантажується в тигель. Залежно від частоти змінного струму, що живить індуктор, ці печі поділяють:

- на печі промислової частоти (50 Гц);
- високої частоти (більше 500 Гц).

3.3.3. Індукційні електропечі із сердечником

Піч складається із шахти і каналів (одного або трьох), які охоплюють сердечник 1 та первинну обмотку трансформатора.

До первинної обмотки (індуктора) підводиться струм промислової (низької) частоти. Рідкий метал, заздалегідь залитий у канал 2, створює коротко замкнений вторинний виток, у якому збуджується електричний струм великої сили, що перетворюється на теплову енергію.

Плавлення в цих печах економічніше, ніж у високочастотних, але вимагає наявності рідкого металу.

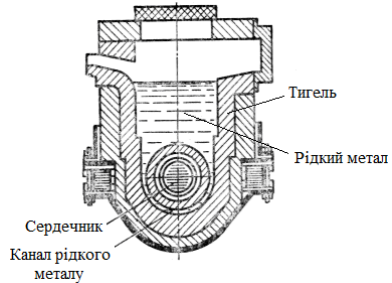


Рисунок 3.4 – Індукційна електропіч з сердечником

3.3.4. Електропечі опору

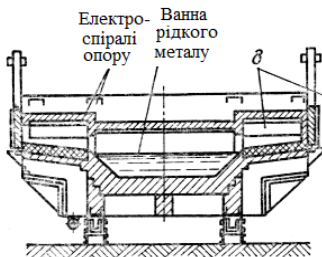


Рисунок 3.5 – Схема електропечі опору

У цих печах плавлять алюмінієві, магнієві та цинкові сплави.

Основним джерелом теплоти для нагрівання, розподілу і перегрівання металу в таких печах є стрічкові електронагрівачі з ніхрому (80 % Ni, 20 % Cr).

Електронагрівальні елементи розташовані під склепінням та на стінках печі.

3.3.5. Електронно-променеві печі

Застосовують для тугоплавких сплавів. Метал в електронно-променевих печах плавлять за рахунок теплової енергії, що виділяється при різкому гальмуванні електронів, розігнаних до великої швидкості, при зустрічі зі шматками шихти.

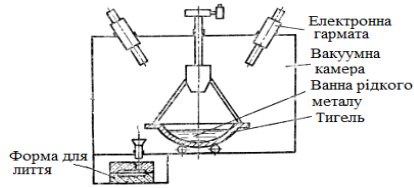


Рисунок 3.6 – Установка електронно-променевого переплавлення

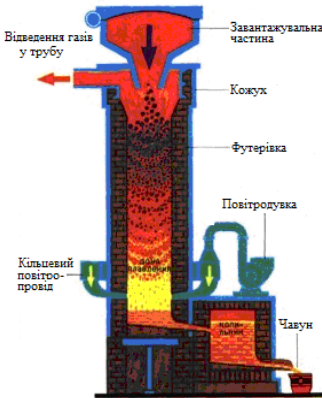


Рисунок 3.7 – Схема вагранки

3.3.6. Вагранки

У старих чавуноливарних цехах вагранка є основним плавильним агрегатом. Вона є шахтною піччю, подібною до доменної.

Білий чавун для ковкого чавуну часто плавлять у двох печах: спочатку у вагранці, потім в електроплавильних печах, де доводять чавун до певного хімічного складу і перегрівання.

3.4. Технології отримання виливків

Заготовки у спосіб лиття отримують:

- литтям у піщані форми (ручне або машинне формування);
- литтям у стрижневі форми;
- литтям у багаторазові (цементні, графітні, азбестові форми);

- литтям в оболонкові форми;
- відцентровим литвом;
- литтям у кокіль;
- литтям під тиском;
- литтям за моделями, що газифікуються;
- литтям за моделями, що виплавляються;
- литтям за моделями, що заморожуються;
- вакуумним литтям;
- електрошлаковим литтям.

3.4.1. Отримання виливків литтям у піщано-глиняні форми

Такі форми є одноразовими.

Технологічний процес передбачає:

- виготовлення модельного комплекту, приготування формових і стержневих сумішей (рис. 3.8 а, б);

- виготовлення стержня і сушіння (рис. 3.8 г, д);

- виготовлення форм і їх складання, сушіння (рис. 3.8 е);

- заповнювання форм металом (рис. 3.8 ж);

- охолодження виливків (рис. 3.8 з);

- вибивання форми;
- очищення та контроль.

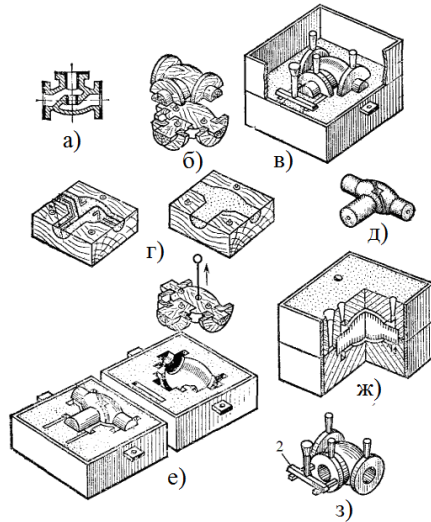


Рисунок 3.8 – Схема технологічного процесу отримання виливка у піщаній формі

3.4.2. Отримання виливків у формі зі стержнів

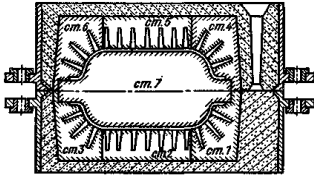


Рисунок 3.9 – Форма для кришок з ребрами, складена зі стержнів

У цей спосіб одержують тонкостінні виливки, складної конфігурації або з великою кількістю ребер.

За допомогою стержнів збирають форму для утворення робочої порожнини. В цьому разі форму складено із сімох стержнів.

3.4.3. Отримання виливків у ливарних кесонах

Для виготовлення великих форм виливки виконують із декількох частин.

За економічної недоцільності такого методу застосовують формування в кесонах (бетонованих ямах). Наприклад, під час виготовлення виливка станини поперечно-стругального верстата завдовжки 18 м.

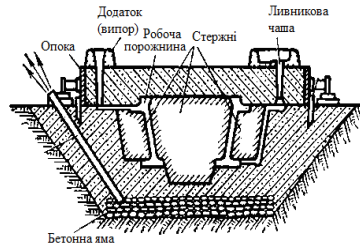


Рисунок 3.10 – Схема ливникового кесона

3.4.4. Отримання виливків у формах вакуумно-плівкового формування

Граничний шар робочої порожнини, що контактувати з рідким металом, утворюється шляхом покривання моделі під час формування розігрітою вініловою плівкою.

Модель та підмодельна плита мають безліч невеликих отворів, крізь які відсмоктується повітря і створюється вакуум, щоб плівка “обтягла” модель.

Опоки заповнюються кварцовим піском, герметизуються плівкою – ущільнення проходить за рахунок вакууму. Форма складається. Під час зливання рідкого металу до форми плівка згорає й утворюється антипригарне покриття.

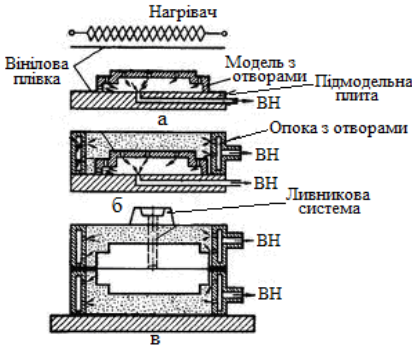


Рисунок 3.11 – Схема вакуумно-плівкового формування: а – створення оболонки; б – створення напівформи; в – складена форма

3.5. Механізація процесу формування

Механізація процесу формування відбувається шляхом часткової заміни ручної праці машинами для ущільнення формової суміші або повною автоматизацією формування (безопокове формування).

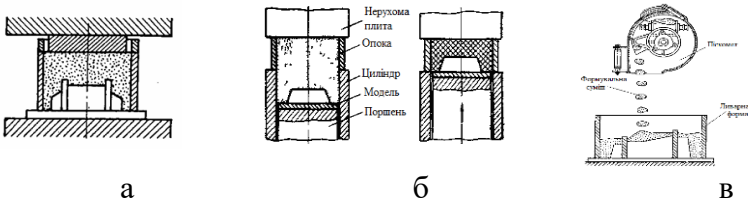


Рисунок 3.13 – Машина з верхнім (а) та нижнім (б) пресуванням, формувальний піщомет для габаритних форм (в)

3.4.5. Отримання виливків у формах, що зроблені за шаблонами

Шаблон – профільована дошка з вирізаним зовнішнім або внутрішнім профілем виливка.

Виготовлення шаблону значно простіше, ніж моделі, не вимагає великої витрати деревини і трудомістких робіт.

Для поліпшення га

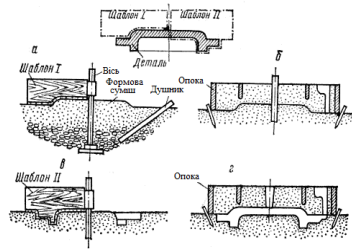


Рисунок 3.12 – Схема формування шаблонами

Використовують *машини для ущільнення суміші з верхнім та нижнім пресуванням, струшувальні машини, машини для метання піску тощо.*

Безопокове формування відрізняється високою продуктивністю й економічністю. У такий спосіб виготовлення форм досягається достатня точність виливків, скорочуються виробничі витрати на виготовлення опок, спрощуються процеси вибивки виливків із форм. Часто процес повністю автоматизується для створення нескладних невеликих виливків.

3.6. Спеціальні способи лиття



Рисунок 3.14 – Технологічні етапи безопокового формування

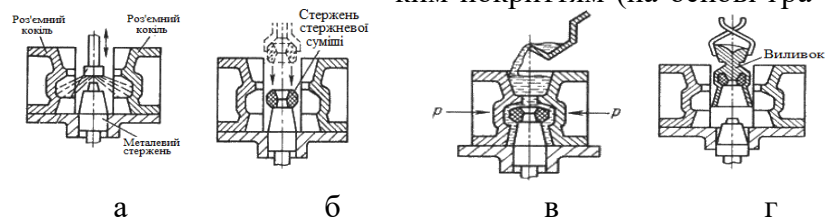
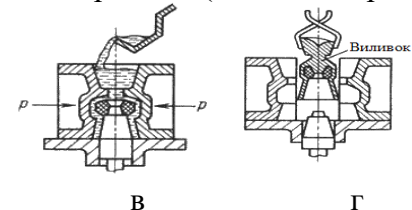


Рисунок 3.15 – Технологія лиття в кокіль

3.6.1. Лиття в кокіль

Кокіль – це багаторазова металева форма, виготовлена із чавуну або сталі.

Перед заливанням поверхню металевої форми покривають спеціальним вогнетривким покриттям (на основі гра-



фіту, рідкого скла) і нагрівають до 250-300 °С.

Етапи:

- встановлюють стержні (можуть бути металеві);
- складають форму;
- заливають розплавом.

Виливки кокільного лиття мають високу точність розмірів, низьку шорсткість поверхні.

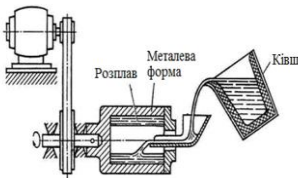


Рисунок 3.16 – Схема відцентрового лиття

Розплав відтісняється до стінок форми відцентровою силою. При цьому одержують виливки із ущільненою структурою.

Є машини з горизонтальною і вертикальною осями обертання. Застосовується спосіб також для лиття невеликих виливків.

3.6.3. Лиття під низьким тиском

При цьому способі лиття розплав заповнює металеву форму під тиском стисненого повітря (інертного газу) на дзеркало розплавленого металу в тиглі печі, що рухає його до форми.

Виливки мають високу точність, малу шорсткість поверхні.

Недолік – обмеженість розмірів виливків.

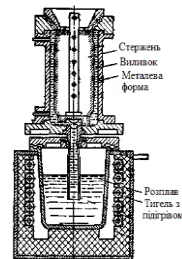


Рисунок 3.17 – Схема лиття під низьким тиском

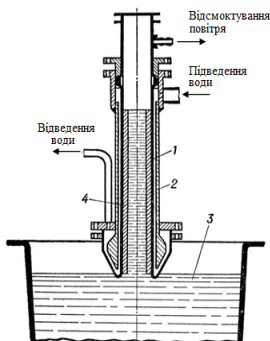


Рисунок 3.18 – Схема лиття вакуумним усмоктуванням

до газових раковин і пористості, оскільки виливок утворюється при послідовній кристалізації.

3.6.5. Лиття під високим тиском

У цей спосіб одержують виливки з алюмінієвих сплавів, сталі та чавуну складної конфігурації, з тонкими стінками, зі сплавів із поганою рідкоплавкістю.

Форми для лиття під тиском називаються прес-формами.

3.6.6. Лиття за моделями, що виплавляються

Моделі можна виготовляти з матеріалів, що випаляються, розчиняються, газифікуються (полістирол, легкорозчинні солі на поліефірного спирту тощо).

3.6.4. Лиття вакуумним усмоктуванням

У формі створюється розрідження, і метал заповнює форму, утворюючи при затвердінні виливок.

Цим способом виготовляють різноманітні втулки, кільця, гайки, дрібні зубчасті колеса та інші вироби, здебільшого з мідних сплавів.

Перевагою зазначеного способу є усунення браку що-

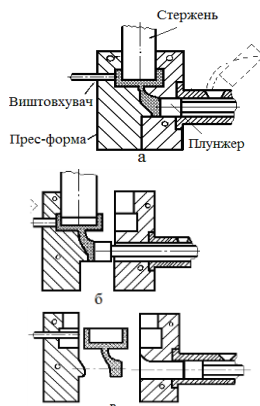


Рисунок 3.19 – Технологічні етапи лиття у прес-форму

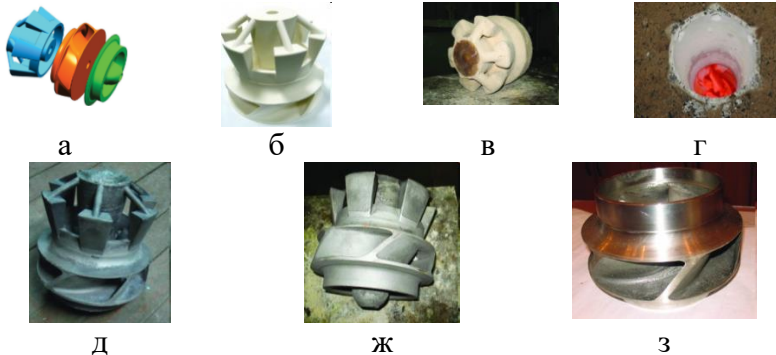


Рисунок 3.20– Етапи технології отримання виливка литтям за моделями, що виплавляються

Модель не видаляється в процесі формування. Модель ливникової системи створюється одночасно з моделлю деталі. Виливки мають високу якість, що забезпечує зниження частки механічної обробки.

Технологічний процес передбачає:

- виготовлення моделі разом із ливниковою системою з парафіну (у прес-формі, 3D-друк) (рис. 3.20 а, б);
- виготовлення форми шляхом покриття сумішшю піску та рідкого скла (рис. 3.20 в);
- виплавляння моделі та прожарювання форми;
- заливання форм (рис. 3.20 г);
- вибивання (рис. 3.20 д) та очищення виливків (рис. 3.20 ж);
- механічна обробка виливка та отримання деталі (рис. 3.20 з).

Різновидом такого процесу є лиття за моделями, що газифікуються, – коли модель видаляється (газифікується) безпосередньо під час заливання рідкого металу.

3.6.7. Лиття в оболонкові форми

Цей спосіб лиття є різновидом лиття в разові піщані форми, забезпечує отримання виливка з високою якістю поверхні.

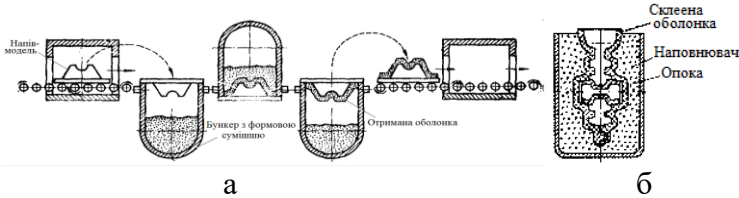


Рисунок 3.21 – Етапи утворення оболонки (а) і складена оболонкова форма (б)

Оболонкові форми виготовляють із суміші, що складається з кварцового піску і синтетичної смоли.

Напівоболонки склеюються між собою.

3.6.8. Електрошлакове лиття

При електрошлаковому литті плавлення металу заповнення ним ливарної форми і кристалізація виливка проходять безперервно й одночасно.

Метал, що проходить через розплавлений шлак, інтенсивно очищується і стікає у форму певної конфігурації.

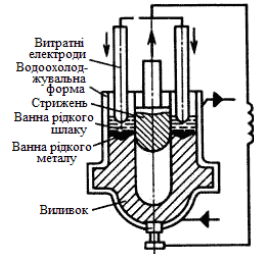


Рисунок 3.22 – Схема електрошлакового лиття

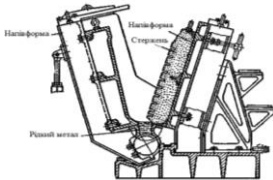


Рисунок 3.23 – Форма для лиття вичавлюванням

Виливки мають високу якість, щільність.

3.6.9. Лиття вичавлюванням

Перевагами способу лиття вичавлюванням є: можливість отримання великогабаритних тонкостінних виливків; відсутність ливникової системи; можливість вичавлювання металу у форму в суспензійному стані (при температурах між солідусом і ліквідусом).

Спосіб має знижену точність розмірів виливків (порівняно з литтям у металеві форми) через неточну стиковку напівформ; низький вихід придатного литва (25–50 %).

3.7. Післяопераційна обробка виливків

Після остигання виливка у формі згідно з технологією:

- витрушують із форми на вібраційних столах;
- очищують від припаленої формової суміші пневматичним інструментом, піском, дробом, у галтувальних барабанах, видаляють (обробують) ливникову систему, додатки тощо в механічний спосіб або газовим різанням.

Контроль виливків спочатку здійснюють візуально для виявлення дефектів. Суцільність металу перевіряють гідравлічними випробуваннями водою під тиском до 200 МПа.

Дефекти можуть бути виправні та невивправні.

За розташуванням дефекти поділяють на зовнішні та внутрішні.

Внутрішніми дефектами є усадкові та газові раковини, тріщини гарячі й холодні, шлакові вкраплення.

Зовнішніми дефектами є тріщини, раковини, перекіс, пригар, недоливання металу, переливання, короблення.

Причинами дефектів є порушення технології виготовлення форм, стержнів, одержання рідкого металу, його заливання, приготування формових і стержневих сумішей та ін.

Для виявлення дефектів виливків проводять зовнішній огляд, рентгеноскопію, магнітну дефектоскопію, ультразвукові дослідження тощо.

Є руйнівні методи контролю. Такі випробування вибіркові або за «зразками-свідками».

