

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Запорізька державна інженерна академія

---



**Б.П. Серeda**  
**В.М. Проценко**

## **ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВИДІВ ПРОКАТУ**

**Навчально-методичний посібник**

*для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 «Обробка металів тиском»  
денного і заочного відділень*

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Запорізька державна інженерна академія

*Затверджено до друку  
рішенням науково-методичної ради ЗДІА  
протокол № від 2011 р.*

## **ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВИДІВ ПРОКАТУ**

### **Навчально-методичний посібник**

*для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 «Обробка металів тиском»  
денного і заочного відділень*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри ОМТ,  
протокол № 6 від 08.11. 2011 р*

Запоріжжя  
ЗДІА  
2011

*Б.П. Середа, д.т.н., професор,  
В.М. Проценко, к.т.н., доцент*

***Відповідальний за випуск:*** *зав. кафедрою матеріалознавства та обробки металів ЗГІА, професор, д.т.н. Б.П. Середа*

***Рецензенти:*** *Данченко В.М., д.т.н., професор кафедри обробки металів тиском Національної металургійної академії України*  
*Явтушенко А.В., к.т.н., доцент кафедри обробки металів тиском Запорізького національного технічного університету*

**Б.П. Середа, В.М. Проценко**

**Виготовлення спеціальних видів прокату: Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 "Обробка металів тиском" / Б.П. Середа, В.М. Проценко. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 88 с.**

Викладено відомості про основні операції виготовлення спеціальних видів прокату. Наведено і описано устаткування і типові технологічні схеми, що включають у себе процеси прокатки у вакуумі, прокатку біметалічних і шаруватих металів, прокатку металевих порошків, виробництво періодичних профілів прокату, виробництво гнутих профілів прокату, виробництво бандажів, коліс, куль, накочування різьблень і шестірень, сполучені процеси виробництва металовиробів тощо. Викладено основи сучасної теорії періодичної прокатки. Розглядаються питання застосування спеціальних видів прокату у промисловості та їхній сортамент.

Навчально-методичний посібник може бути використаний для інженерно-технічних спеціалістів що займаються питаннями процесів виготовлення та застосування спеціальних видів прокату, а також для студентів, що навчаються за фахом обробки металів тиском денного і заочного відділень.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОСОБЛИВОСТІ ПРОКАТКИ У ВАКУУМІ.....	7
1.1 Одержання біметалів прокаткою у вакуумі та інертному середовищі .....	9
2 ТЕХНОЛОГІЯ ШАРУВАТИХ МАТЕРІАЛІВ.....	9
2.1 Класифікація шаруватих металів і галузі їх застосування .....	9
2.2 Способи виробництва шаруватих металів .....	11
2.3 Прокатка шаруватих металів.....	11
2.4 Схеми укладання складових біметалу і конструкцій пакетів.....	12
3 ПРОКАТКА МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ.....	18
3.1 Особливості асиметричної прокатки металевих порошків.....	20
4 ПОВЗДОВЖНЬО-ПЕРІОДИЧНА ПРОКАТКА.....	21
5 ПОПЕРЕЧНА, ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВА, ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВА ПРОКАТКА.....	23
6 ДЕФЕКТИ ПОПЕРЕЧНОЇ ПРОКАТКИ.....	25
7 ПЕРІОДИЧНІ ПРОФІЛІ.....	26
8 ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВА ПРОКАТКА РІЗЬБЛЕНЬ І ПРОФІЛІВ.....	30
9 НАКОЧУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ ПРОФІЛІВ.....	34
10 ВИРОБНИЦТВО КУЛЬ.....	36
11 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПЕРІОДИЧНОЇ ПРОКАТКИ.....	37
12 ОДЕРЖАННЯ ПРОФІЛІВ ЗМІННОГО Й ПЕРІОДИЧНОГО ПЕРЕТИНУ .....	47
13 ВИРОБНИЦТВО ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ПРОКАТУ.....	54
13.1 Характеристика обладнання для профілювання гнутих профілів прокату.....	57
14 ВИРОБНИЦТВО КОЛІС, БАНДАЖІВ І КІЛЕЦЬ.....	64
15 РОЗКОЧУВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВОК (РАДІАЛЬНА).....	69
16 РОЗДАЧА.....	70
17 ХОЛОДНЕ ТОРЦЕВЕ РОЗКОЧУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	70
18 НАВИВАННЯ ПРУЖИН І ГНУТТЯ ДРОТУ НА АВТОМАТАХ .....	72
19 СПОЛУЧНІ ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛОВИРОБІВ .....	72
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85

## ВСТУП

Прокат у металургії - це продукція одержувана на прокатних станах шляхом прокатки. Прокатується метал, отриманий на попередній стадії обробки металу - лиття. Зазвичай його називають "прокат металу" або "металопрокат".

Прокатка - один з найпоширеніших видів обробки металів тиском. Він полягає в обтисненні металу між двома валками, що обертаються. Силами тертя заготовка затягується в зазор між валками й обжимається по товщині. Після прокатки збільшується довжина (відбувається подовження) і ширина (відбувається розширення). Прокаткою отримують прокат різного призначення. Якщо температура прокатки вище температури рекристалізації, то прокатку називають гарячою. Якщо температура прокатки нижче температури рекристалізації, то прокатку називають холодною. Гарячий прокат отримують шляхом нагрівання металу для підвищення його пластичності, а холодний прокат виходить у тому випадку, коли пластичність металу достатня і без нагрівання (наприклад, у м'яких марок сталі).

Довжина прокатних станів залежить від обсягів виробництва прокату, від властивостей отриманої прокатої сталі й може бути дуже великою. Наприклад, довжина прокатного стану - 2000 на комбінаті "Северсталь" у Череповці, кілька сотень метрів. Часто на прокатному стані, поряд з основною функцією прокату, виконуються і додаткові функції: різання металу на частини, маркування або таврування, змотування в рулони, упакування тощо. Важливо дати визначення ще двом поняттям: "сортамент" і "профіль".

Сортамент - це сукупність прокатних профілів, що відрізняються за формою і розмірам.