Виправлення дефектів в лиття проводять:

- наплавленням;
- заварюванням;
- замащуванням;
- просочуванням (бакелітовим лаком);
- термічною обробкою;
- металізацією (напилюють краплі рідкого металу) та в інший спосіб.

3.8. Вибір технологічного способу лиття

Правильно вибрати спосіб отримання заготовки – означає визначити раціональний технологічний процес її отримання з урахуванням матеріалу деталі, вимог до точності її виготовлення, технічних умов, експлуатаційних характеристик і серійності. Відповідність цим вимогам і є технологічністю заготовки.

Застосовність способів лиття визначають, ураховуючи:

1. Технологічні властивості сплаву.

При зниженій рідкоплавкості не рекомендують застосовувати литво в металеві форми.

При високій схильності до усадки не рекомендоване литво в металеві форми, що мають низьку податливість, а також литво під тиском через складність прес-форми.

2. Можливості способів для отримання виливків без дефектів ливарного походження і для забезпечення рівномірної дрібнозернистої структури, високих механічних властивостей.

3. Технологічність конструкції деталі щодо кожного зазначеного способу.

Складні за конфігурацією виливки одержують литтям під тиском, за моделями, що виплавляються, в піщаних формах.

Литтям у кокіль одержують виливки з простою зовнішньою конфігурацією,

Відцентровим литтям – виливки типу тіл обертання.

Найбільш тонкостінні виливки одержують литтям за моделями, що виплавляються, і литтям під тиском.

Спеціальні способи лиття застосовують для отримання дрібних і середніх виливків

Під час лиття в піщані форми габарити й маса виливків не обмежені.

4. Спеціальні способи лиття доцільно застосовувати у великосерійному і масовому виробництві.

5. Необхідно враховувати можливості наявного устаткування, рівень ливарної технології та технології механічної обробки.

6. Найточнішим показником, що визначає ефективність застосування того або іншого способу, є собівартість.

Питання до розділу 3

1. Дайте визначення основних ливарних властивостей сплавів.
2. Опишіть ливарні властивості чавунів та сталей.
3. Опишіть ливарні властивості сталей, алюмінієвих та мідних сплавів.
4. Дайте характеристику плавильних агрегатів ливарних цехів.
5. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям у піщано-глинясту форму.
6. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «відцентровим литтям».
7. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків в оболонкові форми.
8. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків у кокілях.
9. Дайте оцінку технологічним можливостям формування шаблонами.
10. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання форми вакуумним формуванням.
11. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям під високим тиском.
12. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям під низьким тиском.
13. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям вакуумним усмоктуванням.
14. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання форми зі стержнів.
15. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання форми безопоковим формуванням.
16. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям за моделями, що виплавляються.

17. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям вичавлюванням.

18. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків електрошлаковим литтям.

19. Охарактеризуйте ливарні властивості чорних та основних кольорових металів і сплавів на їх основі.

20. Контроль якості виливків. Дефекти, їх виправлення.

4. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ

4.1. Загальна характеристика обробки металів тиском (ОМТ)

Обробка металів тиском базується на здатності металів за певних умов набувати пластичної (залишкової) деформації під дією зовнішніх сил.

Повна деформація тіла у момент дії навантаження складається з пружної (що виникає першою) і пластичної (залишкової) деформацій.

Вирішальний вплив на пластичність чинять дефекти кристалічної будови: точкові та лінійні.

4.2. Вплив факторів на процеси обробки тиском металів

На процеси деформування і руйнування металів впливають: схема навантаженого стану, хімічний і фазовий склад, температура, швидкість деформування.

Технологічні властивості металів визначають можливість, неможливість або часткову можливість тих чи інших металів (матеріалів) формозмінюватися під впливом зовнішніх сил. *Певні сплави (чавуни, силумін тощо) мають практично нульову пластичність, отже, отримати з них заготовку пластичним деформуванням або неможливо взагалі, або можливо лише за спеціальними схемами деформування.*

Ковкість – це властивість металу змінювати свою форму під дією ударів або тиску, не руйнуючись. У ковких металів відносно висока пластичність і низький опір деформуванню.

Пластичність – здатність матеріалу незворотно змінювати свою форму й розміри під час деформування.

Пластичність прямо залежить від хімічного складу матеріалу – з підвищенням вмісту вуглецю в сталі пластичність падає.

Певні хімічні елементи здатні підвищувати, інші – зменшувати пластичність, ковкість.

Опір деформуванню (σ_s) – сума внутрішніх сил, що перешкоджають формозміні. На опір деформуванню впливають температура, швидкість і ступінь деформування, характер напруженого стану, тертя.

4.3. Температурно-швидкісні умови пластичного деформування

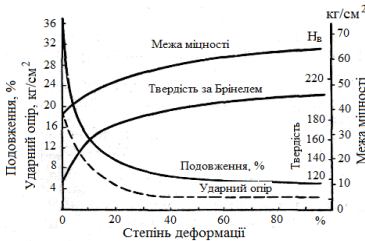


Рисунок 4.1 – Вплив холодної деформації на механічні властивості низьковуглецевої сталі

Характер пластичної деформації залежить від співвідношення процесів зміцнення і знеміцнення (рекристалізації). Розрізняють деформації: холодну, гарячу, неповну холодну, неповну гарячу.

4.3.1. Холодна ОМТ

Холодне пластичне деформування (ПД) проходить при температурах, нижчих 0,4 температури плавлення (для чистих металів). Зерна видовжуються, утворюється волокниста структура (текстура), підвищуються міцність, пружність і твердість металу – це на-

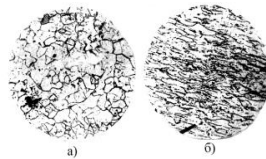


Рисунок 4.2 – Мікроструктура низьковуглецевої сталі: а – до холодної деформації; б – після холодної деформації

зивається явищем *наклепу*. Наклеп може бути усунений відпалюванням.

Волокнистість структури виникає від витягування в напрямку течії металу неметалевих вкраплень на межах зерен. Волокнистість істотно впливає на механічні властивості й не знімається термічною обробкою.

4.3.2. Гаряча ОМТ

Гаряча деформація – деформація, вища за температуру рекристалізації (для чистих металів $T_{рк} \approx 0,4T_{пл}$), після якої метал не набуває зміцнення. *Рекристалізація* (зародження і зростання нових зерен у твердому металі) встигає пройти повністю, нові рівновісні зерна повністю замінюють деформовані зерна, спотворення кристалічних решіток відсутні.

Гаряча обробка металів тиском має переваги:

- складові металу розподіляються більш рівномірно, ніж до обробки;
- зменшуються розміри зерен, що призводить до поліпшення механічних властивостей;
- метал стає більш суцільним унаслідок зварювання та спресовування газових порожнин і нещільностей.

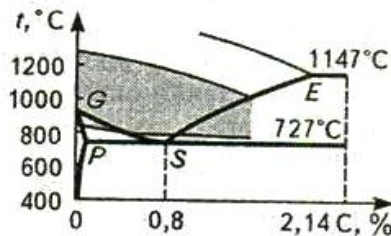


Рисунок 4.3 – Нагрівання для гарячої обробки тиском

4.4. Вплив обробки тиском на макроструктуру та властивості виробу

Як уже зазначалося, волокна, утворені пластичним деформуванням металу, істотно впливають на механічні властивості в різних напрямках (анізотропія).

Правильне розміщення волокон при обробці тиском дозволяє істотно підвищити механічні властивості виробу.

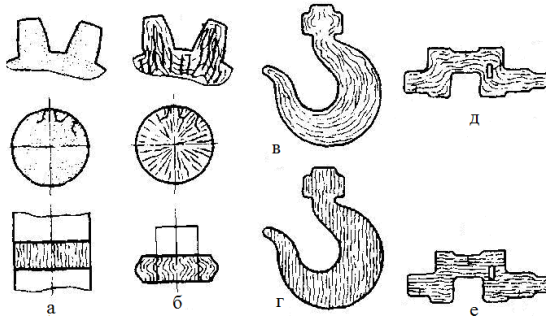


Рисунок 4.4 – Вплив перерозподілу волокон у металі після обробки тиском : а, г, е – неправильно (лише шляхом механічної обробки заготовки); б, в, д – правильно (шляхом попереднього пластичного деформування заготовки)

Унаслідок пластичного деформування можна як сформувати волокнисту структуру, так і правильно розташувати ці «волокна», додаючи заготовці (виробу) міцності.

Для досягнення найвищих механічних показників заготовку обов'язково проковують (кують), перерозподіляючи метал заготовки пластичним деформуванням. Особливо це стосується легованих сталей з високим вмістом вуглецю.

Унаслідок кування отримують заготовки – *поковки*, які, як правило, відрізняються від деталей на величину припусків на механічну обробку, технологічних припусків (напусків, ухилів тощо). Чим досконаліша технологія, тим менші припуски.

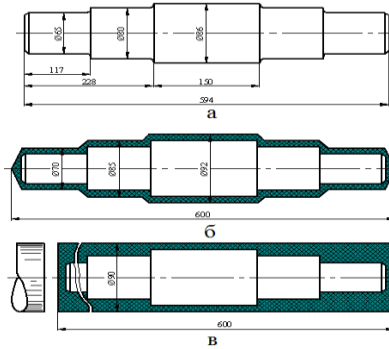


Рисунок 4.5 – Схема отримання деталі (а) з поковки (б) та з прокату (в)

4.5 Нагрівання металу перед обробкою тиском

Використовують печі камерні, методичні, індукційного, контактного нагрівання.



Рисунок 4.6 – Камерна піч

Камерні печі

Бувають полуменевого нагрівання та електронагрівальні. Є періодичної дії для одиничного виробництва або для габаритних заготовок. Тут заготовка(и) залишається нерухомою впродовж нагрівання.

Методичні печі

Бувають полуменевого нагрівання та електронагрівальні. Є безперервної дії, коли заготовки рухаються

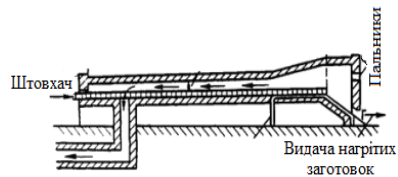


Рисунок 4.7 – Методична піч

всередині печі від завантажувального вікна до вивантажувального і поступово прогриваються.

Печі індукційного нагрівання

Це високошвидкісні нагрівачі негабаритних заготовок за рахунок виникнення вихрових струмів у електромагнітному полі високої частоти. Потребують складного обладнання і налаштування.

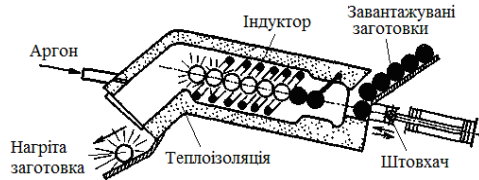


Рисунок 4.8 – Індукційний нагрівальний пристрій

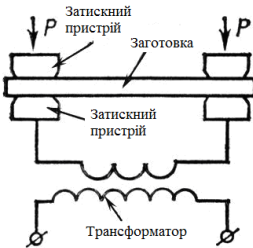


Рисунок 4.9 – Схема електрорезонансного нагрівання

Печі електроконтактного нагрівання

Високошвидкісне нагрівання негабаритних заготовок відбувається за рахунок внутрішнього електричного опору заготовки під час пропускання крізь неї струму високої сили.

4.6. Класифікація видів обробки металів тиском

Є методи отримання заготовок постійного поперечного перерізу по довжині – прокатування, волочіння, пресування.

Є методи отримання заготовок змінного поперечного перерізу по довжині – кування, штампування.

Прокатування – ротаційне обтискання валками, що обертаються.

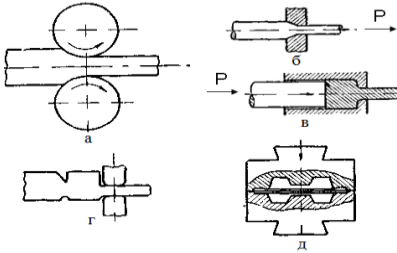


Рисунок 4.10 – Схеми обробки заготовок тиском: а – прокатування; б – волочіння; в – пресування; г – кування; д – штампування

Різання в порожнині інструмента.

Обов'язковою умовою, що вирізняє прокатування з-поміж інших процесів, – це рушійний пристрій, що надає обертового моменту валкам.

Прокатуванню піддають до 90 % усього об'єму сталі, що виплавляється, і більшу частину кольорових металів.

Волочіння – витягування металу з порожнини інструмента.

Пресування – видавлювання металу з порожнини інструмента.

Кування – стискання між площинами інструмента.

Штампування – деформація металу, що призводить до його розтікання в порожнині інструмента.

4.7. Характеристика прокатного виробництва

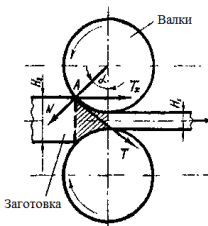


Рисунок 4.11 – Схема поздовжнього прокатування

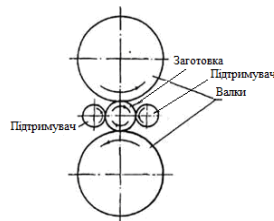


Рисунок 4.12 – Схема поперечного прокатування

Деформування під час прокатування відбувається у прокатному стані. Розрізняють поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове прокатування.

4.7.1. Поздовжнє прокатування

Валки обертаються назустріч один одному, деформуючи заготовку, яка втягується в зазор між валками силою тертя (сила T). Одночасно на заготовку діє сила тиску (сила N).

4.7.2. Поперечне прокатування

Валки обертаються в один бік й осі їх паралельні, а заготовка деформується ними під час обертання навколо своєї осі.

За схемою поперечного прокатування виготовляють осі, вали (поперечно-клиновим прокатуванням), зубчасті колеса, зірочки тощо.

4.7.3. Поперечно-гвинтове прокатування

Валки обертаються в один бік, осі їх розміщені під деяким кутом, а заготовка обертається й одночасно переміщується вздовж своєї осі.

За цією схемою виготовляють безшовні труби, кульки, втулки тощо.

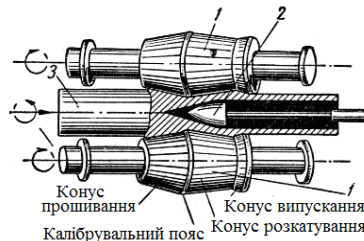


Рисунок 4.13 – Схема поперечно-гвинтового прокатування – отримання гільзи для безшовної труби

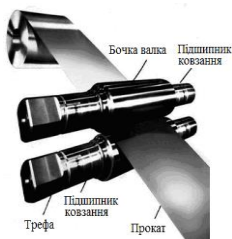


Рисунок 4.14 – Схема отримання листового прокату на гладких валках

Залежно від профілю виробу, що прокатується, валки можуть бути:

- гладкі, використовувані для прокатування листів, стрічок;
- рівчаків (з калібрами) для виготовлення складних профілів.

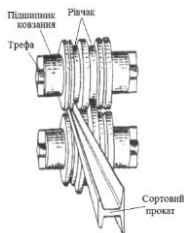


Рисунок 4.15 – Схема отримання сортового прокату на рівчачових валках

4.8. Продукція прокатного виробництва

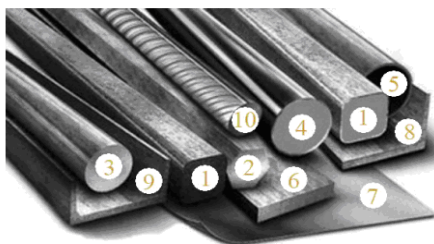


Рисунок 4.16 – Сортамент прокату: 1 – квадрат; 2 – шестикутник; 3 – пруток; 4 – круг; 5 – труба; 6 – стрічка; 7 – лист; 8 – кутик; 9 – швелер; 10 – арматурний профіль

Це сортовий, листовий, трубний і спеціальний прокат.

Сортовий прокат є простим і фасонним.

Простий – круг, квадрат, шестикутник, трикутник, еліпс у поперечному перерізі. Фасонний – кутик, швелер, тавр, двотавр, арматура тощо.

Листовий прокат є тонколистовим (покрівельна сталь, трансформаторна, електротехнічна), товстоли-

товий (резервуарна сталь, котельна, броньова). Є ще фольга і широкосмугова сталь.

Трубний прокат – це зварні й безшовні труби. Крім того, виробляють труби фасонні й змінного перерізу.

Спеціальний прокат – зубчасті колеса, вагонні колеса, кулі, гвинти, шнеки, періодичні, гнуті профілі, кільця, осі, бандажі тощо.

4.9. Технологія виробництва основних видів прокату

Технології отримання прокату зі сталі мають багато спільного і можуть бути узагальнені такою схемою:



Рисунок 4.17 – Загальна схема технологічного процесу прокатування

4.9.1. Технологія отримання листового прокату

Зливки масою до 45 т металу спочатку прокатують на обтискних станах – слябінгах із довжиною бочки до 3000 мм. Отримують напівфабрикат – сляби ($S = 300 \times$

х 1600 мм) для подальшого прокатування на заготовку для листів.

Сляб прокатують (після другого нагрівання) в товстий лист на станах із двома робочими клітями (чорною і чистою), розміщеними одна за одною. Перед чорною кліттю збивають окалину (невеликим обтиском і водою під тиском до 12 МН/м²).

Отримують *товстолистову* заготовку для обробки на листових станах.

Тонкі листи прокатують як гарячими, так і холодними. Катають у безперервних станах, що складаються з двох груп робочих клітей, – чорного і чистового.

Листи тонше 2 мм отримують холодним прокатуванням. Це забезпечує високу якість поверхні, точність за товщиною, проте потребує високої жорсткості валків, що забезпечується багатовалковими клітями, де лише два валки є робочими.

Після холодного прокатування матеріал відпалюють у захисних газах, обрізають кромки, розрізають.

4.9.2. Технологія отримання гнутих профілів

Гнуті профілі отримують шляхом холодного згинання сталюого листа або стрічки (штрипсу). Штрипс отримують, розрізаючи листову сталь дисковими ножами.

Такі гнуті профілі отримують у багатоклітьовому стані шляхом послідовного згинання стрічки.

У будівництві використовують гнуті профілі у вигляді швелерів, деталей таврового перерізу. Ефективно використовувати гнуті профілі в огорожувальних будівельних конструкціях.

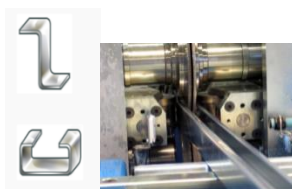


Рисунок 4.18 – Отримання гнутих профілів

4.9.3. Технологія отримання сортового прокату

Вихідною заготовкою при прокатуванні є сталеві зливки масою до 60 т.

Спочатку зливок у гарячому стані прокатується на великих обтискних дуостанах – блюмінгах із валками діаметром 800–1400 мм на заготовки-напівфабрикати квадратного перерізу, що мають назву блюмів ($S = 450 \times 450$ мм); вони є напівфабрикатом для подальшого прокатування сортових профілів.

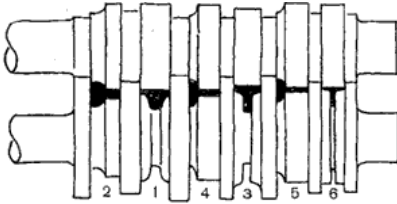


Рисунок 4.19 – Схема калібрування таврового профілю у багаторівчачковому валку, цифри показують послідовність калібрів

Далі блюми прокатують на сортових станах, у яких заготовка послідовно проходить через ряд калібрів (каліструється). Після прокатування отримані вироби відрізають на необхідні за довжиною і правлять (рихтують, калібрують) у холодному стані.

4.9.4. Технологія виготовлення труб

Розрізняють труби шовні (загального призначення) і безшовні (для високонавантажених конструкцій, можуть витримувати високий тиск).

Технологія безшовних труб

Першою операцією отримання безшовних труб є прошивання – утворення отвору в круглому прокаті. Заготовка завдяки трьом валкам, що мають осі, розташовані під кутом, набуває одночасно обертальної і поступальної ходи, виникають радіальні розтягувальні напруження, які полегшують прошивання отвору оправкою, що встановлена на шляху руху заготовки.

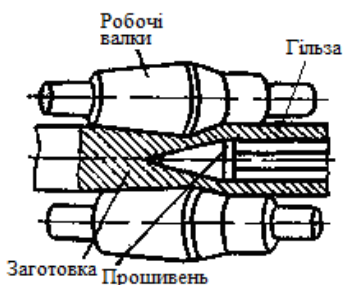


Рисунок 4.20 – Схема поперечно-гвинтового прокату (отримання гільзи безшовної труби)

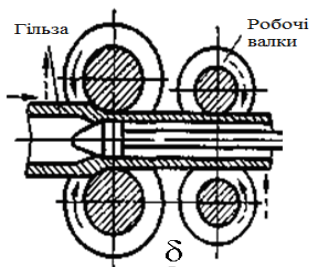


Рисунок 4.21 – Автоматичний стан для розкатування гільзи безшовної труби

Наступною операцією є прокатування отриманої заготовки-гільзи в трубу потрібного діаметра і товщини стінки на автоматичних і пілігримових (періодичних) станах – заготовці задають зворотно-поступальний рух із прокручуванням.

Витягування труби при розкатуванні на пілігримових станах становить 10–14, в той час як на автоматичних станах витяжка не перевищує 5.

Остаточно труба калібрується незначним обтисканням.

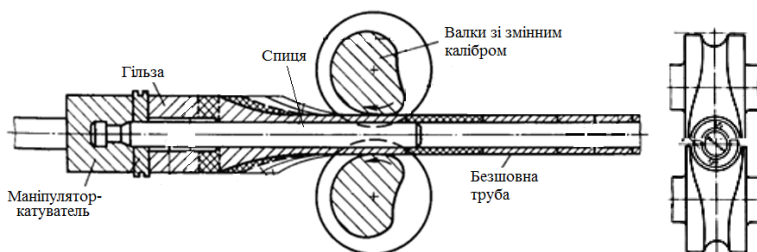


Рисунок 4.22 – Пілігримовий стан

Технологія шовних труб

Шовні труби одержують із плоскої заготовки – стрічки (штрипса) або з листів, ширина яких відповідає довжині кола труби.

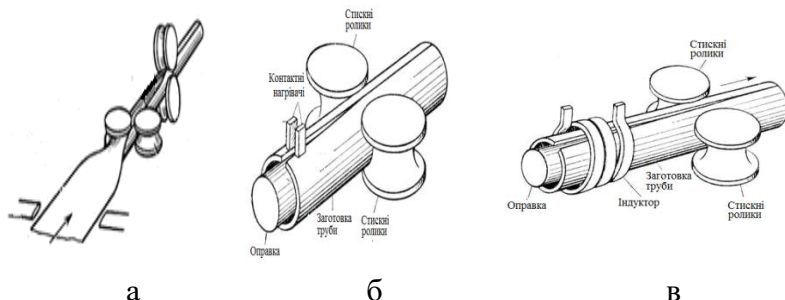


Рисунок 4.23– Технологія отримання шовної труби: а – схема згортання труби зі штрипсу; б – зварювання стиків контактним нагріванням; в – зварювання стиків індукційним нагріванням

Трубу виготовляють за такою технологією:

- формування плоскої заготовки в трубу;
- зварювання труби (пічне зварювання, індукційне, контактне);
- обробка та калібрування.

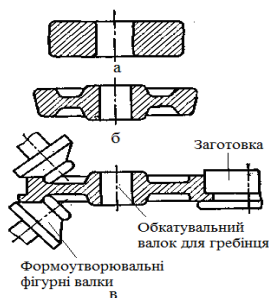


Рисунок 4.24 – Схема отримання заготовки вагонного колеса: а – поковка; б – штампована поковка; в – розкатування

4.9.5. Технологія виготовлення спеціального прокату

До спеціального прокату відносять прокат, що не ввійшов до класифікації, а саме: бандажі, кільця, колеса, кульки, періодичний профіль тощо.

Виготовлення залізничних коліс

Початковою заготовкою є зливки або прокат круглого перерізу. Після нагрівання заготовку осаджують на гідравлічному пресі й прошивають отвір; потім на пресі формують маточину, диск і контур обода.

Отримана заготовка надходить на колесопрокатний (розкатувальний) стан, де розкатують диск, обід і остаточно формують гребінець на ободі колеса.

Виготовлення кілець і бандажів

Початковою заготовкою є прокат круглого перерізу. Після нагрівання заготовку осаджують й прошивають отвір.

Отримана заготовка надходить на кільцезрозкатувальний стан, де кільце розкатують на потрібний діаметр (для підшипникових кілець формують також бігову доріжку для кульок).

Прокатування періодичних профілів

Періодичний профіль – прокат зі змінним поперечним перерізом. Застосовують його як фасонну заготовку для подальшого штампування і як заготовку під остаточно механічну обробку.

Періодичні профілі виготовляють:

- поперечним (поперечно-клиновим) прокатуванням;
- поперечно-гвинтовим прокатуванням;
- прокатуванням на періодичних станах.

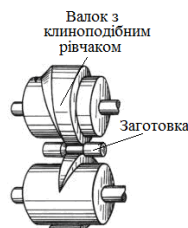


Рисунок 4.25 – Поперечно-клинове прокатування осі

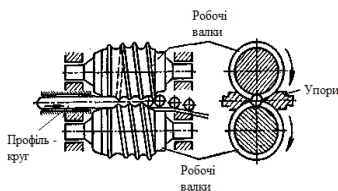


Рисунок 4.26 – Схема отримання заготовок – кульок

Виготовлення заготовок – кульок

Технологія отримання кульок базується на обробці за схемою поперечного чи поперечно-гвинтового прокатування.

Валки обертаються в один бік. Рівчаки валків відповідної форми зроблено по гвинтовій лінії.

Заготовка при прокатуванні набуває обертальної та поступальної ходи.

Технологія отримання кульок базується на обробці за схемою поперечного чи поперечно-гвинтового прокатування.

4.10. Технологія пресування

Під час пресування метал витискають пуансоном із контейнера через калібрований отвір у матриці, що відповідає перерізу отриманого виробу.

Пресуванням виготовляють суцільні й порожнисті вироби також складного профілю з алюмінію, міді, титану, цинку, з вуглецевих і легуваних сталей, оскільки діє схема всебічного стискування.

Пресування інколи є єдиним способом виготовлення виробів складного профілю.

Пресують, як правило, в гарячому стані двома методами:

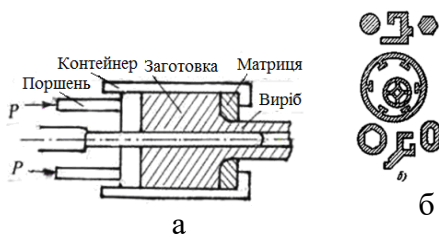


Рисунок 4.27 – Схема прямого пресування (а) та приклад пресованих профілів

- прямим пресуванням – напрямком виходу металу крізь отвір у матриці збігається з напрямком руху пуансона.

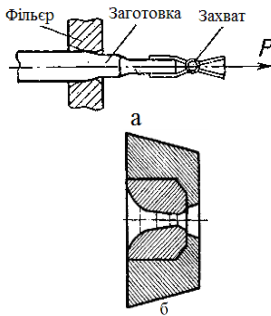


Рисунок 4.28 – Схема волочіння (а) та профіль отвору філь'єри (б)

точних розмірів, високої якості поверхні отриманих виробів.

Інструментом волочіння є волочильна дошка (волока, матриця, фільєра). Волочінням отримують дрід діаметром 0,002–10 мм, капілярні трубки, калібровані прутки та фасонні профілі.

Волочіння пустотілих заготовок проводять на ланцюговому волочильному стані, простого суцільного перерізу – на барабанних.

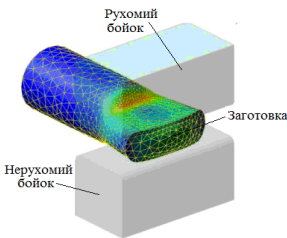


Рисунок 4.29 – Схема операції кування – «роздавання»

Гріту заготовку укладають на нижній бойок і універсальним інструментом – верхнім бойком послідовно деформують на окремих ділянках заготовки.

- зворотним пресуванням – напрямком виходу металу крізь отвір у матриці не збігається з напрямком руху пуансона.

4.11. Технологія волочіння

Під час волочіння прокатні або пресовані заготовки протягують через отвір певного перерізу. Таким чином, дістають

4.12. Технологія кування

Кування – вид гарячої обробки металів тиском, при якому метал деформується за допомогою універсального інструменту. Нагріту заготовку укладають на нижній бойок і універсальним інструментом – верхнім бойком послідовно деформують на окремих ділянках заготовки.

Метал вільно тече в боки, не обмежені робочими поверхнями інструменту.

Заготовки, що отримують, називають поковками. Поковка відрізняється від деталі припуском.

Куванням одержують поковки в одиничному виробництві або великогабаритні.

До операцій кування відносять: осадження, висадження, прошивання, згинання, протягування, кування на круг, роздавання, протягування на оправці, розкатування на оправці, рубання, скручування, передавання металу тощо.

У разі складної форми поковки, під час кування застосовують підкладений інструмент – кільця, універсальні штампи тощо.

Під час кування застосовують машини динамічної дії – молоти та машини статичної дії – преси.

У молотах заготовка деформується енергією падіння рухомої частини молота – баби (повітряні) й, додатково, тиску пари (пароповітряні). Молоти завдають удари енергією до 200 кДж.

У пресах деформування заготовки відбувається за рахунок енергії тиску рідини (в гідравлічних), важелів (у кривошипних) тощо.

Преси розвивають зусилля від 5 до 100 МН.

4.12.1. Спеціальні способи кування

До спеціальних способів кування відносять обробку заготовок на радіально-кувальних (чотирибойкових) машинах, ротаційно-кувальних машинах.

Радіально-кувальні (чотирибойкові) машини РКМ

Таке компонування бойків створює умови, схожі на всебічне обтискання і дозволяє працювати з важкодеформованими матеріалами.

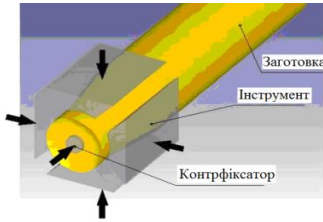


Рисунок 4.30 – Схема радіально-кувальної машини РКМ

За рахунок чотирибічного обтискання бічне розширення металу мінімальне. Тому потрібно менше циклів обтисків та кантувань заготовки. Це приводить до підвищення продуктивності процесу кування.

Ротаційно-кувальна машина

Процес обтискання характеризується часто повторюваними ударами бойків (до 800 на хвилину) з невеликою амплітудою під час обертання ротора по виступах на статорі. За схемою обтиску нагадує радіально-кувальну машину.

Обробляються складнодеформовані матеріали – швидкорізальні, леговані сталі; металокераміка тощо.

Типовими поковками, що виготовляються радіальним обтисканням, є тіла обертання: конічні вали, спиці, голки, труби з відтягнутими на конус кінцями тощо.

Під час кування двома бойками (за традиційною технологією) після кожного обтиску є значне бічне розширення металу, що знижує інтенсивність витяжки заготовки у напрямі її подовжньої осі. Це призводить до значної витрати часу на кантування, додаткові операції.

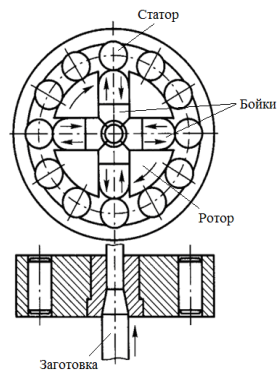


Рисунок 4.31 – Схема ротаційно-кувальної машини

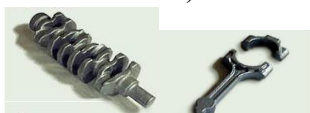
4.13. Технологія штампування

Основною перевагою штампування є отримання однакових за формою, розмірами заготовок у значній кількості в один (декілька) рухів спеціального інструмента (штампа). Штампуванням одержують заготовки в серійному виробництві, оскільки штамп є складним і дорогим інструментом.

Розрізняють штампування об'ємне і листове. При об'ємному штампуванні вхідною заготовкою є зливков або сортовий прокат (поковка). При листовому штампуванні вхідною заготовкою є листовий прокат.



а)



б)

Рисунок 4.32 – Заготовки, отримані листовим (а) та об'ємним (б) штампуванням

Об'ємне і листове штампування може бути холодним і гарячим.

Переважно для чорних металів при об'ємному штампуванні використовується нагрівання до температур, коли знімається зміцнення від ПД. Для листових чорних металів при листовому штампуванні нагрівання застосовують при товщині заготовки вищій за 10 мм.

4.13.1. Гаряче об'ємне штампування (ГОШ)

Формоутворення при ГОШ здійснюється примусовим перерозподілом металу нагрітої заготовки в спеціальному інструменті – штампі, що складається із частин – напівматриць. Течія металу обмежується поверхнями порожнини штампа. Заготовка, поміщена в робочу порожнину штампа, пластично деформується, набуваючи конфігурації та розмірів порожнини.

Заготовки, що отримують, називають штампованими поковками. Штампована поковка на відміну від кованої має менші припуски на механічну обробку.

Розрізняють штампування у відкритих і закритих штампах.

Штампуванням у відкритих штампах одержують поковки з облоєм у місці рознімання штампа. Метод має недоліки: витрати металу на облой, введення операцій на обрізання облою, додаткові енергетичні витрати.

Штампування в закритих штампах – спосіб одержання штамповок без відходів з доброю мікроструктурою з навіть малопластичних матеріалів завдяки всебічному тиску. Проте потрібен точний розрахунок об'єму і стійкість штампів невисока.

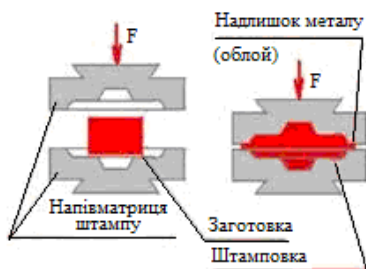
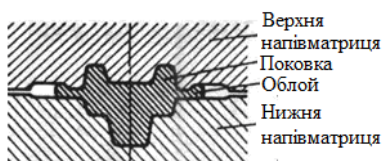
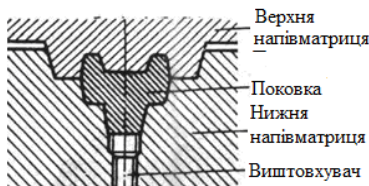
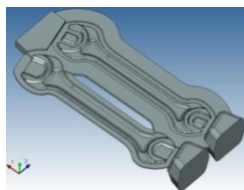


Рисунок 4.33 – Схема об'ємного штампування



а



б

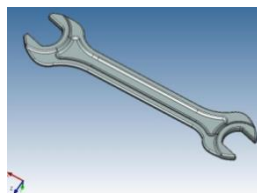


Рисунок 4.34 – Відмінності відкритого та закритого штампування

Спосіб гарячого об'ємного штампування обирають з урахуванням програми випуску і характеристик оброблюваного матеріалу. Штампи виготовляють із дорогої штампової сталі, легованої хромом, нікелем, вольфрамом, молібденом, ванадієм після термічної обробки. Стійкість гарячих штамів невелика – 3000 - 10000 шт. поковок, тому гаряче штампування вигідне лише для достатньо великих партій деталей (тисяч і десятків тисяч штук).

Складні поковки (зі змінами перерізів за довжиною, вигнутою віссю і т. п.) штампують за декілька переходів у складних багаторівчачових штампах.

Обладнання для штампування

Штампування здійснюють на різних машинах: штампувальних молотах, кривошипних гарячештампованих пресах, гідравлічних і фрикційних пресах, горизонтально-кувальних і горизонтально-згинальних машинах, ковальських вальцях тощо. Штампувальні молоти відрізняються від ковальських більшою жорсткістю – шабот зв'язаний зі станиною.

4.13.2. Штампування видавлюванням

Характеризується тим, що метал видавлюється із замкненої порожнини (матриці) поршнем (пуансоном).

Для видавлювання зазвичай застосовують високопластичні метали – алюміній, мідь. У більшості випадків видавлювання проводять без нагрівання.

При видавлюванні отримуємо напівфабрикат змінного перерізу, що потребує подальшої обробки, – бляшанки, туби для фарб, паст тощо (на відміну від пресування, коли отримуємо профіль сталого перерізу за довжиною).

Заготовкою слугує рондель – круг, вирубаний з листа.

Залежно від течії металу розрізняють штампування з прямим, зворотним, бічним і комбінованим видавлюванням.

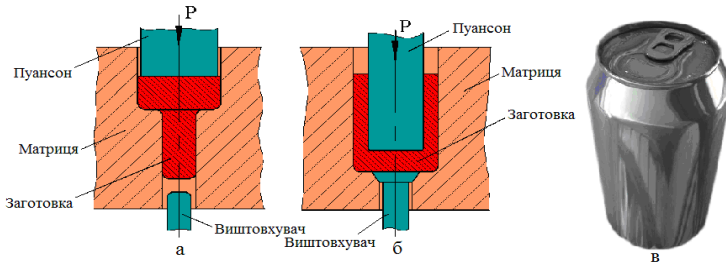


Рисунок 4.35 – Штампування видавлюванням: а – пряме; б – зворотне; в – виріб

4.13.3. Штампування висадженням

Висадження – різновид штампування, коли в штампі осаджується частина заготовки або утворюється в ній місцеве потовщення необхідної форми. Вхідна заготовка (напівфабрикат) – дрід або прутки.



Рисунок 4.36 – Схема штампування висадженням (а) та отримувані заготовки (б)

Прості заготовки з низьковуглецевої нелегованої сталі висаджують у холодному стані.

У разі складної форми штампування проводять у декілька переходів і використовують нагрівання (індукційне, контактне).

Штампуванням на холодновисаджувальних автоматах виготовляють кріплення (метизи) – гвинти, болти, шпильки.

4.13.4. Холодне штампування

Холодне штампування – це процес формоутворення виробів у штампах за кімнатної температури.

Основними різновидами холодного об'ємного штампування є холодне видавлювання, холодне висадження і холодне об'ємне формування (штампування) за схемами, аналогічними ГОШ.