Профіль - це форма поперечного перетину прокатного виробу.

Сортамент ділиться на 4 групи:

**Листовий** (лист, штаба (рулон), штрипс):

- гарячекатані тонкі (товщина до 4 мм);
- гарячекатані товсті (товщина більше 4 мм);
- холоднокатані (листи всіх розмірів).

Листи можуть також бути рифленими й оцинкованими.

**Сортовий:**

- *простий* (круг, квадрат, штаба плоского перетину);
- *фасонний*: загального (масового) споживання (кутовий профіль, швелери, двотаврові балки, шестигранні профілі тощо);
- спеціального призначення (рейки залізничні широкої й вузької колії, рейки трамвайні, профілі сільськогосподарського машинобудування, суднобудування, нафтової й електропромисловості).

По розміру профілі діляться на:

- великі;
- середні;
- дрібні.

**Труби:**

- круглі:

- безшовні;

- зварні.

- інші:

- профільні;

- з перемінним розміром перетину.

**Спеціальні види** (бандажі, колеса, кулі, періодичні й гнуті профілі).

Спеціальні види металопрокату є самими затребуваними. Наприклад, якщо швелер - це металева балка, у перетині, що нагадує літеру "П", то гнутий швелер - це така ж балка, але зігнута так, як потрібно для конкретного виробництва.

На структуру виробництва прокатної продукції великий вплив має специфіка господарства тієї або іншої країни, її промисловості й географії зовнішніх зв'язків. У цілому в світі головними галузями - споживачами прокату є промисловість (у якій особливо виділяються галузі транспортного й загального машинобудування), будівництво, транспорт і зв'язок які пред'являють специфічні вимоги до кінцевої продукції чорної металургії. Так, у продукції чорної металургії США традиційно велика частка тонколистового прокату, що пов'язане з більшим розвитком у країні автомобільної промисловості й виробництва різноманітної побутової апаратури (холодильників, кондиціонерів і т.п.), у Японії - середньо- і товстолістового прокату, який споживається у великих кількостях у суднобудуванні.

Питомі витрати на виробництво товарної продукції прокату на українських і російських підприємствах в 2-4 рази перевищують аналогічні показники для розвинених країн Заходу. Це положення пов'язане з високим зношуванням основних фондів, недостатнім використанням передових досягнень науки й техніки, значними витратами на транспортування сировини й готової продукції, високими витратами на електроенергію. Усі ці обставини значно знижують конкурентоспроможність вітчизняної металургійної продукції на зовнішньому ринку.

Просторове розміщення прокатного виробництва в Росії і на Україні подібно з географією розміщення виробництв чавуну й сталі. Пов'язане це з тим, що головними виробниками являються ті самі металургійні комбінати: Запоріжсталь, Дніпроспецсталь, Криворіжсталь, Череповецький, Новоліпецький, Нижньотагільський і інші комбінати. В цілому великі підприємства випускають більше 85 % прокату в СНД.

В останні десятиліття у світовій чорній металургії з'явився новий напрямок, новий тип підприємств - металургійні мінізаводи - передільні підприємства порівняно невеликої продуктивності. Поява й швидке зростання числа металургійних мінізаводів обумовили наступні передумови: низькі питомі капіталовкладення й короткий будівельний цикл, проста й компактна технологія, регіональна сировина у вигляді металевого брухту, спеціалізований сортамент продукції, орієнтований на конкретного споживача, висока продуктивність праці при оптимізації виробничих витрат, поява нових

технологій, а також створення нового технологічного обладнання - увесь цей комплекс об'єктивних передумов зробив металургійні мінізаводи одним з найбільш ефективних напрямків, що динамічно розвивається у чорній металургії. Прикладом можуть служити такі компанії, як ІСТІЛ (Донецьк), Дніпросталь (Дніпропетровськ) тощо. Металургійні мінізаводи часто використовують устаткування для металопрокату й різання металів китайського і тайваньського виробництва.

Виробництво прокату буває не тільки зі сталі й чорних металів, але також з кольорових металів: алюмінію, міді, титану і т.д. Прокат з кольорових металів буває у вигляді труб, листів (рифлені, тиснені), плит, кругів, кутків, шин і ін. Таким чином, світова металургія випускає металопрокат з різної сировини (чорних, кольорових і дорогоцінних металів).

Поряд з удосконалюванням традиційної технології обробки металів тиском (ОМТ) на базі автоматизації виробництва, здійснюється пошук, розвиток і вдосконалювання нових методів обробки. Застосування окремих нових методів в ОМТ у масовому виробництві економічно недоцільно. Однак в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва, коли традиційні методи ОМТ виявляються недоцільним, і частка витрат на технологічне оснащення в структурі собівартості й капітальних вкладень має максимальне значення й досягає 80...95%, застосування спеціальних методів ОМТ для виготовлення спеціальних видів прокату може виявитися найбільш ефективним.

Навчально-методичний посібник "Виготовлення спеціальних видів прокату" містить у собі процеси прокатки у вакуумі, прокатку біметалічних і шаруватих металів, прокатку металевих порошків, виробництво періодичних профілів прокату, виробництво гнутих профілів прокату, виробництво бандажів, коліс, куль, наочування різьблень і шестірень, об'єднані процеси виробництва металовиробів тощо.

## 1 ОСОБЛИВОСТІ ПРОКАТКИ У ВАКУУМІ

Прокатку у вакуумі використовують для запобігання газонасичення й окислення під час нагрівання й пластичної деформації. Найбільше поширення одержали прокатка в сталевих оболонках, нагрівання в попередньо вакуумованих ампулах, нагрівання в середовищі водню, нанесення різних захисних жаростійких обмазок, нагрівання в сольових ваннах. Однак при цих способах захисту не виключається часткове насичення металу активними газами й шкідливими домішками, які містяться в захисних середовищах, що значно погіршує фізико-механічні властивості металу, деформованість, якість поверхні й різко зменшує вихід придатного. Для зменшення впливу активних газів при нагріванні іноді застосовують інертне середовище, але сама деформація відбувається на повітрі, яке не виключає вищевідзначені недоліки.

Найбільш перспективними є процеси, при яких нагрівання, прокатка й охолодження металу проводяться в глибокому вакуумі або в інертному середовищі.

Усе більш широке поширення одержують методи кування й гарячої прокатки в захисній атмосфері, у тому числі розміщення усього основного обладнання в герметичних приміщеннях.

Дослідженнями встановлено, що навіть при досить високому вакуумі на поверхні оброблюваного металу утворюються окисли й нітриди. Тому важливе значення набувають питання про те, при якому парціальному тиску активних газів варто обробляти той або інший метал, а також чи можливо взагалі захистити даний метал від взаємодії з активними газами при вакуумі, що максимально досягається в установці.

Принципи хімічної термодинаміки дозволяють передбачати характер взаємодії металів з газами при даних термодинамічних параметрах і визначити умови (температуру й тиск), при яких виключається поглинання газів.

Для запобігання хімічної взаємодії металів з газами при температурах обробки необхідно, щоб парціальний тиск газу, обумовлений ступенем розрядження або чистотою інертного газу, не перевищувало пружності дисоціації з'єднання, яке утворюється при даній температурі.

Розрахунки показують, що для таких металів як вольфрам, молібден, нікель, мідь можна забезпечити вакуум, при якому буде виключено окислення металу. Для інших металів, таких як залізо, хром, ніобій, тантал, титан, цирконій, одержати необхідний вакуум важко або неможливо, тому вони окисляються. Однак при цьому варто враховувати й кінетичну сторону процесу, тому що при зниженні парціального тиску активних газів, швидкість реакцій взаємодії металів з газами різко зменшуються. З розрахункових даних випливає, що при вакуумній обробці металів можливо утворення нітридів титану й цирконію, у той час як нітриди інших металів дисоціюють при вакуумі, що досягається в сучасній техніці ( $10^{-3}$  н/м<sup>2</sup>).

Таким чином, у той час як для більшості розглянутих металів зберігається термодинамічна ймовірність окислення у вакуумі й середовищі інертного газу, утворення нітридів для більшості металів неможливо.



При парціальних тисках нижче пружності дисоціації, поверхня металу звільняється від оксидних плівок. Утворення такої поверхні приводить до збільшення сил тертя на межі оброблюваного металу тощострументу, і супроводжується звичайно адгезіоним схоплюванням поверхонь, налипанням металу на валки і так далі. Таким чином, у ряді випадків використання глибокого вакууму, який приводить до утворення поверхні без оксидної плівки, може виявитися небажаним.

При нагріванні й прокатці у вакуумі з підвищенням ступеня розрядження спостерігається поліпшення пластичних властивостей металів і їх технологічної деформованості. Це пояснюється деяким очищенням металів від газових домішок

Метали, прокатані у вакуумі, є більш крупнозернистими і мають меншу твердість.

**Зони твердіння.** При гарячій деформації металів внаслідок теплообміну між холодними валками й гарячою смугою відбувається утворення підстуженого приконтактного прошарку, який називається зоною твердіння.

В умовах прокатки у вакуумі, при відсутності теплорозділяючого прошарку окалини, зони твердіння ростуть більш інтенсивно і їх вплив на формозміну розкату значніше, ніж при прокатці на повітрі.

Одним з основних шляхів зменшення зон твердіння при обробці у вакуумі є підвищення швидкості прокатки.

Зони твердіння також можливо зменшити при застосуванні матеріалу валків з меншою теплопровідністю. Оскільки у вакуумі усувається небезпека перевитрати металу в наслідок утворення окалини, то зони твердіння можна зменшити за рахунок деякого перегріву поверхні штаби, що прокатується.

Основна відмінність процесу безокисного нагрівання й прокатки, від нагрівання й прокатки металу на повітрі при наявності окалини полягає в розбіжності умов контактного тертя при пластичній деформації. Ця розбіжність приводить, у свою чергу, до відмінності в розширенні, випередженні, опору деформації й витраті енергії.

Досліди по прокатці металу у вакуумі показали, що коефіцієнт зовнішнього тертя має, як правило, більші значення, ніж при прокатці на повітрі. Коефіцієнт тертя при прокатці у вакуумі на 20-25 % вище, чим при прокатці на повітрі й зростає з підвищенням температури. Основною причиною відмінності в коефіцієнтах тертя вважають окалину, яка для більшості металів відіграє роль змащення.

При прокатці у вакуумі зі збільшенням температури від 800 до 950<sup>0</sup>С випередження зростає від 6,0 до 6,8 %. Подальше збільшення температури прокатки до 1200<sup>0</sup>С приводить до зниження випередження до 5,5 %, що пояснюється перетворенням  $\alpha$ -заліза в  $\gamma$ -залізо. Випередження при прокатці у вакуумі має більш низьке значення, ніж при прокатці на повітрі, оскільки коефіцієнт тертя при прокатці у вакуумі вище. Зниження випередження при збільшенні коефіцієнта тертя пояснюється появою зон прилипання у осередку деформації.

**Розширення.** Встановлено, що при прокатці у вакуумі розширення значно вище, ніж при прокатці на повітрі. Так, при прокатці у вакуумі при температурі металу 1200<sup>0</sup>С и обтисненні 30 % показник розширення досягав 0,59, у той час як при прокатці на повітрі він дорівнював 0,35. Це пояснюється тим, що коефіцієнт тертя при прокатці у вакуумі вище, ніж при прокатці на повітрі. Питомий тиск металу на валки при прокатці у вакуумі в 2 - 4 рази вище, ніж при прокатці на повітрі.

### 1.1 Одержання біметалів прокаткою у вакуумі та інертному середовищі

*Переваги способу прокатки у вакуумі.* Відомо, що оксидні поверхневі плівки перешкоджають з'єднанню металів. Тому при всіх способах одержання біметалів одним з основних завдань є захист поверхонь, що зварюються, від окислення в період нагрівання. З цією метою широко застосовують інертні гази (аргон, гелій) або вакуум, у першу чергу, при виробництві біметалів, одним з компонентів яких є такі метали, як титан, цирконій, молібден.