Зважаючи на зміцнення металу внаслідок наклепування, холодне штампування проводять для складних деталей у декілька переходів, із використання рекристалізаційного відпалювання, а також застосовують змащення.

Дозволяє отримати точні розміри деталі й високу якість поверхні, що в деяких випадках не потребує механічної обробки.

4.13.5. Спеціалізовані процеси об'ємного штампування

До спеціалізованих процесів штампування відносять вальцювання, калібрування, ізотермічне штампування, рідке штампування

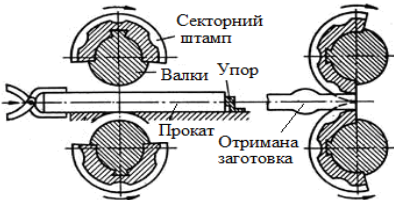


Рисунок 4.37 – Схема штампування на кувальних вальцях

Штампування на кувальних вальцях (вальцювання)

Це спрощена схема штампування, що нагадує подовжене прокатування двома валками із закріпленими секторними штампами. Застосовується для невідповідальних виробів (гайкові ключі, лещата тощо) або для отримання заготовок для подальшої обробки на горизонтально-кувальній машині тощо.

Калібрування або карбування

У такий спосіб підвищують точність і поліпшують якість поверхні штампованих поковок. При калібруванні встановлюється малий (не більше 5–10 %) ступінь деформації (зазвичай без нагрівання).

Ізотермічне штампування

Штампування відбувається в закритих або відкритих штампах, у робочій зоні яких підтримується температура 800–1100°C. Ця технологія знайшла широке застосування для штампування магнієвих, алюмінієвих, а також титанових сплавів.

Завдяки однорідній дрібнозернистій структурі ізотермічне штампування в умовах надпластичності дозволяє одержати деталь за один перехід.

Це знижує витрату матеріалу, на 25–30 % зменшує трудомісткість механічної обробки, підвищує надійність і ресурс виробів.

Рідке штампування

Проводять у штампах, обладнаних порожнинами для заливання рідкого металу і збереження його надлишків. Спосіб схожий на лиття під тиском, проте тут тиск практично відсутній в заключній фазі.

Виготовляють вироби зі сплавів (наприклад, алюмінієвих АК), що володіють підвищеними механічними властивостями, але низькою рідкоплавкістю.

Технологія рідкого штампування дозволяє:

- знизити витрату металу на 30–40 %;
- одержати щільну і дрібнозернисту структуру без дефектів і газової пористості;
- підвищити механічні й фізичні властивості матеріалу на 15–20 %.

4.13.6. Листове штампування

Вхідною заготовкою при листовому штампуванні є листовий метал, і товщина стінок отриманого виробу неістотно відрізняється від товщини початкової заготовки.

Заготовки до 20 мм штампують без підігрівання.

Розрізняють формоутворювальні (згинання, витягування, відбортовування, обтискання) і розділові (відрізкавання, вирубівання і прорубівання) операції листового штампування.

Робочим інструментом при листовому штампуванні є штамп, що має пуансон (виступаюча частина штампа) і матрицю (частина штампа, що має заглибину або отвір).

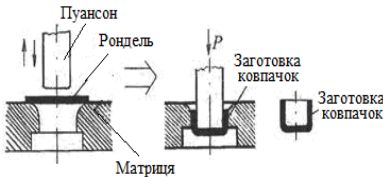


Рисунок 4.38 – Листове штампування (витягування) гільзи, облицювання автомобілів тощо.

Найбільш застосовувані для листового штампування кривошипні преси.

Спрощені схеми листового штампування

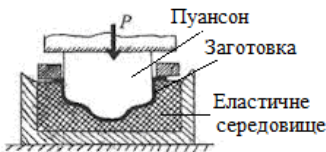


Рисунок 4.39 – Штампування еластичним середовищем

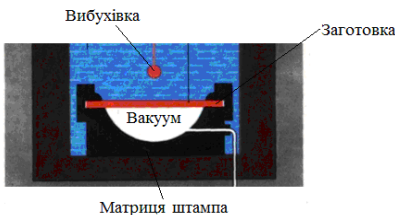
До спрощених способів листового штампування відносять: штампування еластичним середовищем, штампування вибухом, електрогідравлічне штампування, електромагнітне штампування, давильні роботи.

Штампування еластичним середовищем

Замість металевого пуансона або матриці застосовують відповідний еластичний матеріал – гуму або краще поліуретан. Спосіб є актуальним для невідповідальних виробів, що мають велику кількість ребер жорсткості тощо, – каністри, баки тощо.

Штампування вибухом та електрогідравлічне штампування

Це високошвидкісна обробка. Застосовують для низькопластичних матеріалів



або для габаритних виробів. Роль пуансона виконує вода, тому конструкція штампа доволі проста.

Рисунок 4.40 – Схема штампування вибухом

Над заготовкою на визначеній висоті у воді підвищують заряд із детонатором. Від вибуху заряду утвориться ударна хвиля високого тиску. При електрогідравлічному штампуванні через воду пропускають потужний електричний розряд, аналогічний до вибуху.

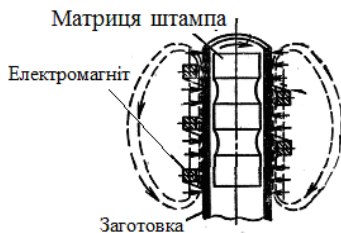


Рисунок 4.41 – Схема електромагнітного штампування

Електромагнітне штампування

Електрична енергія перетворюється в механічну при імпульсному розряді через соленоїд і утворення магнітного поля.

Давильні й давильно-розкатувальні роботи

Давильними процесами отримують порожністі деталі опуклої конфігурації дуже складної форми.

Виконуються на спеціальних верстатах під час обертального руху заготовки (деталі) або інструменту.

Заготовку встановлюють симетрично між оправкою та упором і затискають. Давильний ролик тисне на заготовку, що обертається, послідовно змінюючи її форму. Після закінчення процесу готова деталь має форму оправки.

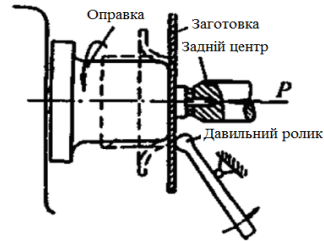


Рисунок 4.42 – Схема давильних робіт

Питання до розділу 4

1. Опишіть вплив зовнішніх та внутрішніх чинників на процеси деформування і руйнування металів.

2. Опишіть зміну структури і властивостей при пластичному деформуванні металів.

3. Наведіть класифікацію (схема) нагрівальних пристроїв для нагрівання заготовок і дайте їм коротку характеристику.

4. Наведіть класифікацію продукції прокатного виробництва.

5. Вкажіть схему поздовжнього прокатування, наведіть приклади деталей, що отримують за такою схемою.

6. Вкажіть схему поперечного прокатування, наведіть приклади деталей, що отримують за такою схемою.

7. Наведіть технологічну схему виробництва сортового прокату.

8. Наведіть технологічну схему виробництва листового прокату.

9. Наведіть технологічну схему виробництва безшовних труб.

10. Наведіть технологічну схему виробництва шовних труб.

11. Опишіть основні технології виготовлення спеціального прокату.

12. Опишіть технологію отримання профілів волочінням.

13. Опишіть технологію отримання профілів пресуванням.

14. Технологія отримання заготовок куванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

15. Технологія отримання заготовок об'ємним штампуванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

16. Технологія отримання заготовок штампуванням, видавлюванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

17. Технологія отримання заготовок штампуванням, висадженням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

18. Технологія отримання заготовок листовим штампуванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

19. Спеціалізовані процеси об'ємного штампування. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

20. Обладнання для кування та штампування. Відмітне та спільне. Переваги та недоліки.

5. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Технологія зварювання має на меті отримання суцільної заготовки нерознімним з'єднанням її з окремих частин. У такий спосіб можна отримати заготовку, наприклад великих розмірів, дістати яку суцільною відразу неможливо через відсутність габаритного технологічного обладнання.

5.1. Фізичні основи одержання зварного з'єднання

Процес зварювання має на меті отримання монолітного з'єднання шляхом установлення зв'язків між атомами деталей, що зварюються на межі їх розділу, на кшталт тим, що діють у твердому тілі.

Для цього потрібно докласти певну енергію. Залежно від типу енергії розрізняють декілька класів зварювання.



Рисунок 5.1 – Класи зварювання

При зварюванні плавленням (термічний клас) енергію для з'єднання атомів отримують шляхом нагрівання. Відбувається розплавлення кромки заготовки, а в разі пот-

реби – також присадного матеріалу. В результаті утвориться загальна зварювальна ванна розплавленого матеріалу, що твердішає, як зварювальний шов.

При зварюванні тиском (механічний клас) енергію для з'єднання атомів отримуємо перетворенням механічної енергії. Заготовки з'єднуються шляхом спільної пластичної деформації з'єднувальних поверхонь при щільному контакті.

5.2. Термічний клас зварювання

Може бути електричним або хімічним залежно від джерела тепла.

Джерелом тепла при дуговому зварюванні є електрична дуга, що горить між двома електродами, – часто один електрод є заготовкою, що зварюється.

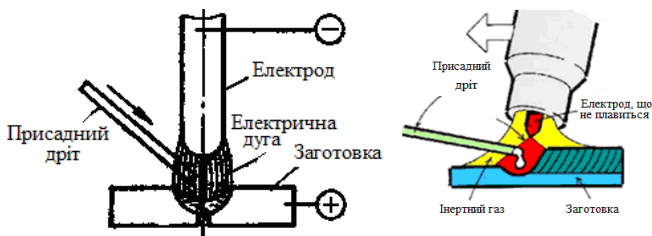


Рисунок 5.2 – Зварювання електродом, що не плавиться (вугільним, вольфрамовим)

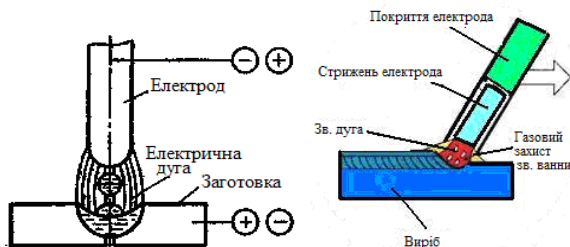


Рисунок 5.3 – Зварювання електродом, що плавиться (металевим)

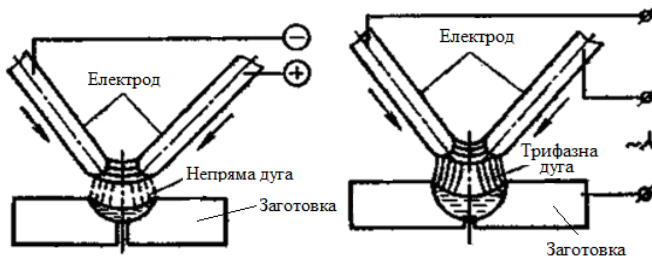


Рисунок 5.4 – Зварювання непрямою дугою, трифазною дугою

Поняття про електричну дугу та її властивості

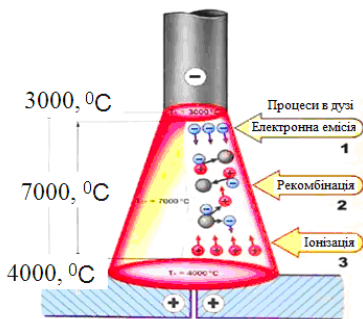


Рисунок 5.5 – Електрична дуга та її параметри

Дуга – потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів і пари металу. Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалювання дуги і безупинно підтримується в процесі її горіння.

Розрізняють пряму та зворотну полярність при зварюванні постійним струмом. Пряма полярність – електрод підключається до негативного полюса і служить катодом. Зворотна полярність – електрод підключається до позитивного і служить анодом.

Джерела зварювального струму

Для живлення зварювальної дуги потрібні джерела із спеціальною зовнішньою характеристикою (залежністю напруги на виході від струму): 1 – спадна, 2 – пологоспадна, 3 – жорстка і 4 – зростаюча.

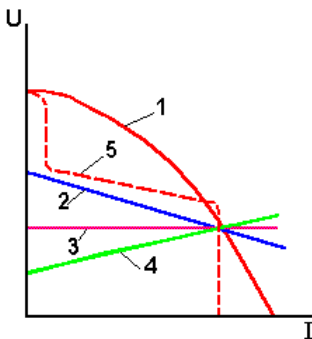


Рисунок 5.6 – Зовнішні характеристики джерел зварювального струму: 1 – спадна; 2 – пологоспадна; 3 – жорстка; 4 – зростаюча; 5 – «ідеальна»

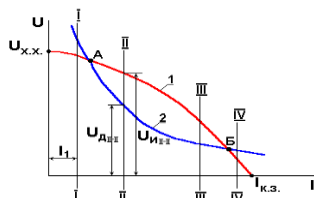


Рисунок 5.7 – Накладена характеристика дуги і спадна характеристика джерела струму: U_{xx} – напруга холостого ходу (дуга не горить); $I_{кз}$ – струм короткого замикання при запаленні дуги; А – точка запалення дуги, Б – точка стабільного горіння дуги

Джерело струму вибирається залежно від вольт-амперної характеристики дуги відповідно до способу зварювання.

Основні вимоги до джерела зварювального струму:

- безпечність для зварювальника;
- стабільність горіння дуги;
- дотримання режиму короткого замикання і регулювання струму дуги.

Застосовують джерела змінного струму (зварювальні трансформатори) і джерела постійного струму (зварювальні генератори та зварювальні випрямлячі).

5.2.1. Ручне дугове зварювання

Зварювальне обладнання ручного дугового зварювання складається з джерела живлення дуги, зварювальних дротів, електродотримача й електродів.

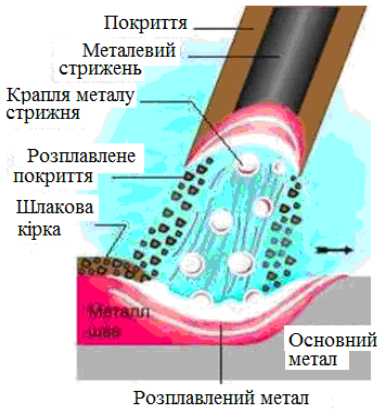


Рисунок 5.8 – Зварювання металевим покритим електродом

Використовують металеві плавкі електроди з покриттям (обмазкою) з діаметром 1,6–12 мм і завдовжки 150–450 мм.

До складу покриття входять:

- стабілізуючі (іонізувальні);
- газоутворювальні;
- шлакоутворювальні;
- розкиснювальні;
- легувальні компоненти.

нти.

Під час ручного зварювання зварювальник маніпулює електродом, підтримуючи задану довжину дуги, подає електрод у дугу, а також рухає його вздовж заготовки.

Переваги ручного електродугового зварювання:

- можливість зварювання в монтажних і цехових умовах;
- різноманітність застосовуваних типів з'єднань;
- можливість зварювання конструкцій різних габаритів;
- широкий діапазон товщини металу, що зварюється;
- можливість зміни хімічного складу наплавленого металу;
- можливість зварювання у будь-яких просторових положеннях.

Недоліки ручного електродугового зварювання.:

- низька продуктивність та важкі умови праці;
- кристалізація металу шва проходить при розтягувальних напруженнях, що є однією з причин утворення тріщин;

- змінюється структура основного металу під впливом нагрівання під час зварювання.

5.2.2. Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу

Зварювання виконують непокритим електродним дротом, дугу і зварювальну ванну захищають флюсом, подача і переміщення електродного дроту механізовані.

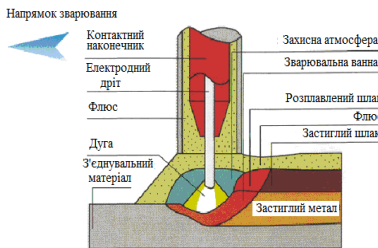


Рисунок 5.9 – Схема автоматичного зварювання під шаром флюсу

Продуктивність у 15–20 разів вища від ручного за рахунок використання великих зварювальних струмів (до 3000 А).

Метал до 20 мм зварюється за один прохід без підготовки кромок.

Переваги:

- надійний захист зварювальної ванни флюсом;

- інтенсивне розкиснення і легування;
- порівняно повільне охолодження;
- поліпшення форми та поверхні зварного шва і сталість його розмірів.

Недоліки:

- можливе лише в нижньому положенні;
- лише для прямолінійних швів і швів невеликої кривизни;
- неможливо спостерігати за процесом горіння дуги.

У деяких випадках можливе застосування напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу. Відрізняється від автоматичного тим, що подача електродного дроту механізована, але переміщення його вздовж шва здійснюється вручну.

Напівавтоматично зварюють короткі та криволінійні шви, які недоцільно зварювати автоматичним зварюванням.

5.2.3. Зварювання в середовищі захисних газів

Під час зварювання в атмосфері захисних газів електрод, зона дуги і зварювальна ванна захищаються струменем захисного газу, що примусово подається у зону зварювання ззовні. Захисні гази зазвичай мають відмінну іонізувальну здатність, що забезпечує стабільність горіння електричної дуги навіть за малих струмів. Є активні захисні газу, що вступають у хімічну реакцію, – вуглекислий газ, азот, водень тощо та інертні – аргон, гелій.

За ступенем механізації зварювання у середовищі захисних газів може бути ручне, автоматичне, напівавтоматичне.

Зварювання в середовищі захисного газу аргону

Аргон – безколірний газ, в 1,38 раза важчий за повітря, не утворює хімічних сполук і не розчинний у рідких і твердих металах.

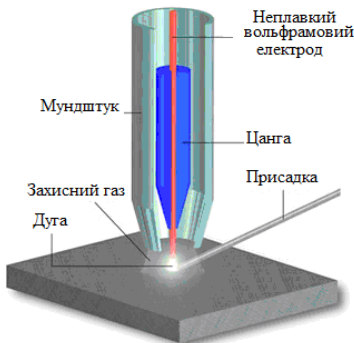


Рисунок 5.10– Зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів

Аргонодугове зварювання застосовують для: алюмінію, магнію, тугоплавких металів і сплавів (титану, ніобію, ванадію, цирконію), конструкційних легированих і високолегированих сталей.

Зберігається аргон у стисненому газоподібному стані в сталевих балонах під тиском 15МПа (150 атм), сірого кольору.

Для покращання технологічних властивостей використовують суміш аргону, вуглекислого газу, гелію тощо.

Найбільш поширене аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом. Звичайно використовують присадний дріт для формування шва.

Вживаний зварювальний струм:

- DC (постійний) струм прямої полярності використовується для більшості металів (сталь);

- AC (змінний) для зварювання алюмінію та інших матеріалів з тугоплавким оксидом на поверхні, що руйнується важкими атомами аргону.

Сила струму від 1А.

Зварювання іноді виконують плавким електродом, коли подавання дроту механізоване.

Переваги та недоліки аргонодугового зварювання:

- високий ступінь захисту розплавленого металу від дії повітря;

- відсутність на поверхні шва при застосуванні аргону оксидів і шлакових включень;

- можливість ведення процесу у всіх просторових положеннях;

- можливість візуального спостереження за процесом формування шва і його регулювання;

- вища продуктивність процесу, ніж при ручному дуговому зварюванні.

- висока ціна аргону, гелію.

Зварювання СМТ (Cold Metal Transfer)

СМТ «Fronius» (Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу) – технологія електродугового зварювання із мінімальним тепловкладанням.

Коли горить дуга, дріт рухається вперед і назад (після утворення короткого замикання), до 70 разів за секунду під керуванням автоматики. Відбувається КЗ – ставиться крапля і дріт швидко відводиться – дуга гасне і запалюється знов.

Середня температура процесу значно нижча, ніж при звичному зварюванні, відсутні бризки, стабільна дуга.

Застосування ручного зварювання СМТ:

зварювання тонкої та ультратонкої сталі, алюмінієвих і хромово-нікелевих сплавів;

зварювання з високими вимогами до зовнішнього вигляду зварного шва.

Наплавлення з використанням процесу СМТ (мінімальне перемішування наплавленого та основного металів.

Зварювання в атмосфері вуглекислого газу (CO_2)

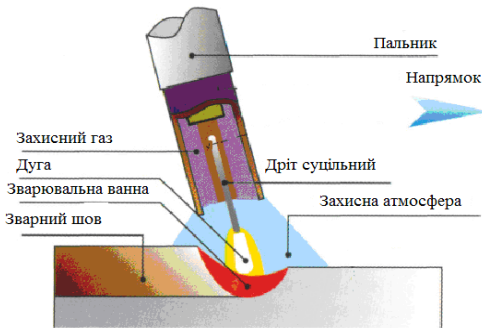


Рисунок 5.11– Схема зварювання у середовищі вуглекислого газу

Зварювання виконують лише плавким електродом на підвищеній щільності постійного струму зворотної полярності.

У вуглекислому газі зварюють конструкційну вуглецеву і низьколеговану сталь.

Вуглекислий газ — безколірний, зі слабким запахом, у 1,52 раза важчий за повітря. Зберігають у зрідженому стані в сталевих балонах під тиском 7 МПа.

Вуглекислий газ окиснює розплавлений метал (дисоціює на окисел вуглецю і кисень). Потребує використання спеціального присадного дроту – зі вмістом елементів розкиснювачів Si, Mn.

Зварювання в атмосфері вуглекислого газу має переваги:

- значний ступінь захисту розплавленого металу від дії повітря;

- незначна кількість шлакових включень на поверхні шва;
- можливість виконання процесу у всіх просторових положеннях;
- можливість візуального спостереження за процесом формування шва;
- вища продуктивність процесу, ніж при ручному дуговому зварюванні;
- низька вартість зварювання.

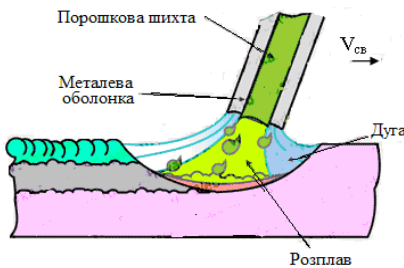


Рисунок 5.12 – Зварювання порошковим дротом

При зварюванні самозахисним порошковим дротом шихта під час зварювання виділяє газ і шлак, що захищає ванну і метал шва, що кристалізується. Є порошкові дроти, що потребують стороннього захисного газу.

Зварювання порошковим дротом є напівавтоматичним і автоматичним.

Зварювання порошковим дротом у ряді випадків витісняє ручне дугове зварювання завдяки вищій продуктивності.

5.2.4. Зварювання порошковим дротом

Порошковий дріт має форму трубки, заповненої порошком (шихтою), що може бути складений бухтою (згорнутий). Порошок виконує як функції обмазки звичайного електрода, так і додаткові.

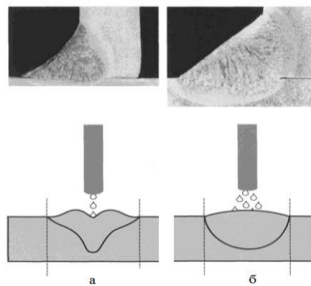


Рисунок 5.13 – Формування шва під час зварювання (наплавлення): а – суцільним дротом; б – порошковим дротом

5.2.5. Плазмове зварювання

Плазмовий струмінь є електричною дугою, стисненою

(сфокусованою) у струмені іонізувального газу (аргон, гелій, азот, водень, оксид вуглецю тощо). Формується в спеціальних плазмових пальниках (плазмотронах) двох типів: із виділенням з дуги плазмовим струменем і зі збіжним з дугою плазмовим струменем.

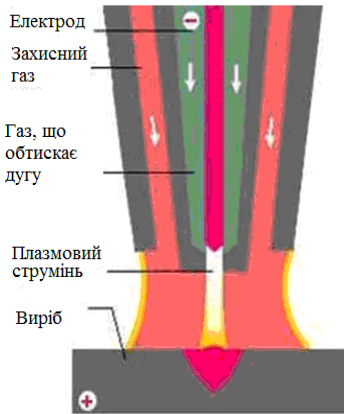


Рисунок 5.14 – Схема плазмово-дугового струменя

вщини з температурою 10000–30000 °С.

5.2.6. Електрошлакове зварювання

Спосіб зварювання, що проходить за рахунок виділення тепла під час проходження електричного струму через розплавлений шлак.

Ванна розплавленого шлаку формується в об'ємі між кромками зварюваних виробів. До неї подається металевий електрод. Струм, від опору рідкого шлаку, нагріває і підтримує в розплаві високу температуру, плавляться занурений електрод і кромки виробу, утворюється зварний шов.

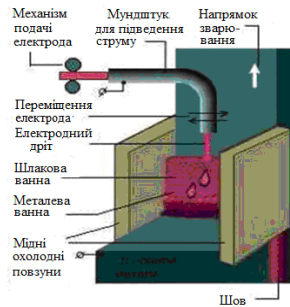


Рисунок 5.15 – Схема електрошлакового зварювання

Преваги: можливе особливо високоякісне зварювання металу будь-якої товщини (від 16 мм).

Недолік способу – утворення великого зерна внаслідок повільного нагрівання та охолодження – необхідна термічна обробка.

Широко застосовують для виготовлення станин і деталей потужних пресів, верстатів, колінчастих валів суднових дизелів, ємностей високого тиску тощо.

5.2.7. Променеві способи зварювання

Зварювання електронним променем

Використовується принцип електронної емісії за рахунок різниці потенціалів між катодом та анодом при напрузі 150 кВ. Зіткнення електронів зі зварюваними деталями розігріває місце зварювання до температур в 5000–6000 °С.

Діаметр електронного променя досягає тисячних міліметра.

Особливості процесу:

- зварювання відбувається у вакуумі – потрібні дзеркально чиста поверхня і дегазація розплавленого металу;
- моментальне плавлення і затвердіння металу;
- шов виходить дрібнозернистим із мінімальною шириною, що дозволяє зварювати сплави, чутливі до нагрівання.

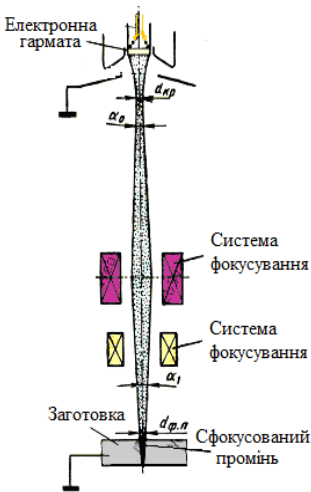


Рисунок 5.16 – Схема зварювання електронним променем

Застосовують для деталей з однорідних і різнорідних тугоплавких, хімічно активних металів і їх сплавів (вольфрамових, танталових, молібденових, ніобієвих, цирконієвих), а також алюмінієвих і титанових сплавів і високоле-

гованих сталей. Мінімальна товщина зварюваних заготовок становить 0,02 мм, максимальна – до 100 мм.

Зварювання лазерним променем

Здійснюється за допомогою оптичних квантових генераторів, що дають світлове проміння з високою густиною енергії.

Для його фокусування застосовується оптична система.

При зустрічі світлового променя зі зварюваним виробом віддається тепла енергія, в місці контакту температура досягає 6000 °С.

Переваги зварювання лазером:

- може здійснюватись у вакуумі, на повітрі, в атмосфері інертних газів;

- кризь оптично-прозорі матеріали на певній глибині;
- можливе поєднання різних металів.

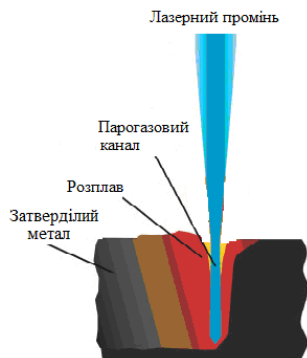


Рисунок 5.17 – Різання лазерним променем

5.2.8. Газове зварювання

Метал зварюваних елементів розплавляється газовим полум'ям, що утворюється спалюванням горючих газів у атмосфері кисню у газовому пальнику.

Найчастіше використовують ацетилен C_2H_2 із найвищою температурою згорання. Також як пальні гази використовують природні гази, водень, пари бензину, пари гасу тощо.

Можливе застосування для зварювання чорних, кольорових металів (із флюсами), наплавлення та розрізання металів, виправлення дефектів мідного литва.

Основними перевагами є: автономність від електроживлення, можливість повільного нагрівання, можливість створення окиснювального (надлишок вуглекислого газу) або відновлювального (надлишок ацетилену) полум'я. Не-

доліками є деформування від нагрівання, обмеженість товщин тощо.

5.2.9. Термічне різання

Розрізання заготовок (розкrojовання листового металу) є однією із найважливіших галузей застосування способів зварювання.

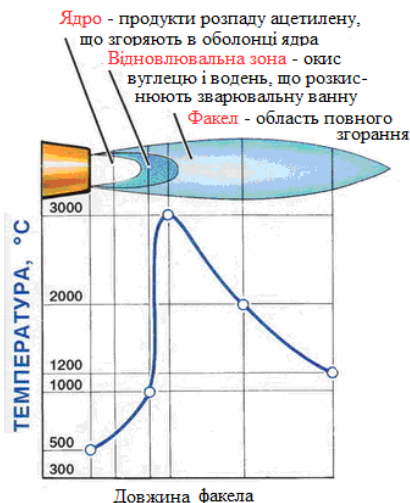


Рисунок 5.18 – Розподіл температур у факелі при спалюванні ацетилену

Вимоги для можливості проходження процесу газового різання металу:

- температура його плавлення повинна бути вищою за температуру горіння в кисні;
- температура плавлення оксидів металу повинна бути вищою за температуру його плавлення;
- кількість теплоти, що виділяється під час згорання металу в кисневому струмені, повинна бути достатньою для підтримання безперервного процесу різання;

Газове різання металів

Газовий різак має додатковий струмінь кисню – він видуває оксиди металу із зони розрізання.

- теплопровідність не повинна бути дуже високою, інакше процес різання ускладнюється;

- оксиди, що утворюються, повинні легко видуватися киснем.

Практично зазначеним вимогам відповідають залізо, низьковуглецеві та низьколеговані сталі.

У разі невідповідності матеріалу вимогам при газовому різанні для підвищення якості розрізання застосовують інші способи.

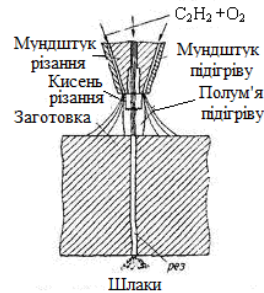


Рисунок 5.19 – Схема газокисневого різання

Киснево-флюсове різання

При киснево-флюсовому різанні в зону розрізу разом із струменем різального кисню вводять порошок флюсу.

Дія флюсу обумовлена трьома факторами:

- флюс згорає, виділяє надлишок теплоти – теплова дія;
- продукти згорання флюсу утворюють із тугоплавкими оксидами матеріалу рідкоплавкі шлаки, що видаляються, – це хімічна дія флюсу;
- частинки флюсу діють і як абразив.

Цей різновид різання застосовується для обробки високолегованих сталей, чавунів, мідних сплавів, бетонів тощо (товщиною до 1,5 м – зі списом).

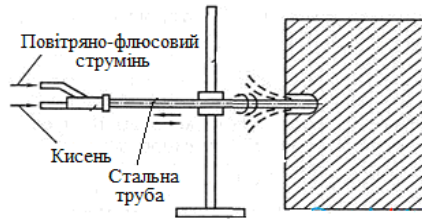


Рисунок 5.20 – Схема киснево-флюсового різання

Фторове різання

Фторове різання використовується для відрізання заготовок з високолегованих сталей, титану тощо.

Фтор згорає у водні, виділяється висока температура, що й забезпечує різання тугоплавких матеріалів.

Плазмове різання

Плазмовим різанням обробляються будь-які метали, деякі неметали. Локальне високотемпературне нагрівання заготовки виключає її деформацію.

Процес характеризується високою чистотою та якістю поверхні розрізу. Можливе складне фігурне вирізання. Плазмовим струменем розрізають кераміку, високолеговані сталі, мідні й алюмінієві сплави тощо.

Лазерне різання

Є високоефективним видом розкроювання листових матеріалів і дозволяє вирізувати будь-які вироби з складним контуром:

- висока точність;
- відсутність механічного контакту з оброблюваною поверхнею;
- різання твердих інструментальних сплавів;
- можливість різання отворів малого діаметра (від 0,15 мм).

Повітряно-дугове різання

Є процесом поверхневої обробки або розділення металу (сталі та кольорові сплави) за рахунок дуги з неплавким вугільним електродом, додатково подається повітря під тиском. Є високоефективним процесом.

5.3. Термомеханічний клас зварювання

До термомеханічного класу зварювання відносять способи, що використовують для створення нерознімного з'єднання як температурний вплив, так і дію зовнішніх сил.

5.3.1. Стикове контактне зварювання

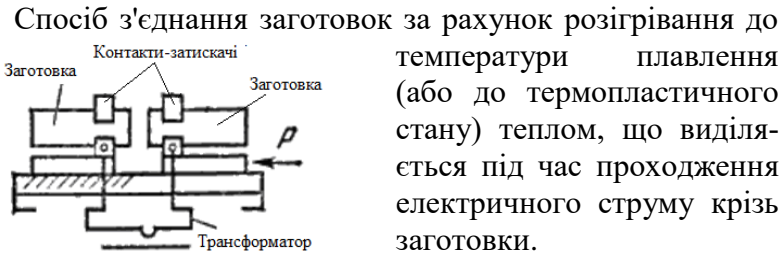


Рисунок 5.21 – Схема стикового контактної зварювання

Спосіб з'єднання заготовок за рахунок розігрівання до температури плавлення (або до термопластичного стану) теплом, що виділяється під час проходження електричного струму крізь заготовки.

Стикове зварювання з розігріванням стику до пластичного стану і подальшим осадженням називають зварюванням опором, а при розігріванні торців до оплавлення з подальшим осадженням – зварюванням оплавленням.

Зварювання застосовується для з'єднання встик заготовок з сортового прокату, труб, рейок тощо.

Точкове контактне зварювання

Точкове зварювання – спосіб виготовлення листових (або каркасних) конструкцій, що дозволяє одержати міцні з'єднання в окремих точках.

Заготовки, зібрані внапуск, затискають між мідними електродами і пропускають струм. Нагрівання від електричного опору матеріалу заготовок локалізується на ділянках контакту-стискання. Електроди при цьому пластично де-

формують заготовку і зварювальну ванну, зміцнюючи місце з'єднання.

Цей спосіб широко застосовують в автобудуванні, виготовленні металевих конструкцій з листових матеріалів, електричних схем.

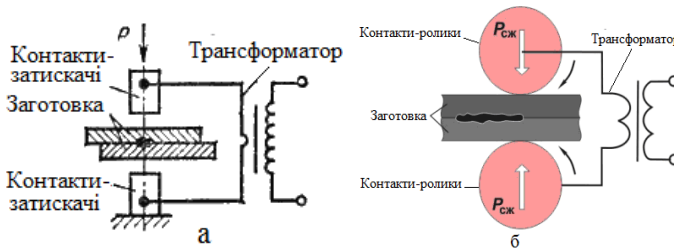


Рисунок 5.22 – Схема точкового (а) та шовного (б) зварювання

Шовне зварювання – спосіб з'єднання деталей швом, що складається з окремих зварних точок.

Зварювані заготовки поміщають між двома роликami-електродами.

5.3.2. Дифузійне зварювання

Дифузійне зварювання матеріалів у твердому стані – це спосіб отримання монолітного з'єднання внаслідок виникнення атомарних зв'язків і взаємодифузії.

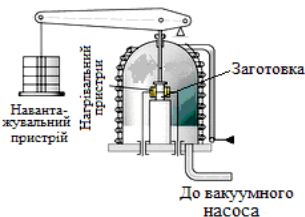


Рисунок 5.23 – Схема дифузійного зварювання у вакуумі

зварювання:

- висока якість з'єднання і збереження ним властивостей, характерних для початкових матеріалів деталей;

Це можливо на поверхнях, зближених локальним пластичним деформуванням при підвищеній температурі.

Переваги дифузійного

- стабільність якості з'єднання завдяки автоматизації процесу і малої залежності від зовнішніх дій;
- низька енерговитрата й екологічна чистота;
- можливість з'єднання деталей із матеріалів, що різко відрізняються своїми властивостями.

5.4. Механічний клас зварювання

До цього класу зварювання відносять способи, що використовують для створення нерознімного з'єднання дію зовнішніх сил.

5.4.1. Ультразвукове зварювання

Амплітуду коливання досягають десятків мікрометрів. Частота механічних коливань дорівнює 20–30 кГц.

Ці коливання викликають сили тертя у місці зварювання – відбувається нагрівання тонких шарів металу – руйнуються поверхневі оксидні плівки – пластично деформуються приповерхневі шари.

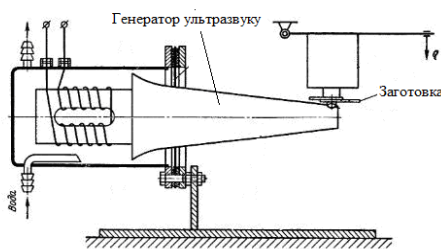


Рисунок 5.24 – Схема ультразвукового зварювання

5.4.2. Холодне зварювання

Холодне зварювання – процес утворення з'єднання металів і сплавів шляхом інтенсивної пластичної деформації зварюваних деталей за рахунок значного стискального зусилля.

З'єднують пластичні матеріали: мідь із міддю, алюміній з алюмінієм, мідь з алюмінієм, нікель, срібло, титан,

латунь тощо. Одержують стикові, внапуск, таврові та штиркові з'єднання.

Необхідно видалити окисні плівки з поверхні зварюваних деталей.

Переваги процесу:

- зварювати термічно знеміцнювані метали;
- герметизувати деталі, нагрівання яких недопустиме;
- надійно зварювати різнорідні метали без утворення в стику крихких інтерметалідів;
- відсутність витратних матеріалів;
- мала енергоємність;
- висока екологічна безпека.