На підставі проведених досліджень визначені наступні основні переваги плакування металів (тобто нанесення одного металу на інший) у вакуумі в порівнянні з іншими методами: 1) надійне забезпечення стабільних властивостей біметалу як в одному виробі, так і в партії виробів, прокатаних по однаковим режимам; 2) простота конструкції пакета, який забезпечує мінімальний видатковий коефіцієнт металу; 3) висока якість поверхні одержуваних виробів без будь яких додаткових операцій по поліпшенню поверхні; 4) відсутність підвищеної різнотовщинності листів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЯ ШАРУВАТИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1 Класифікація шаруватих металів і області їх застосування

Застосування шаруватих металів дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва широкого класу деталей і устаткування для підприємств хімічної, нафтової, сільськогосподарської, транспортної, енергетичної тощо галузей машинобудування. До споживачів шаруватих композицій відносяться також приладобудування й радіоелектроніка, інструментальна промисловість, товари побутового й господарського призначення.

Всі одержані в цей час шаруваті метали по призначенню можна підрозділити на наступні види: корозійностійкі, антифрикційні, електротехнічні (провідникові, контактні), інструментальні, зносостійкі, термобіметали, композиції для побутових виробів. У сортамент виробів із шаруватих металів входять листи, штаби, прутки, труби, фасонні профілі.

**Корозійностійкі шаруваті метали.** Для підвищення ефективності використання металу й захисту від корозії, його виготовляють у вигляді декількох шарів. Це дозволяє також знизити витрати дефіцитних металів і використовувати головну технічну перевагу слоїстої композиції - з'єднання в

одному матеріалі різних службових властивостей. Інші важливі властивості шаруватих металів: теплопровідність і технологічність (здатність до зварювання, гнуття, штампуванню). Корозійностійкі шаруваті метали застосовують у суднобудуванні для захисту від корозії в морській воді, у легкій і харчовій промисловості - для виробництва обладнання молочних заводів, резервуарів, емкостей, тощо.

**Зносостійкі шаруваті метали.** У зносостійких композиціях, як плакуючий шар, застосовують сталі й сплави з високою стійкістю проти абразивного зношування, а для основного шару зазвичай використовують низьколеговану сталь. Основним критерієм якості зносостійких матеріалів є питоме зношування твердого шару (лінійний або по масі), який визначається за допомогою випробувань зразків сільськогосподарського устаткування при обробці ґрунту.

**Електротехнічні шаруваті метали.** В електротехніці й електроніці шаруваті метали застосовують, як провідники, і як деталі контактних пристроїв (рисунок 2.1).

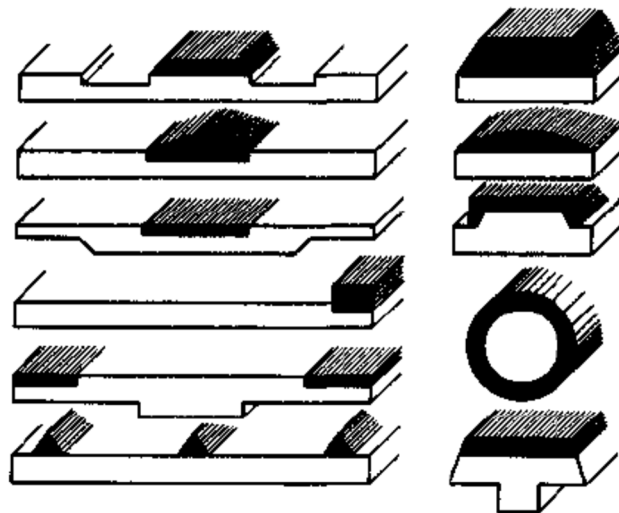


Рисунок 2.1 - Шаруваті смуги для електричних контактів і деталей електронних приладів

Зазвичай шарувата металева композиція поєднує в собі високі електричні й міцнісні властивості при мінімальній витраті дорогих і дефіцитних провідникових матеріалів (Cu, Ag, Au та інші). Крім того, біметалічні провідники мають, як правило, меншу масу й більш високу корозійну стійкість. Шаруваті метали знайшли широке застосування в контактних пристроях радіоелектронної апаратури. Прикладом може служити композиція на основі міді з покриттям у вигляді смуг зі срібла або його сплавів, яка виготовляється методом холодного плакування. Мікроконтакти з таких біметалів мають високу надійність.

**Антифрикційні шаруваті метали.** Одна з ефективних галузей використання шаруватих металів - виробництво підшипників ковзання

(нероз'ємних і зварених втулок, опорних кілець, сферичних опор, тощо). У сучасних машинах застосування підшипників ковзання більш перспективно, ніж застосування підшипників кочення, завдяки меншим габаритам і металосьмності, а також більш високим робочим характеристикам. Біметалічні підшипники виготовляють на автоматичних лініях за допомогою штампування при мінімальних відходах кольорових металів.

**Термобіметали.** Термобіметали широко застосовують для виготовлення чутливих елементів теплових приладів, автоматичних регуляторів температури й часу, компенсаторів, амперметрів, ватметрів, сигналізаційних пристроїв і таке інше. Основна характеристика термобіметалів - термочуттєвість, тобто здатність змінювати свою форму при нагріванні. Отже, для досягнення максимального вигину необхідно підбирати складові з великою різницею коефіцієнтів лінійного розширення.

## 2.2 Способи виробництва шаруватих металів

Усі способи виробництва шаруватих металів класифікуються за наступними п'ятьом основним параметрам, що визначають процес зварювання: 1) тиск (холодне зварювання); 2) тиск і температура (пресове зварювання, стикове зварювання опором, оплавленням, і з нагріванням струмами високої частоти без газового захисту, зварювання вибухом); 3) тиск, температура й середовище (зварювання опором, оплавленням, і з нагріванням токами високої частоти в контрольованому газовому середовищі); 4) тиск, температура, час і середовище (дифузійно-вакуумне зварювання); 5) тиск і швидкість взаємного переміщення (зварка тертям, ультразвукова зварка)

## 2.3 Прокатка шаруватих металів

Сутність методу одержання шаруватих металів прокаткою полягає в спільній деформації листів, смуг або штаб, металів що з'єднуються, зібраних у пакет. Прокатку застосовують і для одержання фасонних шаруватих профілів, труб, прутків і дроту. При цьому деформація може здійснюватися як у гарячому, так і в холодному стані. Гаряча прокатка - основний промисловий спосіб виробництва широкого класу шаруватих металів. Принципова схема способу складається з наступних основних операцій: підготовки складових пакета, збирання пакета, нагрівання і прокатки пакета, різання, термічної обробки, обробки й контролю якості готового шаруватого металу.