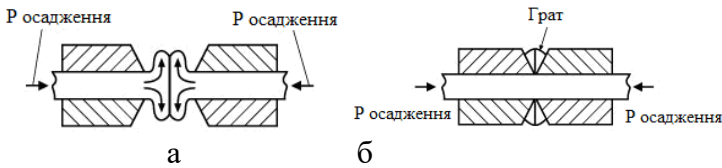


Рисунок 5.25 – Схема холодного стикового зварювання

5.4.3. Зварювання вибухом

Зварювання вибухом можна віднести як до механічного, так і до термомеханічного класу зварювання.

Утворення з'єднання металевих тіл відбувається ударною дією від детонації вибухової речовини. Тиск і температура при зварюванні вибухом сприяють переміщенню верхньої заготовки до нижньої заготовки. При зіткненні заготовок у точці контакту відбувається зближення заготовок на відстані, при яких забезпечується взаємодія міжатомних сил.

Спосіб дозволяє з'єднання різнорідних металів із міцністю на рівні міцності основних металів (сталь + титан, сталь + алюміній, алюміній + мідь і т. д.) – біметали.

Зварювання вибухом може здійснюватися на великих площах, обмежуваних лише розмірами використовуваних листів.

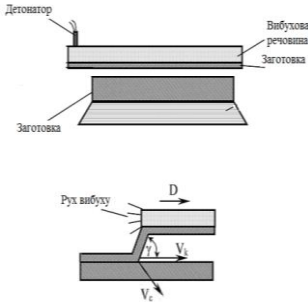


Рисунок 5.26 – Схема зварювання вибухом

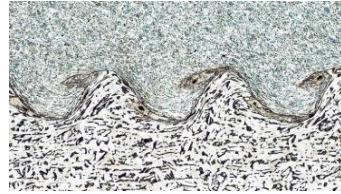


Рисунок 5.27 – Геометрія місця зварювання

5.4.4. Зварювання тертям

Зварювання тертям здійснюється у твердому стані при використанні теплоти, що є наслідком тертя поверхонь зварюваних елементів.

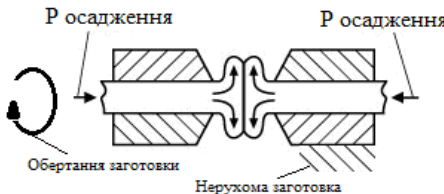


Рисунок 5.28 – Схема зварювання тертям обертанням

Застосовується зварювання тертям для з'єднання однорідних і різнорідних металів, для виготовлення різального інструменту, валів, штоків з поршнями, клапанів та інших деталей машин.

5.5. Особливості зварювання металів і сплавів

Зварюваність – здатність матеріалів утворювати зварні з'єднання (без тріщин, пор, шлакових включень та ін.) Розрізняють добру, задовільну та погану зварюваність.

Добра зварюваність матеріалів – при зварюванні однорідних металів і сплавів у місці з'єднання, як правило, утвориться структура, ідентична або близька структурі заготовки, що з'єднується.

Задовільна або погана зварюваність – при зварюванні різнорідних матеріалів у місці з'єднання утвориться твердий розчин із ґратами одного з матеріалів або хімічна чи інтерметалідна сполука з властивостями, що різко відрізняються від вихідних матеріалів.

5.5.1. Особливості зварювання вуглецевих і легованих сталей

Низьковуглецеві (низьколеговані) сталі добре зварюються.

Середньовуглецеві й середньолеговані сталі (більше вуглецю і легованих елементів) зварюються гірше. Можливі кристалізаційні тріщини та структури гарту. Застосовують попереднє нагрівання (100–300 °С), термообробку.

Високовуглецеві сталі не використовують для утворення зварних з'єднань, виняток становлять ремонтні роботи.

Особливості зварювання сталей із вмістом хрому, нікелю

Високохромисті сталі окрихчуються у пришовній зоні, збільшується зерно і вигоряє хром, по межах зерен можуть випадати крихкі фази, утворюються холодні тріщини. Для запобігання застосовують підігрів, малі струми, захищають місце зварювання, легують присадний матеріал або електроди хромом, а після зварювання проводять термообробку.

Хромонікелеві сталі при зварюванні можуть знизити корозійну стійкість у зв'язку з випаданням по межах зерен аустеніту карбіду хрому. Тому зварювання проводять при малих струмах із примусовим охолодженням. Після зварювання призначають відпалювання або гартування. Це запобігає випаданню карбідів хрому.

Хромонікелеві сталі добре зварюються контактним зварюванням.

5.5.2. Особливості зварювання чавунів

Чавуни зварюються обмежено:

- утворюються структури гартування (чавун вибілюється) при швидкому охолодженні – утворюються тріщини;

- білий чавун має високу усадку чавуну.

Леговані чавуни зварюються краще, ніж звичайні. Гартування і вибілені структури чавуну усувають відпалюванням.

Розрізняють гаряче й холодне зварювання чавунних виробів.

При гарячому чавун підігрівають до 600–700 °С і забезпечують повільне охолодження зі швидкістю 50–100 °С/год. Рідка ванна металу повинна бути великою, що сприяє видаленню газів, повільному охолодженню. Проводиться електричною дугою або газовим полум'ям.

Холодне зварювання чавуну електричною дугою. Електроди можуть бути сталевими, мідно-залізними (монель-метал), мідно-нікелевими і чавунними. Зварювання здійснюється короткими швами, багатошарові.

5.5.3. Особливості зварювання алюмінію

При зварюванні алюмінію і його сплавів виникає плівка оксиду алюмінію, температура плавлення якого 2050 °С заважає сплавленню металу ванни з основним. Видалення плівки здійснюється дією зварювального струму зворотної полярності, флюсів або спеціальних покриттів електродів.

Алюмінієві сплави схильні до утворення водневих пор і тріщин.

Найширше застосовують зварювання алюмінієвих сплавів:

- у середовищі захисних газів;
- покритими алюмінієвими електродами;
- контактним зварюванням великими струмами;
- зварюванням СМТ (*Cold Metal Transfer*).

5.5.4. Особливості зварювання титану і його сплавів

Розплавлений титан має високу хімічну активність.

Титанові сплави зварюються дуговим зварюванням в інертних газах неплавким і плавким електродом, дуговим зварюванням під флюсом, електронним променем, електрошлаковим і контактним зварюванням.

Розплавлений титан має високу рідкоплавкість, шов добре формується при всіх способах зварювання.

Основна складність зварювання титану – це необхідність надійного захисту металу від атмосферних газів.

Дугове зварювання виконують у середовищі аргону і в його сумішах з гелієм. Для особливо відповідальних виробів зварювання проводять у спеціальних камерах, наповнених аргоном.

5.6. Наплавлення та напилювання

Це нанесення шару певного хімічного складу і властивостей на поверхню виробу.

5.6.1. Наплавлення

Наплавлення дозволяє одержувати деталі з поверхнею, відмінною від основного металу, наприклад корозійною стійкістю тощо або відновлювати поверхню.

Існують:

- ручне дугове наплавлення електродами із стержнями чи покриттями спеціальних складів, порошковим дротом;
- автоматичне наплавлення під флюсом суцільним чи порошковим дротом;
- наплавлення плавкими і неплавкими електродами в середовищі захисних газів;

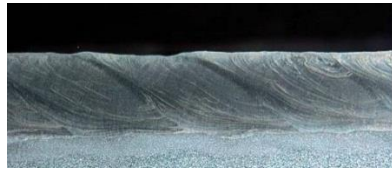


Рисунок 5.29 – Схема наплавлення на циліндричну поверхню

- плазмове наплавлення;
- електрошлакове, електронно-променеве, лазерне наплавлення, газокисневим полум'ям.



а



б

Рисунок 5.30 – Геометрія зони сплавлення наплавленого металу з основою при наплавленні: а – в середовищі аргону; б – у спосіб СМТ у середовищі аргону

Важливим є ступінь перемішування при наплавленні основного металу і присадного, якого має бути якомога менше.

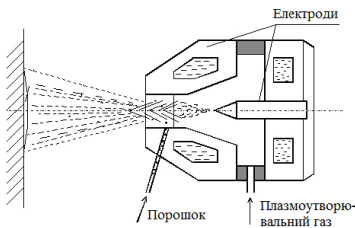


Рисунок 5.31 – Схема напилювання порошку плазмовим струменем

5.6.2. Напилювання

Для напилювання найчастіше застосовують плазмовий струмінь. Плазмовий струмінь дає можливість напилювати покриття товщиною від 0,5 до 5 мм за допомогою спеціальних пальників із подачею порошку.

Плазмове напилювання відрізняється швидким нагріванням порошку, що розпилюється, меншою температурною дією на деталь, малим окисненням при правильному використанні плазмоутворювального газу.

На метал за допомогою плазми напилюють тверді сплави, кераміку тощо.

5.7. Паяння металів і сплавів

Паяння – це з'єднання металевих заготовок без їх розплавлення за допомогою присадного сплаву (припою), що має температуру плавлення нижчу за основний метал. Розплавляючись, припій заповнює зазор між заготовками.

За технологічною ознакою розділяють:

- капілярне (за рахунок капілярних сил затягується припій у щілину);
- дифузійне (за рахунок взаємної дифузії компонентів припою і матеріалів, що паяються);
- контактнореактивне (у місці контакту двох з'єднаних заготовок із прошарком третього металу, виникає новий сплав, який і є припоєм);
- реактивно-флюсове (припій виникає як наслідок взаємодії основний метал – флюс ($3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + \text{Zn}$));
- паяння-зварювання (з'єднання виконують як при зварюванні, але присадним матеріалом слугує припій).

Властивості припою дуже часто наближаються до властивостей з'єднувального металу. Використовують олов'яні, цинкові, нікелеві, срібні, мідні припої.

Найбільшою перевагою паяння перед зварюванням є те, що в процесі з'єднання метал заготовки не доводиться до температур плавлення – отже немає при остиганні таких небезпечних явищ, як усадка металу, не такі значні температурні деформації тощо.

5.8. Контроль якості зварних з'єднань

Методи контролю діляться на дві великі групи – руйнівні та неруйнівні.

До руйнівних відносять механічні, металографія та корозійні випробування.

Механічні випробування включають розтягування, вигин, сплюснення та інші види руйнування, що кількісно характеризують міцність, якість і надійність з'єднань. Руйнівні випробування проводять звичайно на зразках-свідках і рідше – на самих виробках.

Неруйнівні методи використовують для перевірки якості швів без їх руйнування. Оцінюють ті або інші фізичні властивості, що побічно характеризують міцність або надійність з'єднань.

Ці властивості, а точніше їх зміна, звичайно пов'язані з наявністю дефектів.

Дефекти зварних швів і з'єднань, виконаних зварюванням плавленням, виникають через порушення вимог нормативних документів до підготовки, складання і зварювання вузлів, механічної і термічної обробки зварних швів і самої конструкції, до зварювальних матеріалів.

Дефекти зварних з'єднань підрозділяються на шість груп:

- тріщини;
- порожнини, пори, свищі, усадкові раковини, кратери;
- тверді вкраплення;
- несплави та непровари;
- порушення форми шва – підрізи, усадкові канавки, перевищення опуклості, перевищення проплаву, напливи, зсуви, натікання, пропали та ін.;
- інші дефекти.

Питання до розділу 5

1. Фізичні умови створення зварного з'єднання.
2. Дайте загальну характеристику термічному класу зварювання.
3. Дайте загальну характеристику електричної дуги та її властивостей.
4. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості ручного дугового зварювання.
5. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості автоматичного зварювання під шаром флюсу.
6. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання в середовищі інертних захисних газів.
7. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання СМТ.
8. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання в атмосфері вуглекислого газу.
9. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання порошковим дротом.
10. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості плазмового зварювання.
11. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості електрошлакового зварювання.
12. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості променевих способів зварювання.
13. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості газового зварювання.
14. Опишіть технологічні можливості термічних способів різання металу.
15. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості основних способів термомеханічного класу зварювання.

16. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості основних способів механічного класу зварювання.

17. Дайте коротку характеристику зварюваності вуглецевих і легованих сталей.

18. Дайте коротку характеристику зварюваності металевих матеріалів.

19. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості наплавлення та напилювання.

20. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості паяння металів і сплавів.

6. ТЕХНОЛОГІЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ТА КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

6.1. Загальні відомості про полімерні матеріали

Пластмаси – матеріали на основі полімерів (смоли) із високою пластичністю на стадії виробництва (переробки). Мають низьку міцність, твердість, велику повзучість, низьку теплостійкість ($-60\dots+200\text{ }^{\circ}\text{C}$); низьку теплопровідність; здатність старіти – втрачати еластичність і міцність під впливом зовнішніх факторів.

Синтетичні смоли одержують полімеризацією або поліконденсацією простих речовин – мономерів (наприклад, етилену C_2H_4).

За формою макромолекул полімери поділяють на лінійні, розгалужені та сітчасті.

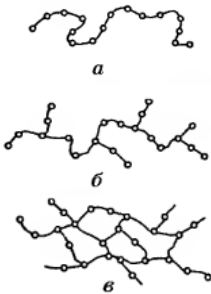


Рисунок 6.1 – Форми макромолекул полімерів:
а – лінійна; б – розгалужена; в – сітчаста

У полімерах можлива наявність і кристалічної структури (до 50 % у лінійних полімерах).

За певного діапазону температур полімери перебувають у високоеластичному стані. При вищій температурі настає в'язкоеластичний стан, схожий до рідкого. Далі полімер розкладається. У полімерів із сітчастою структурою (гуми) в'язкоеластичний стан не настає.

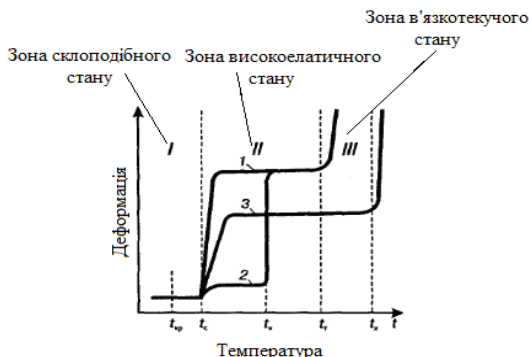


Рисунок 6.2 – Термомеханічні криві полімерів: 1 – аморфного; 2 – кристалічного; 3 – сітчастого; I – III – зони відповідно склоподібного, високоеластичного і в'язкотекучого станів

Пластмаси містять:

- *наповнювачі* (до 80 %) – підвищують міцність, зносостійкість, теплостійкість тощо. Наповнювачі (органічні або неорганічні) є у вигляді порошків, волокон або листів;

- *пластифікатори* – вводять до складу пластмас для підвищення їх пластичності (гліцерин, касторове або парафінове масло);

- *стабілізатори* – речовини, що уповільнюють руйнування пластмаси під впливом дії теплоти, світла та інших факторів (сажа, сірка, феноли);

- *мастила* – речовини, що полегшують процес пресування пластмас (віск, стеарин, олеїнова кислота);

- *барвники* – вохра, крон, родамін та ін.;

- *газоутворювальні речовини* (пірофори) – для виготовлення газонаповнених пластмас (піно- і поропластів).

6.2. Класифікація пластмас

Є термопластичні (термопласти) і термореактивні (реактопласти).

Термопласти (звичайно чисті полімери) можуть переходити з рідкого у твердий стан багато разів, але мають обмежену T робочу – до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Реактопласти тверднуть один раз (під дією хімічних реакцій (самотвердні реактопласти), або температури та хімічних реакцій – термореактопласти).

Основою реактопластів є смоли: фенолоформальдегідні, епоксидні тощо.

Гранична температура експлуатації композиційних пластиків на основі реактопластів (термореактопластів) може перевищувати $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

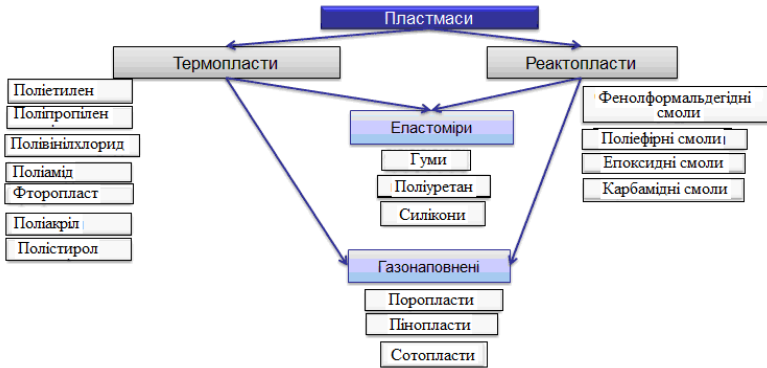


Рисунок 6.3 – Класифікація пластмас

6.3. Термопласти

6.3.1. Основні види термопластів



Рисунок 6.4 – Поліефіри (поліестери)

Поліефіри (поліестери) – поліетилентерефталат PET – продукт поліконденсації етиленгліколю і терефталевої кислоти ($\sigma_{\text{в}} = 100\text{ МПа}$). Торгова марка лавсан. Пляшки для води, олії. До $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 6.5 – Поліетилен

Поліетилен – продукт полімеризації етилену C_2H_4 . Є високого тиску LDPE (низька щільність – пакети що шелестять) і низького тиску HDPE (висока щільність – щільні глянцеві пакети). П. стійкий до лугів, розчинів солей та кислот.



Рисунок 6.6 – Поліпропілен

Поліпропілен – продукт полімеризації пропілену $CH_3-CH=CH_2$. Подібний до поліетилену, проте більш теплостійкий (до $140\text{ }^\circ\text{C}$) і твердий. Із часом виділяє вінілхлорид. Труби сантехнічні, автопластик.

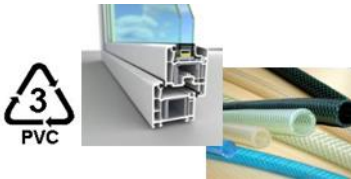


Рисунок 6.7 – Полівінілхлорид

Полівінілхлорид (ПВХ) – полімер хлористого вінілу CH_2-CHCl . Твердий ПВХ називається вінілпластом. Плівка, штучна шкіра, ізоляція дротів тощо.

Поліакрилати – на основі похідних акрилової та метакрилової кислот. Для підвищення стійкості при низьких температурах вводять пластифікатори:

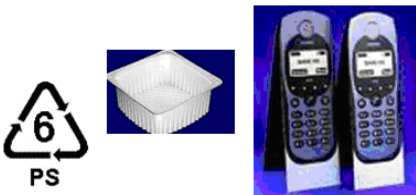


Рисунок 6.8 – Полістирол

Твердий, прозорий, негігроскопічний, горючий, незносостійкий,

- *полістирол* – продукт полімеризації стиролу з нафти та кам'яного вугілля. Твердий,

схильний до старіння.
 $T_{робоч}$ 90 °С. Корпуси телефонів, лінзи і т. д.;



Рисунок 6.9 – Органічне скло (акрил)

- *органічне скло (акрил)* – поліметилметакрилат. Воно легше і прозоріше за силікатне, масло-, бензо- і водостійке, підвищено хімічно стійке, розчиняється у вуглеводнях, $T_{робоч}$ до 80 °С, НВ 6–10. Використовують для скління, сувенірів.



Рисунок 6.10 – Поліаміди

Поліаміди (капрон, нейлон) – група пластмас, у складі молекул яких є амідна (-NH-CO-) і метиленова (-CH₂-) групи. Добре ллються, достатньо міцні, зносостійкі, поглинають вібрацію. Витримують бензин, луги, поглинають вологу та істотно старіють. Виготовляють волокна, втулки, підшипники, шестерні.



Рисунок 6.11 – Фторопласти

Фторопласти – похідні етилену, де атоми водню заміщені атомами фтору. Отримують вироби шляхом пресування з порошку з подальшим спіканням, оскільки фторопласт не плавиться, а лише розм'якшується.

Фторопласт-3 підвищено хімічно стійкий. $T_{пл}$ =210 °С. Вище 70 °С – крихкий. Деталі насосів, електроізоляція.



Рисунок 6.12 – Фторопласт-4

Фторопласт-4 високостійкий до концентрованих кислот і лугів. $T_{роб} -190...+250\text{ }^{\circ}\text{C}$, не горить, негігроскопічний, має низький коефіцієнт тертя і малу твердість, добрі діелектричні властивості. Труби хімічної апаратури, прокладки.

6.3.2. Переробка термопластичних пластмас

Залежно від фізичного стану основи, температури, а також агрегатного складу пластмаси переробляють у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому та твердому станах, а також зварюють і склеюють їх.

Переробка пластмас у в'язкотекучому стані

Лиття під тиском

Отримують вироби з термопластів на прес-ливарних машинах (нагрівання до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиск $10\text{--}200\text{ МПа}$) високої продуктивності. Не потребують додаткової механічної обробки.

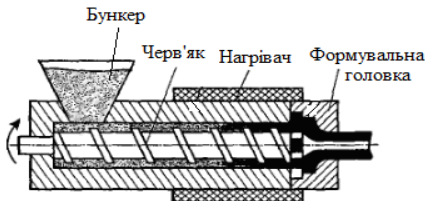


Рисунок 6.13 – Схема черв'ячного екструдера для формування труб

Видавлювання (екструзія)

Отримують труби, профілі різного перерізу, плівки, нанесення ізоляції на дріт тощо.

Ливарне пресування

Проходить у два етапи – розігрівання прес-матеріалу в камері та перетікання крізь пуансон у матрицю прес-форми, де проходить твердіння (170°C , 70 МПа). Виготовляють складні деталі з отворами, різьбою, металевою арматурою.

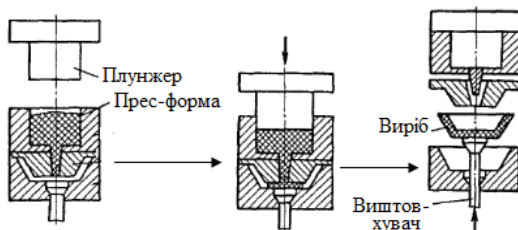


Рисунок 6.14 – Схема ливарного пресування

Пресування листів та плит проводять на гідравлічних пресах між плитами, які обігріваються парою й охолоджуються водою. Так отримують гетинакс, текстоліт тощо.

Переробка пластмас у високоеластичному стані

У високоеластичному стані переробляють листові термопласти (целулоїд, оргскло, вініпласт тощо). Виготовляють вироби великих розмірів.

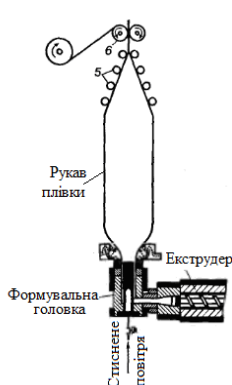


Рисунок 6.15 – Схема формоутворення плівки

Пневматичне формування

Листову заготовку нагрівають і стисненим повітрям 2,5 МПа притискають заготовку до матриці. Часто формують порожнисті вироби (банки, бутилі, баки) видуванням із труб-заготовок.

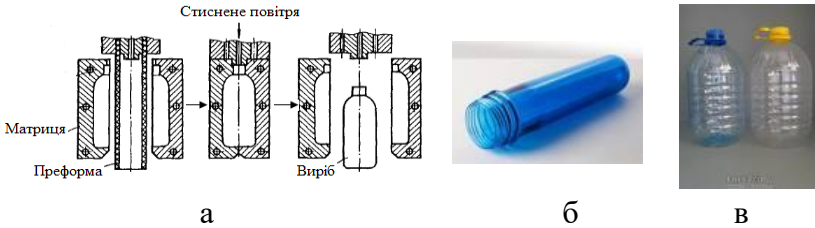


Рисунок 6.16 – Схема пневматичного формування: а – послідовність операцій; б – пресформа; в – виріб

Під час виробництва плівок екструдована труба роздувається стисненим повітрям у вигляді рукава визначеного розміру.

При виготовленні ємностей – пляшок, каністр – екструдована труба, або пресформа, роздувається стисненим повітрям у відповідній формі.

Вакуумне формування

Відбувається за рахунок розрідження, що створюється у матриці. Заготовку попередньо розігрівають.

Штампування

Складається з таких операцій:

- вирубання і пробивання, згинання та витягання;

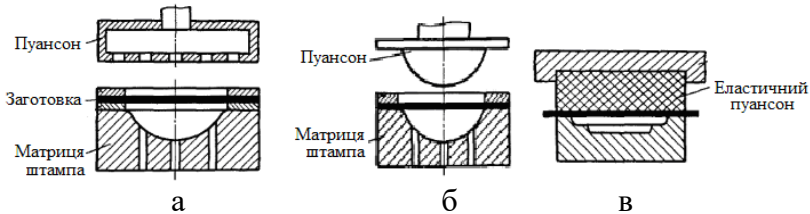


Рисунок 6.17 – Схеми штампування: а – вакуумного; б – пуансоном; в – еластичним пуансоном

- вирубання і пробивання застосовують для шарових пластиків;

- згинання та витягання – для термопластів (із нагріванням) аналогічно до листового металу.

Формування виробів з нагрітих листових термопластів у формах-штампах. Пуансон може бути з еластичного матеріалу. Тиск – до 1 МПа.

6.4. Реактопласти

Основою реактопластів є смоли: феноло-формальдегідні, карбамідні, епоксидні тощо.

Феноло-формальдегідні (найпоширені) можуть бути термопластичними (новолачні) та термореактивні (резольні).

Для регулювання технологічних властивостей реактопластів використовують розчинники, загусники і мастила, а для модифікації властивостей – пластифікатори та еластофікувальні домішки (наприклад, рідкі каучуки).

Основні переваги реактопластів порівняно з термопластами – значно ширші можливості регулювання властивостей за рахунок введення наповнювачів.

Ненаповнені реактопласти порівняно рідко використовують як самостійні матеріали. Зазвичай вони слугують основою композитів – наповнених реактопластів. Технологія отримання наведена в пункті про полімерні композитні матеріали.

6.5. Еластоміри

Еластоміри – це полімери, що мають у діапазоні експлуатації високоеластичні властивості. Називають еластоміром будь-який пружний матеріал, який може розтягуватися до розмірів, що у багато разів перевищують його початкову довжину і, що істотно, повертатися до початкового розміру, коли навантаження зняте.

Еластомери можуть бути як термопластами, так і реактопластами.

Типові еластомери:

- різні каучуки та гуми;
- силіконовий каучук;
- поліуретан тощо.

6.5.1. Гуми

Гума має високу еластичність, пружність, опірність зношуванню, вібраційно стійка, гідро- та газонепроникна, має високі діелектричні характеристики.

Гума є продуктом переробки каучуків. Натуральний каучук добувають з рослини гевеї. Синтетичний каучук роблять з етилового спирту, ацетилену, бутану, етилену тощо:

- *бутадієновий каучук* – продукт полімеризації бутадієну з натрієм. Застосовують його для виготовлення ущільнювачів, прокладок, килимків;

- *бутадієнстирольний каучук* – продукт полімеризації бутадієну і стиролу. Із нього виготовляють покриття, камери, ущільнювачі, амортизатори;



Рисунок 6.18 – Виріб із гуми

- *бутадієннітрильний каучук* – продукт полімеризації бутадієну і нітрилу акрилової кислоти. Виготовляють бензостійкі вироби, прокладки з T робочою до 140 °C;

- *ізопреновий каучук* – продукт полімеризації ізопрену за наявності літію. За своїми властивостями близький до натурального каучуку.

Компоненти гумових сумішей:

- *вулканізаційні речовини* – для твердості, міцності, тощо (сірка, натрій);

- *прискорювачі вулканізації* – зв'язують сірку, що не сполучилася з каучуком (оксид магнію або цинку);

- *наповнювачі* – зменшують витрати каучуку та підвищують властивості. Є порошкові (сажа, оксиди, крейда, тальк) і тканинні (корд, бельтинг, інші тканини);

- *пластифікатори* – підвищують еластичність гуми (стеаринова та олеїнова кислоти, парафін тощо);

- *протистарителі* – запобігають швидкому старінню гуми (ароматичні аміни тощо);

- *барвники* – титанові та цинкові білила, вохра тощо;

- *регенерат* – перероблена гума – для невідповідальних виробів.

Основні параметри гуми:

- межа міцності 13–38 МПа при температурі 20 °С;

- відносне видовження у момент розриву 500–700 %;

- твердість;

- коефіцієнт старіння – відношення відносного видовження після нагрівання;

- коефіцієнт морозостійкості – відношення видовження при заморожуванні;

- стійкість гуми до різних рідин.

6.5.2. Технологія виготовлення виробів із гуми

Складається з:

- приготування гумової суміші;

- формування напівфабрикатів (виробів), вулканізації.

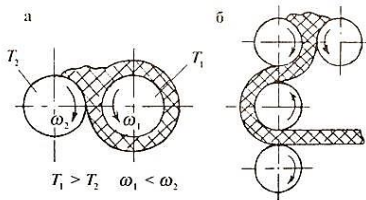


Рисунок 6.19 – Схема змішування сировини для гуми у вальцях

1. *Приготування сирової гумової суміші.* Для підвищення пластичності пропускають між підігрітими валками, змішують із порошкоподібними компонентами й одержують однорідну пластичну масу – сирину гуму.

2. *Листові напівфабрикати* та вироби з гуми дістають каландруванням (прокатуванням у вальцях) сирової гуми; вироби складної форми – видавлюванням, пресуванням, литтям під тиском.

3. *Вулканізація* – обробка сирової гуми при температурі 130–150 °С і тиску 0,1–0,4 МПа. Сірка взаємодіє з лінійними молекулами каучуку, відбувається їх укрупнення та утворення сітчастої структури – виріб стає міцнішим. Кількість сірки істотно впливає на твердість (25 % S – ебоніт).



Рисунок 6.20 – Прес-форма для формування і вулканізації шини

6.5.3. Силікони. Силіконові гуми

Силікони (поліорганосилоксани) – еластичний матеріал на основі кисневмісних кремнійорганічних сполук.

Силікони мають ряд унікальних якостей у комбінаціях, відсутніх у будь-яких інших відомих речовин: можливість збільшувати або зменшувати адгезію, надавати гідрофобність, працювати і зберігати властивості при екстремальних і швидкозмінних температурах або підвищеній вологості, діелектричні властивості, біоінертність, хімічна інертність, еластичність, довговічність, екологічність.

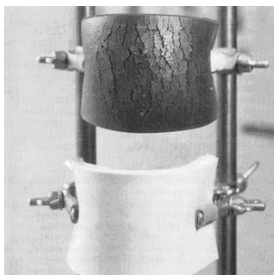


Рисунок 6.21 – Стійкість до атмосферних дій та озону силіконової гуми

Основна структура силіконової гуми, на відміну від звичайних видів гуми, – це ланцюги з атомів кремнію і кисню з частими попереочними зшиваннями. Цим і обумовлюється властивий їй деякою мірою неорганічний характер.

Силікон і силіконова гума

зберігають свої властивості практично необмежений час при температурах від -50°C до $+180^{\circ}\text{C}$ (максимально – близько $300\dots350^{\circ}\text{C}$ для наповненого силікону).

Силіконова гума стійка до розчинів солей, киплячої води, спиртів, фенолів, різних мінеральних олій, слабких кислот і лугів, а також до перекису водню.

Силікон застосовують також для виготовлення багатозразових форм для лиття олов'яних, цинкових сплавів.

6.5.4. Поліуретани

Поліуретани – гетероланцюгові полімери, макромолекула яких містить незаміщену і/або заміщену уретанову групу. У макромолекулах поліуретанів також можуть міститися прості та складноєфірні функціональні групи, сечовина, амідна групи й інші, що визначає комплекс поліуретанів.

Поліуретани використовуються як більш технологічніший та якісніший замітник гуми при виробництві виробів, що працюють в агресивних середовищах, в умовах великих знакозмінних навантажень і температур. З поліуретанів виготовляють форми для лиття неметалевих матеріалів, будівельних сумішей тощо. Поліуретан мають високі показники абразивостійкості, здатність протистояти розриванню, демфувальні властивості. Діапазон робочих температур від -60°C до $+80\dots100^{\circ}\text{C}$.

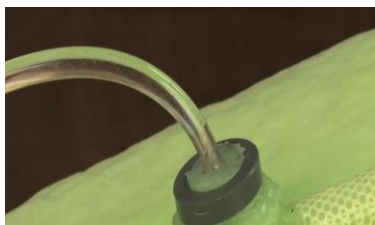


Рисунок 6.22 – Вакуумна інфузія силікону до форми

6.5.5. Технологія виготовлення виробів із силікону, поліуретану, силіконової гуми

Силікони та поліуретани у більшості випадків є дво- або багатокомпонентними сумішами, що мають після змішування консистенцію в'язкої рідини, що полімеризується

під впливом хімічних реакцій як реактопласти (каталізатором, затверджувачем може виступати й атмосферне повітря). Заливають матеріал у форму вільним литтям, литтям вакуумним усмоктуванням, литтям під тиском. Перед заливанням суміш вакуумують для дегазації.

Вироби із силіконової гуми мають зазвичай технологію отримання, подібну до звичайних гум.

6.6. Газонаповнені полімерні матеріали



Рисунок 6.23 – Пінопласти

Газонаповнені полімерні матеріали – це пластмаси з об'ємною масою $0,03\text{--}0,30\text{ г/см}^3$ за рахунок пор, заповнених газом.

6.6.1. Класифікація газонаповнених полімерів

Пінопласти

матеріали з ізольованими порами (екструдований пінополістирол, пінополіуретани, спінений полівінілхлорид тощо).

Поропласти

(губки) матеріали зі сполученими порами (спінений пінополістирол).

Для спінювання використовують полівінілхлорид, полістирол, поліуретан тощо. Додають вуглекислий амоній, бікарбонат натрію (сода) тощо – від нагрівання виділяються газу. Звукоізоляція, теплоізоляція тощо.



Рисунок 6.24 – Сотопласти

Сотопласти

Мають пустоти у вигляді бджолиних стільників, що неабияк підвищує міцнісні характеристики виробу. Сотопласти використовують у тришарових панелях (сандвіч-панелях), які є жорсткими ізоляторами.

Набувають поширення також самоспінені ливарні маси на основі епоксидів (ЕПП) з густиною від 40 до 600 кг/м³.

6.6.2. Технологія отримання заготовок із газонаповнених пластмас

Може бути такою:

- гаряче твердіння у закритих формах компаундів із додаванням порофорів (пінопласти ФФ, ФК-20);

- спікання у формах термопластичних мастик на основі полістиролу або полівінілхлориду з додатком порофорів (пінопласти ПС, ПВХ);

- спікання у закритих формах порошків або гранул пластмас, насичених чи змішаних з порофорами;

- самоспінювання піноуретанів (еластмір, замінювач гуми) у відкритих формах у процесі реакції рідкої композиції ізоціанат-полієфір-активатора (пінополіуретан ППУ).

6.7. Композиційні матеріали

Композиційними звичайно називаються матеріали, що утворені з двох чи більше різнорідних фаз і володіють характеристиками, які неможливо одержати на окремих входних компонентах.

До композиційних матеріалів (КМ) відносять: полімери, метали, кераміку і вуглець, армовані волокнами, а також наповнені полімери, дисперсно зміцнені сплави та псевдосплави.

Відмінність більшості КМ від традиційних матеріалів полягає в тому, що процес їх виготовлення може бути по-

єднаний із процесом виготовлення виробу, що може істотно підвищити властивості виробу.

Якщо один із компонентів КМ безперервний у всьому обсязі КМ, а інший є переривчастим, роз'єднаним в обсязі композиції, то перший компонент називають матрицею, а другий – армувальним елементом чи арматурою.

КМ із металевою матрицею називають металевими композиційними матеріалами (МКМ), з полімерною – полімерними (ПМК), з неорганічною – неорганічними (НКМ).

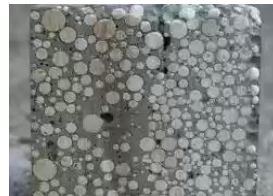
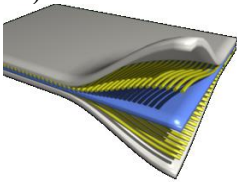


Рисунок 6.25 – Шарований композиційний матеріал Рисунок 6.26 – Полістиролбетон

6.7.1. Композиційні матеріали з металевою матрицею (МКМ)

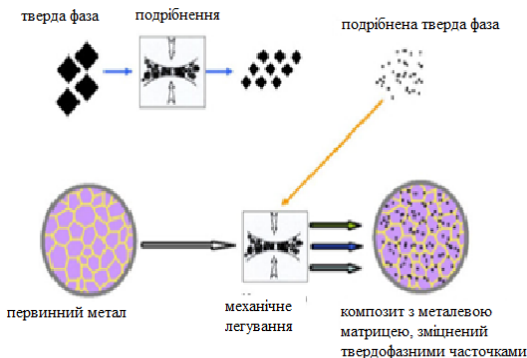


Рисунок 6.27 – Схема армування композиційних матеріалів

Під час створення композитів на основі металів як матрицю застосовують алюміній, магній, нікель, мідь і так далі. Наповнювачем служать або високоміцні волокна, або тугоплавкі частинки

різної дисперсності, що не розчиняються в основному металі.

Додавання 5–10 % армувальних наповнювачів (тугоплавких оксидів, нітридів, боридів, карбідів) збільшує опірність навантаженням.

Наприклад, сплави алюмінію, армовані волокнами бору, можна експлуатувати при температурах до 450–500 С замість 250–300 С.

Дисперсно зміцнені металеві композити отримують, вводячи порошок наповнювача в розплавлений метал, або методами порошкової металургії.

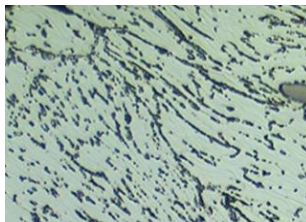


Рисунок 6.28 – КММ – сплав алюмінію AA6061/NiTi

6.7.2. Композити на основі кераміки (НКМ)



Рисунок 6.29 – Пластини з високо-температурної кераміки



Рисунок 6.30 – Карбід кремнію, армований вуглецевими волокнами

Армування кераміки металевими частками дає нам новий матеріал – *кермет* із підвищеною тепловою стійкістю, твердістю, міцністю. З керметів роблять деталі для ракетної і реактивної техніки, різальних інструментів тощо.