Для очищення контактних поверхонь, металів що з'єднуються від забруднень, оксидних і масляних плівок застосовують механічну обробку (строжку, фрезерування, абразивне й дробоструйне зачищення, а також зачищення металевими щітками), травлення, промивання й знежирення,

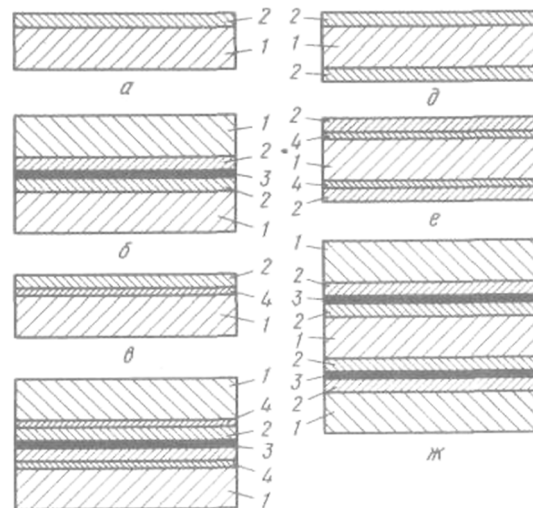
Для запобігання виникненню під час нагрівання й прокатки оксидних плівок на контактних поверхнях застосовують захист. Для цього на поверхні наносять покриття електrolітичними методами, наплавленням, напилюванням, Застосовують також підшар з фольги або порошків. У ряді випадків підшар

використовують не тільки для захисту поверхні від окислення, але й для запобігання взаємної дифузії складових, якщо вона приводить до зниження міцності з'єднання.

Для забезпечення надійного з'єднання металів, що погано з'єднуються один з одним, застосовують також попереднє плакування контактної поверхні одного з листів, що з'єднуються, пластиною металу, що добре з'єднується з обома складовими. Цей прийом використовують також при прокатці товстолистових шаруватих металів з метою зниження обтиснення, необхідного для забезпечення міцного з'єднання.

#### 2.4 Схеми укладання складових біметалу й конструкцій пакетів

На рисунку 2.2 наведені схеми укладання складових біметалу в пакети для прокатки дво- і тришарових листів.



а - несиметричний двошаровий пакет; б - симетричний подвійний пакет; в - несиметричний пакет зі сполучним підшаром; г - симетричний подвійний пакет зі сполучним підшаром; д, е - тришарові симетричні пакети без сполучного підшару і з підшаром відповідно; ж - семишаровий симетричний пакет для одержання одного тришарового і дво двошарових листів; 1 - основний шар; 2 - плакуючий шар; 3 - розділювальний підшар; 4 - сполучний підшар.

Рисунок 2.2 - Схеми укладання складових шаруватих металів у пакети для наступної прокатки дво- і тришарових листів

При одержанні двошарових композицій використовують несиметричні пакети (рисунок 2.2,а), складені з основного, й плакуючого шарів, а також подвійні (парні) симетричні пакети (рисунок 2.2, б). В останньому випадку одночасно одержують два біметалічні листи, ізольовані один від одного прошарком, який запобігає зварюванню однойменних складових при прокатці. На рисунку 2.2, в, г наведені схеми пакетів з підшаром. Для одержання листів із

двостороннім плакуванням застосовують прокатку симетричних тришарових пакетів без підшару (рисунок 2.2, д) і з підшаром (рисунок 2.2, е).

За допомогою прокатки семишарових симетричних пакетів можна одночасно одержувати тришаровий і два двошарові листи (рисунок 2.2, ж). При застосуванні симетричних пакетів зменшуються й навіть повністю виключаються вигин і короблення шаруватого металу при термічній обробці й прокатці. При прокатці несиметричних пакетів через відмінність в опорі деформації шарів неминучі вигин шаруватого металу, а часом і руйнування пакету.

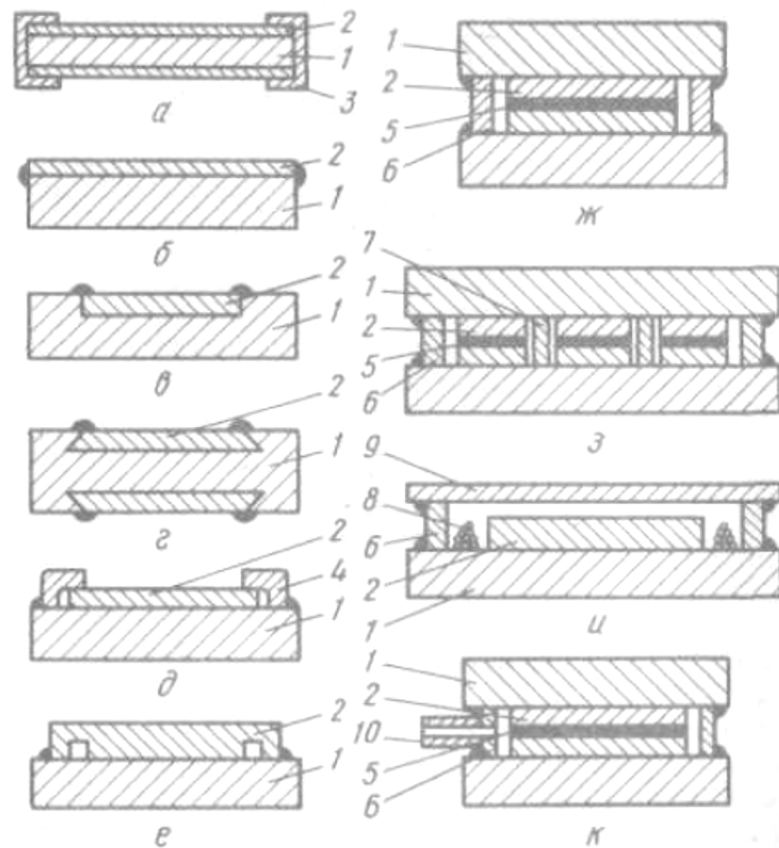
Конструкції пакетів різняться не тільки схемою укладання складових, але й способом їх з'єднання, що забезпечує міцність і герметичність при нагріванні і прокатці.

При холодній прокатці шаруватих металів не потрібен захист контактних поверхонь від окислення; це стосується також гарячої прокатки металів, оксидна плівка яких легко руйнується й не знижує суттєво міцності з'єднання. У цьому випадку можна проводити прокатку без попереднього скріплення складових або з використанням найпростіших способів скріплення переднього кінця пакета, наприклад, за допомогою заклепок. Однак при гарячій прокатці більшості шаруватих металів герметизація пакета обов'язкова.

Один з найбільш старих способів складання пакета невеликої товщини полягає в обгортанні пластини основи плакуючим листом. Таким чином ще в минулому столітті одержали біметал свинець + олово: невеликий злиток свинцю обгортали листами олова й прокатували отриманий пакет при 70 - 100°C. При одержанні тришарових листів томпак + сталь + томпак довгий час використовували пакети товщиною до 32 мм, що збираються за допомогою обгортання сталевий пластини томпаковою смугою (рисунок 2.3, а).

На незакриті торці пакета надягали скоби (накладки) з тонкої сталевий стрічки. Такі пакети піддавали нагріванню у відновлювальній атмосфері до 900°C і наступній гарячій й холодній прокатці до товщини 0,15 - 1 мм. В наш час композицію сталь + томпак виготовляють за допомогою холодної прокатки рулонним способом.

Для зборки пакетів з відносно товстих складових широко застосовують електрозварювання, а в окремих випадках (коли метали не піддаються зварюванню) використовують пайку. На рисунку 2.3, б показана конструкція пакета для прокатки біметалу, складові якого мають близькі коефіцієнти теплового розширення. Плакуючий шар приварений по периметру до основного шару. При прокатці біметалу по схемах, наведених на рисунку 2.3, в, г пластини, що плакують, укладають у поглиблення, простругане або профрезероване в основній пластині, а потім заварюють місця стиків.



а - двошаровий пакет із захистом торців скобами; б - г - пакети зі складових з близькими коефіцієнтами теплового розширення; д, е - пакети, що дозволяють компенсувати різницю в тепловому розширенні складових; ж - чотиришаровий подвійний пакет; з - секційний пакет; и - пакет з пірофорною речовиною; к - вакуумуємий пакет; 1 - основний шар; 2 - плакуючий шар; 3 - захисні скоби; 4 - кутки; 5 - розділюючий шар; 6 - захисні планки; 7 - розділювальні планки; 8 - пірофорна речовина; 9 - пластина-кришка; 10 - вакуумуючий патрубок.

Рисунок 2.3 - Схеми пакетів для гарячої прокатки шаруватих металів

У випадку істотної різниці в коефіцієнтах теплового розширення основного і плакуючого металів конструкція пакета повинна забезпечувати компенсацію цієї різниці. На рисунку 2.3, д показаний пакет, у якому плакуючий лист має більший, ніж лист основи коефіцієнт теплового розширення. Він має зазор між своїми торцевими поверхнями і кутками, привареними до пластини основи, для теплового розширення.

Конструкція пакета на рисунку 2.3, е дозволяє пластині, що плакує, згинатися при нагріванні завдяки зменшенню її жорсткості за допомогою проточки пазів поблизу кромки.

При складанні чотиришарових подвійних пакетів використовують захисні планки, приварені до пластин основного металу (рисунок 2.3, ж). Зазори між планками і плакуючими пластинами, дозволяють компенсувати різницю в тепловому розширенні металів.

Для прокатки особливо товстих листів можна застосовувати секційні пакети (рисунок 2.3, з), які спочатку прокатують на обтискному стану, потім розрізають уздовж по розділювальним планкам, одержуючи дві або три (по числу секцій) чотиришарові герметичні заготовки, які надалі прокатують на товстолистовому стані.

Слід зазначити, що жодна з наведених конструкцій пакетів не забезпечує їхньої повної герметизації, тому в ряді випадків застосовують додаткові заходи, спрямовані на запобігання окислення контактних поверхонь. Наприклад, для поліпшення умов зварювання біметалів, у пакетах розміщують пірофорні речовини (порошки титану, алюмінію, магнію тощо), які при нагріванні зв'язують кисень і азот, тим самим зменшуючи взаємодію останніх з контактними поверхнями металів, що з'єднуються (рисунок 5, и). З цією метою застосовують також вакуумування пакетів і продувку їх інертними газами (рисунок 2.3, к). Для одержання шаруватих композицій з легкоокислюваних тугоплавких, рідких і благородних металів в ряді випадків використовують прокатку на вакуумних станах.

У наш час найбільш ефективним способом виробництва шаруватих металів невеликої товщини є рулонна прокатка. Цей спосіб у порівнянні зі способом поштучної пакетної прокатки має суттєво більшу продуктивність, дозволяє зменшити трудомісткість, дає можливість механізувати й автоматизувати технологічний процес, поліпшити умови праці.

Схеми установок для виробництва шаруватих біметалів рулонним способом наведені на рисунку 2.4. В СНД і за кордоном методом холодної прокатки виробляють шаруваті композиції зі сталі, алюмінію, міді, титану, нікелю та їх сплавів.