Керамічні композиційні матеріали отримують методами гарячого пресування (таблетування з подальшим спіканням під тиском) або методом шлікерного лиття (волокна заливаються суспензією матричного матеріалу, яка після сушіння також піддається спіканню).

6.7.3. Полімерні композитні матеріали (ПКМ)

У переважній більшості полімерні композитні матеріали створюються на основі реакторпластів.

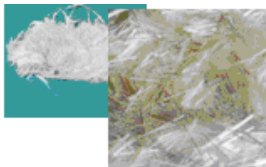


Рисунок 6.31 –
Волокна скла

Волокніт

Це ПКМ на основі реактопласту смоли з наповнювачем із бавовняної целюлози. Шківи, шестерні тощо.

Скловолокніт –

це ПКМ на основі термореактивних смол із наповнювачем – різаним скловолоконном. Межа міцності – 250–270 МПа. Водостійкий, вогнестійкий, ізоляційний і фрикційний матеріал.



Рисунок 6.32 –
Скловолокніт

Скловолоконний анізотропний матеріал (СВАМ) – це ПКМ зорієтованими довгими скляними волокнами, просоченими смолою. Міцність – 480–560 МПа. Для хімічно стійких труб, резервуарів, човнів тощо.

Азболокніт

Складається з азбестового волокна (мінерал) і домішок (тальку). Він водо- і теплостійкий, має хороші електроізоляційні властивості. $T_{роб}$ – 200–300 (тах до 600 °С). Не горючий. Теплоізолятор. Для деталей, які мають протистояти дії нагрівання, полум'я.

Наповнений фторопласт

- на основі фторопласту з наповнювачем: вуглецевим волокном, коксом, графітом тощо.

Шарові пластики композити

Шарові пластики мають наповнювач, що утворює шари в отриманому композиті.

Текстоліт. Наповнювач



Рисунок 6.34 – Текстолітова шестерня

– бавовняна тканина. $T_{роб}$ – 60–150 °С. Міцність – до 650 МПа. Шестерні, вкладиші підшипників, електроізоляція;

Склотекстоліт. Наповнювач – склотканина. $T_{роб}$ – 200 °С. Більш стійкий хімічно. Конструкційний і електроізоляційний матеріал;

Азботекстоліт.

Наповнювач – азбестова тканина. $T_{роб}$ – 250 °С. Гальмівні колодки, деталі механізмів зчеплення;

Гетинакс. Наповнювач – листи спеціального паперу. $T_{роб}$ – від – 60 до +70 °С. Електроізоляційний матеріал.

Деревинно-шарові пластики (ДСП)

Тонкі листи обдертої деревини (шпону), просочені й склеєні між собою смолами. Підшипники, втулки, шестерні, електротехнічні деталі.



Рисунок 6.33 – Ущільнювальне кільце з наповненого фторопласту

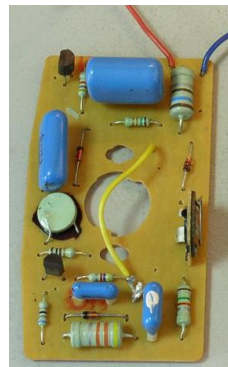


Рисунок 6.35 – Гетинаксова плата

6.7.4. Основні технології отримання заготовок із полімерних композитних матеріалів

Існує значна кількість технологічних способів отримання заготовок із ПКМ:

- пресування з формувальної маси (преміксів);
- пресування скломатів і (або) заздалегідь формованих скловолокнистих заготовок;
- формування з листових заготовок (препрегів);
- пультрузія;
- метод безперервного формування;
- намотування волокон;
- попереднє формування скловолокнистих заготовок;
- напилювання;
- контактне формування;
- інжекційне пресування;
- ротаційне формування;
- формування за допомогою еластичного мішка під вакуумом;
- формування виробів за допомогою пластичного мішка під тиском;
- холодне пресування;
- холодне штампування;
- відцентрове лиття;
- викладання вручну.



Рисунок 6.36 – Викладання та просочення скломату вручну

Викладення вручну (контактне формування)

Для контактного формування використовують негативну форму (матрицю) або позитивну форму (пуансон), виготовлені з металу, пластмас, армованих пластиків або їх

сполучення. Скломат, або тканий склонаповнювач, розміщують вручну на поверхні форми, наносять пензлем зв'язувальне та обкатують формований виріб валиком для видалення повітря й ущільнення матеріалу.

Процес дещо механізується використанням вихрового напilenня – скловолокну рубається і потоком повітря подається на поверхню форми. Одночасно наноситься смола із затверджувачем.

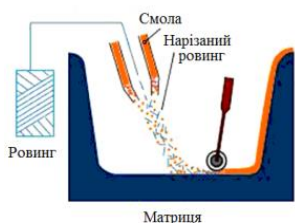


Рисунок 6.37 – Схема формувальних механізмів вихровим напilenням у матриці

Контактне формувальне застосовують для виготовлення дослідних зразків, резервуарів, місткостей, корпусів, захисних пристроїв, що випускаються малими серіями.

В і д ц е н т р о в е л и т т я

Одержують порожнисті вироби у вигляді тіл обертання. У форму, що обертається, завантажують наповнювач та смола.

Н а м о т у в а н н я

Одержують склопластикові труби, баки. Намотування буває мокре (склоджгут просочується смолою) і сухе (вже на намотаний джгут накладається смола).



Рисунок 6.38 – Формування труби намотуванням склоровингу

І н ж е к ц і й н е п р е с у в а н н я

Належить до високопродуктивних процесів. Може використовуватись як упорскування попередньо розігрітої

суміші у відносно холодну форму, так і завантаження сухої суміші полімеру, армувального наповнювача, пігментів тощо і подальше розігрівання для проходження процесів полімеризації.

Змішування компонентів може відбуватися безпосередньо в ливарній машині при окремому завантаженні інгредієнтів.

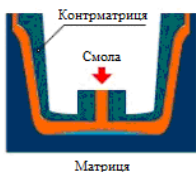


Рисунок 6.39 – Інжекційне пресування

Типові деталі, що отримуються цим методом: кожки насосів, крильчатки кондиціонерів, бампери автівок тощо.

Пультрузія

На відміну від екструзії в процесі пультрузії матеріал не видавлюється, а витягується під дією зовнішнього зусилля. Таким способом одержують різні профілі, прутки, труби з полімерів із волокнистими наповнювачами.

6.7.5. Принципи застосовності технологій отримання композитних пластиків

За умов одиничного виробництва раціональним є застосування способів, що не вимагають використання матриць: викладення вручну, намотування тощо. Такі способи дозволяють отримати заготовки, що потребують подальшої обробки зовнішніх поверхонь. Більшість інших способів застосовні для серійного виробництва і вимагають використання матриць, штампів тощо. В такий спосіб отримують заготовки, для яких не потрібна (або зведена до мінімуму) подальша механічна обробка.

6.8. Зварювання термопластичних пластмас

Зварюванням з'єднують термопласти і більшість композитів на їх основі. Зварюваність пластиків різана (поділена на чотири групи) і характеризується шириною температурного інтервалу текучості і мінімальною в'язкістю у цьому інтервалі.

Способи зварювання: нагрітим газом, екструзійне, нагрітим інструментом, тертям, з нагріванням випромінюванням або СВЧ, ультразвукове.

6.8.1. Зварювання нагрітим газом

Виконують із застосуванням присадного матеріалу (прутка), однакового з основним матеріалом. Застосовують електричні або газові пальники з $T_{роб}$ 250–380 °С. При зварюванні прогрівають як основний матеріал, так і присадний (є спеціальні насадки).



Рисунок 6.40 – Схема зварювання нагрітим повітрям

6.8.2. Екструзійне зварювання

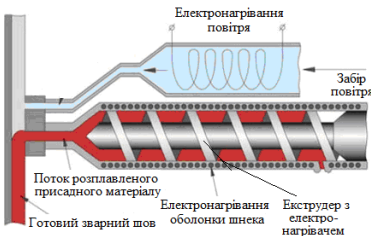


Рисунок 6.41 – Екструзійне зварювання

В екструдері пластик розплавляється, подається до місця стику під певним тиском, розплавляє місце стику й утворює шов.

6.8.3. Зварювання нагрітим інструментом

Застосовують для з'єднання плівок, листів, труб, профілів. Кромки поверхонь розігрівають інструментом і стискають із певним зусиллям.



6.8.4. Зварювання тертям

Оскільки пластмаси мають низьку теплопровідність, від тертя кромки швидко нагріваються. Застосовують вібротертя та обертове тертя.

Рисунок 6.42 – Зварювання нагрітим інструментом

6.8.5. Зварювання струмом високої частоти

Здійснюється за рахунок розігрівання матеріалу електромагнітним полем від внутрішнього тертя заряджених частинок, які входять в атоми та молекули діелектрика. Частота до 80 МГц, у НВЧ – до 2500 МГц.

6.8.6. Зварювання ультразвуком

Полягає в низькоамплітудній вібрації, що призводить до тертя, розігріву і зварювання поверхонь при коливанні із частотою до 50 кГц. Розрізняють пресове (спец. насадками) і безперервне зварювання. Зварюють плівки, синтетичні тканини тощо.



Рисунок 6.43 – Зварювання лазерним променем

6.8.7. Зварювання випромінюванням

Ґрунтується на властивості пластмас поглинати променевиу енергію і від цього нагріватися. Розрізняють способи зварювання: інфрачервоним випромінюванням; світлом видимого діапазону; лазером.

Плівки зварюють унапуск, листи, труби, профіль – у стик.

6.9. Склеювання пластмас

Склеювання – процес з'єднання деталей клейкими речовинами, які за допомогою адгезійного (один матеріал) та когезійного (різний матеріал) зв'язку з'єднують деталі, не змінюючи істотно їх структури і властивостей.

6.9.1. Склеювання термопластів

Застосовують різні органічні розчинники, що полегшують дифузію макромолекул полімерів. До розчинника додають подрібнений наповнювач. З'єднують органічне скло, полістирол, полівінілхлорид, поліамід тощо.

6.9.2. Склеювання реактопластів

Застосовують складні речовини – клеї. До складу клею входять: основа (полімер) наповнювачі, розріджувачі, прискорювачі, затверджувальні речовини. Є клеї гарячого (феноло-формальдегідні) та холодного (епоксидні, поліуретанові) твердіння.

6.10. Покриття пластмасами

Пластмаси широко застосовують як недорогі захисні, декоративні покриття. Можуть бути: покриття з рідких компаундів і замазок, покриття із суспензій, покриття з порошків.

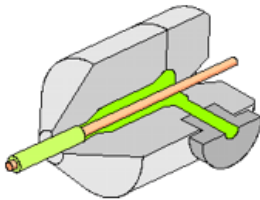


Рисунок 6.44 – Екструзійне покриття ізоляцією дроту

Покриття з рідких компаундів і замазок

Покривні компаунди готують на основі термореактивних смол.

Покриття із суспензій

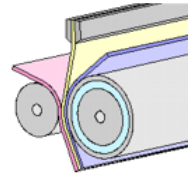
Роблять методом спікання, частіше з фторопластів, які наносять як фарбу, потім оплавляють.

Покриття з порошків

Порошки термопластів на гарячій поверхні металу оплавляються, утворюючи плівку. Покриття з порошків наносять вихровим, струминним або електростатичним способом.

Покриття з розплаву

Роблять екструзійним і відцентровим способами. Екструзійним – електроізоляція на дроті.



Покриття плівками, листами, плівками

Рисунок 6.45 – Отримання металопласту

Виконують футеруванням (обкладанням) на клеях або замазках, плакуванням, намотуванням або накочуванням. Плакування – покривання листової сталі полімерною плівкою на багатовапковій установці. Такий матеріал називають металопластом.

6.11. Лакофарбові покриття

Лакофарбові матеріали – речовини, що після висихання залишають тонкі плівки, міцно зчеплені з поверхнею. Застосовують для захисту і як декоративні покриття. Можуть бути одно- і багатошаровими. У багатошарових покриттях: перша ґрунтовка (міцне зчеплення та заповнення пор), потім шар шпаклівки для вирівнювання поверхні й насамкінець покривний шар.

6.11.1. Склад лакофарбових матеріалів

Складаються із плівкоутворювальних речовин, розчинників, пігментів, наповнювачів, пластифікаторів, сикативів та інших добавок.

Плівкоутворювальні речовини – основа. Можуть бути: рослинна олія (оліфа), природні (янтар, шлак, каніфоль, асфальти), синтетичні смоли, ефіри целюлози.

Розчинники – органічні речовини, призначені для розчинення плівкоутворювальних компонентів. Є вуглеводи (уайт-спірит, толуол), ефіри (етилацетат, бутилацетат), спирти (бутиловий, етиловий) та ін.

Пігменти – порошкові речовини, які є барвниками, а також підвищують захисні властивості: білила цинкові, вохра, оксид хрому та ін.

Наповнювачі – надають покриттю необхідних фізико-механічних властивостей, зменшують вартість (тальк, гіпс тощо).

Пластифікатори – органічні речовини, що зберігають еластичність покриття (дибутилфталат та ін.)

Сикативи – солі органічних кислот що підвищують швидкість висихання масляних матеріалів (нафтенанти кобальту, свинцю, цинку).

Лакофарбові матеріали можуть мати також інші домішки: стабілізатори, антистатика тощо.

6.11.2. Види лакофарбових матеріалів

Залежно від призначення лакофарбові матеріали поділяють на лаки, фарби (емалі), ґрунтовки, шпаклівки.

Лаками утворюють прозорі плівки. Фарби – це композиції зазначених вище компонентів лакофарбових матеріалів. Якщо плівкоутворювач – оліфа, то це масляні фарби, а якщо основа лак – то це емалі.

Грунтовки і шпаклівки – це емалі або фарби зі збільшеною кількістю пігментів і наповнювачів для густої консистенції.

6.11.3. Підготовка поверхні та фарбування

Підготовлюється поверхня під нанесення лакофарбових матеріалів механічним, хімічним або термічним способом.

Фарби (лаки)носяться в ручний спосіб пензлями, пневматично і рідким розпиленням, розпиленням в електростатичному полі:

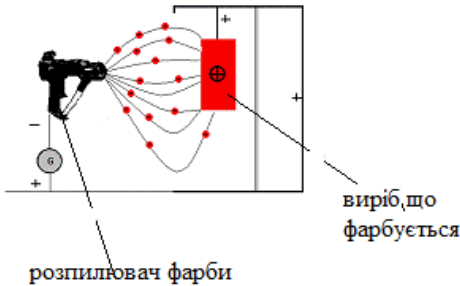


Рисунок 6.46– Схема електростатичного фарбування

- пневматичне утворює туман під дією стисненого повітря;
- при рідкому діє гідравлічний тиск – для в'язких матеріалів;

- в електричному полі (електростатичне) частинки заряджаються й осідають на виріб із протилежним зарядом.

При висиханні матеріалів на основі термопластів випаровуються розчинники, в термореактивних – проходить полімеризація (поліконденсація).

Сушіння є природним або штучним (підвищені температури). Штучне підвищує адгезію, твердість.

Штучне сушіння може бути конвекційним (гаряче повітря) і терморадіаційним (поглинання поверхнею теплової енергії випромінювання).

Питання до розділу 6

1. У чому полягають переваги та недоліки неметалічних матеріалів порівняно з металами?
2. Назвіть особливості та склад пластмас.
3. Наведіть класифікацію пластмас. Дайте пояснення.
4. Наведіть приклади основних термопластів. Їх властивості, галузь застосування.
5. Наведіть приклади основних реактопластів. Їх властивості, галузь застосування.
6. Зробіть порівняльну оцінку основних еластомірів.
7. Технологія отримання виробів із гуми.
8. Наведіть приклади газонаповнених полімерних матеріалів. Їх властивості, отримання, галузь застосування.
9. Дайте оцінку технологічним способам переробки пластмас у в'язкотекучому стані.
10. Дайте оцінку технологічним способам переробки пластмас у високоеластичному стані.
11. Дайте оцінку технологічним способам переробки пластмас у твердому стані.
12. Класифікуйте композиційні матеріали. Дайте загальну порівняльну оцінку.
13. Охарактеризуйте КМ із металевою матрицею, керамічною основою. Їх властивості, галузь застосування.
14. Наведіть приклади основних полімерних композиційних матеріалів ПКМ. Їх властивості, застосування.
15. Стикло охарактеризуйте основні технологічні способи отримання заготовок з полімерних композитних матеріалів.
16. Дайте визначення технологічних можливостей обробки різанням пластмас та ПКМ.
17. Дайте визначення технологічних можливостей зварювання термопластичних пластмас.

18. Дайте визначення технологічних можливостей склеювання пластмас.

19. Охарактеризуйте можливості технології покриття пластмасами та галузь застосування.

20. Дайте визначення лакофарбових матеріалів. Їх склад, особливості технології нанесення.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дунаев П. Ф. Детали машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Лёликов. – М. : Машиностроение, 2004. – 560 с.
2. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: посібник / В. В. Хілчевський, С. Є. Кондратюк та ін. – Київ : Либідь, 2002. – 328 с.
3. Болтон У. Конструкционные материалы, металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. Карманный справочник / У. Болтон ; пер. с англ. – М. : Изд. дом «Додэка XXI», 2004. – 320 с.
4. Линчевский В. Б. Металлургия черных металлов: учебник для техникумов / В. В. Линчевский, А. Л. Соболевский, А. А. Кальменев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1986. – 360 с.
5. Уткин Н. И. Металлургия цветных металлов : учебник для техникумов / Н. И. Уткин. – М. : Metallurgia, 1985. – 440 с.
6. Палей М. М. Технология производства режущего инструмента : учебное пособие / М. М. Палей. – М. : Mashgiz, 1963. – 483 с.
7. Бушуев М. Н. Технология производства турбин / М. Н. Бушуев. – М. : Машиностроение, 1966. – 410 с.
8. Либенсон Г. А. Производство порошковых изделий / Г. А. Либенсон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgia, 1990. – 240 с.
9. Карабасов Ю. С. Новые материалы / под. ред. Ю. С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.
10. Справочник по композиционным материалам : в 2 кн. / под ред. Дж. Любина. – М. : Машиностроение, 1988. – 488 с. : ил.
11. Технологія конструкційних матеріалів / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. – К. : Вища школа, 2002. – 374 с.

12. Технология конструкционных материалов / А. М. Дальский и др. – М. : Машиностроение, 1977. – 664 с.
13. Технология конструкционных материалов / Г. А. Прейс и др. – К. : Высшая школа, 1984. – 358 с.
14. Юскаев В. Б. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебное пособие. Ч. 1. Технология конструкционных материалов. Программа, методические указания, задания к контрольным работам и примеры их выполнения. – Сумы : СумГУ, 2001. – 145 с.

Навчальне видання

Марченко Станіслав Вікторович,
Гапонова Оксана Петрівна,
Говорун Тетяна Павлівна,
Харченко Надія Анатоліївна

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки С. В. Марченка
Редактор Н. А. Гавриленко
Комп'ютерне верстання С. В. Марченка, Н. А. Харченко

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 8,60. Обл.-вид. арк. 6,24. Тираж 300 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.