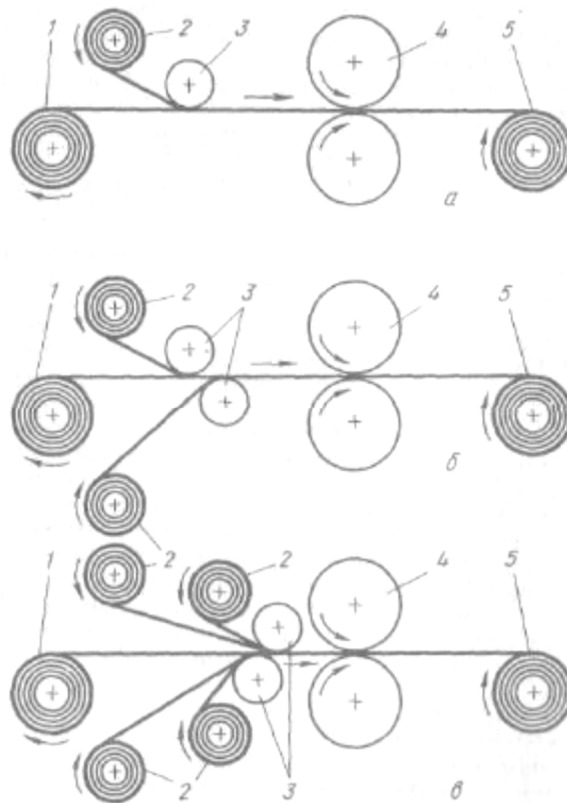
При одержанні біметалічних прутків використовують прокатку складеної заготовки в калібрах. Прокатку зазвичай ведуть у системах калібрів ромб - квадрат і коло - овал. Одержувана кругла заготовка йде на наступне волочіння дроту для електротехнічної, хімічної тощоших галузей промисловості. Як основу (сердечника) біметалу звичайно використовують вуглецеві й низьколеговані сталі, а в якості плакуючого шару - мідь, алюміній, нікель і інші метали і сплави. Біметалічні труби можна одержувати також за допомогою поперечно - гвинтової прокатки заготовки суцільного перетину.

При виробництві інструментальних і зносостійких композицій використовують прокатку заготовок з місцевим плакуванням (рисунок 2.5, а).

Для виготовлення електричних контактних пристроїв використовують так звані шаруваті метали зі смуговим покриттям. Їх одержують спільною холодною прокаткою основного шару, на якому встановлюють паралельно розташовані заготовки плакуючого шару. Схема складання вихідних складових для одержання композицій зі смуговим покриттям і їх кінцевий перетин наведений на рисунку 2.5, б, в.

Профільні шаруваті композиції з декількома паралельними смугами металу, що плакує, можна одержувати за допомогою прокатки в каліброваних валках (рисунок 2.6).





1 - розмотувач із рулоном смуги основного шару; 2 - розмотувач із рулоном смуги плакуючого шару; 3 - направляючі ролики; 4 - робочі валки прокатного стану; 5 - моталка з рулоном багат шарової смуги.

Рисунок 2.4 - Схема отримання дво-, (а), три- (б) і п'ятишарової (в) штаби методом холодної прокатки в рулоні

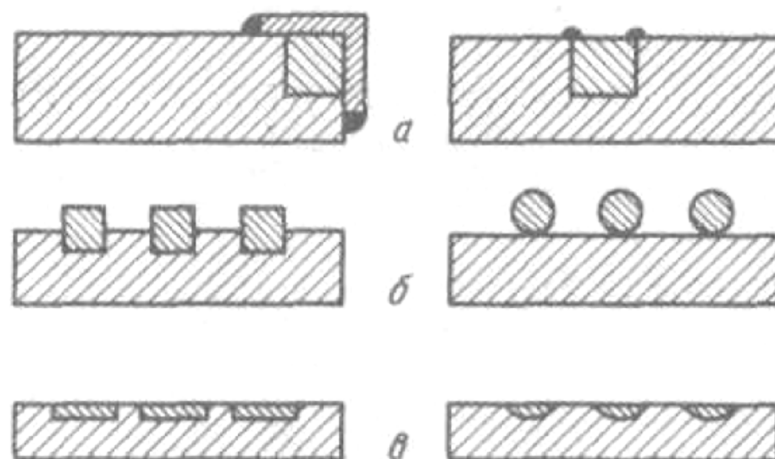
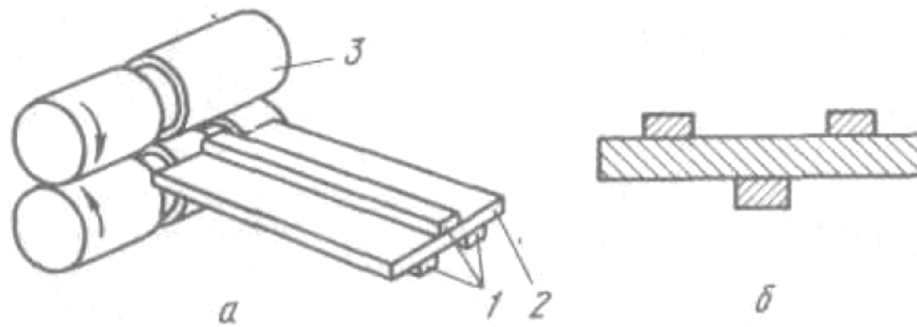


Рисунок 2.5 - Шаруваті заготовки з місцевим плакуванням (а), схема складання вихідних складових (б) і кінцевий перетин (в) шаруватих металів зі смуговим покриттям



1 - смуги плакуючого металу; 2 - основний шар; 3 – валки

Рисунок 2.6 - Схема прокатки шаруватих композицій зі смуговим покриттям у каліброваних валках (а) і кінцевий перетин композиції (б)

За допомогою спільної прокатки виготовляють дво- і тришарові панелі з каналами, призначені для виробництва випарників і теплообмінників з міді, алюмінію і їх сплавів.

При виробництві теплообмінників, елементів жорсткості у фюзеляжах і крилах літаків застосовують метод спільної холодної прокатки смуг з мідних і алюмінієвих сплавів з легованими сталями (рисунок 2.7).

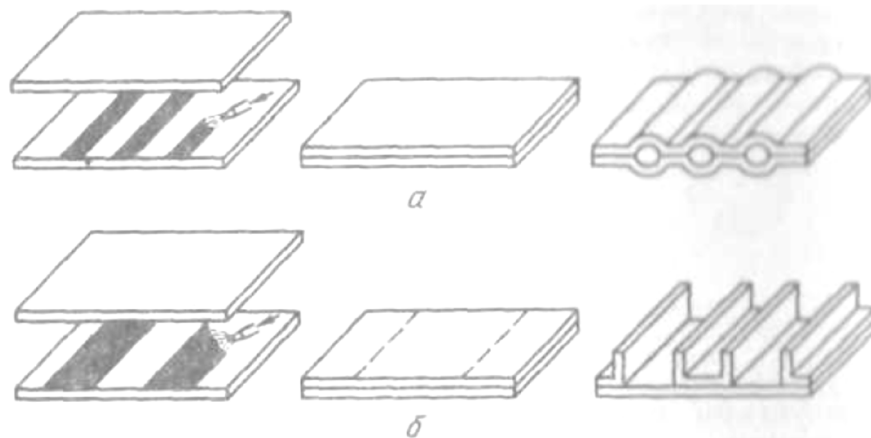


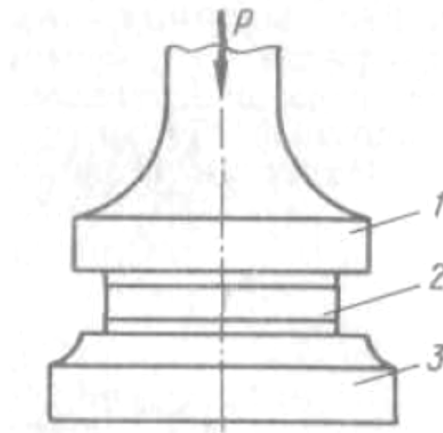
Рисунок 2.7 - Схеми виготовлення теплообмінників і елементів жорсткості за допомогою роздачі газом (а) і відгинання ребер (б)

Перед плакуванням на ділянки поверхні смуги - основи наносять спеціальну пасту, яка запобігає з'єднанню листів при прокатці. Після плакування отриману шарувату смугу нагрівають, у результаті чого паста розкладається і утворює газ. Діючи на смуги, газ розсовує їх, формуючи задану конструкцію. Для одержання ребристих панелей використовують також аналогічний процес, який полягає в наступному. На смугу - основу наносять пасту, яка запобігає з'єднанню основної й плакуючої смуги, але не розкладається з утворенням газу. Після прокатки смугу, що плакує, надрізають у місцях нанесення пасти й відгинають, створюючи ребра.

У хімічному і сільськогосподарському машинобудуванні, приладобудуванні та інших галузях знаходять застосування дво- і тришарові

труби й трубчасті конструкції (корозійностійкі, антифрикційні, провідникові). У якості основного шару використовують вуглецеві й леговані сталі, сплави на нікелевій основі, тощо. Для плакуючого шару застосовують мідь, алюміній, нікель і їх сплави. Основний спосіб виробництва таких труб полягає в складанні слоїстої заготовки, її деформації в холодному стані (прокатці, волочінні), термообробці

Шаруваті металеві композиції невеликих розмірів можна одержувати за допомогою осадки. Пакет, зібраний з компонентів, що з'єднуються, нагрівають у печі, а потім поміщають між бойками преса й осаджують (рисунок 2.8). Після цього отриману слоїсту заготовку піддають прокатці до потрібного розміру. Інший варіант методу полягає в тому, що попередньо стиснений пакет нагрівають у печі й витримують там до утворення міцного з'єднання. Можливості методу осадки обмежені потужністю пресового обладнання і значною нерівномірністю деформації шарів, викликані силами тертя на поверхні контакту металу з інструментом (бойками).



1 - верхній бойок; 2 – з'єднанна заготовка; 3 - нижній бойок.

Рисунок 2.8 - Схема одержання шаруватих металів за допомогою осадки

### 3 ПРОКАТКА МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

Порошкова металурія є одним з найефективніших технологічних процесів, що забезпечують одержання виробів із заданими властивостями й формою, мінімальними відходами й низькою трудомісткістю.

Використання порошкової металургії в масовому виробництві підвищує продуктивність праці в 1,5 - 2 рази, скорочується кількість операцій до три разів, втрати матеріалів становлять 5 - 10 %. Ці та інші переваги порошкової металургії обумовили її широке застосування в промисловості всіх розвинених країн світу.

Одним з перспективних методів виготовлення довгомірних напівфабрикатів є прокатка металевих порошків. Прокатка порошків відкриває широкі можливості виготовлення листів і стрічок з нетрадиційних матеріалів зі

спеціальними властивостями, пористих і безпористих листів, біметалічних і багат шарових листів з високою якістю з'єднання шарів.

Прокатка порошків, як спосіб одержання металокерамічних матеріалів, у порівнянні із прокаткою литих металів характеризується меншими капітальними витратами на обладнання, різким скороченням числа операцій і більш високим виходом придатного.

Прокаткою порошків можна одержувати конструкційні, зварювальні, електротехнічні, фрикційні, антифрикційні напівфабрикати (листи, стрічки, дріт, тощо), а також вироби для атомної енергетики.

Фільтри для очищення рідин, газів і розплавів, електроди електрохімічного виробництва й паливних елементів, каталізatori, протиобліднювачі, дозатори, елементи пневмотранспорту, сушильних, змішувальних і флотаційних машин - такий неповний перелік можливих галузей застосування пористого прокату.

У порівнянні з аналогічними по призначенню матеріалами - металевими сітками, картоном, повстю, тканими матеріалами, керамікою, пористий листовий прокат дає високий ступінь очищення, він міцний, пластичний і термостійкий, має високу тепло- і електропровідність. Властивості листового прокату легко регулювати, листовий пористий прокат досить технологічний при згинанні, різанні, пайці, зварюванні.

Прокат, виготовлений з порошків, не має дефектів, властивих звичайному прокату (ліквіація різних видів, сегрегація, екзогенні й ендогенні неметалічні включення, плівки, рванини, раковини й таке інше). Тому з порошків можна одержувати прецизійний псевдосплавний прокат високої чистоти й однорідної структури. На рисунку 3.1 представлені схеми одержання листового прокату.

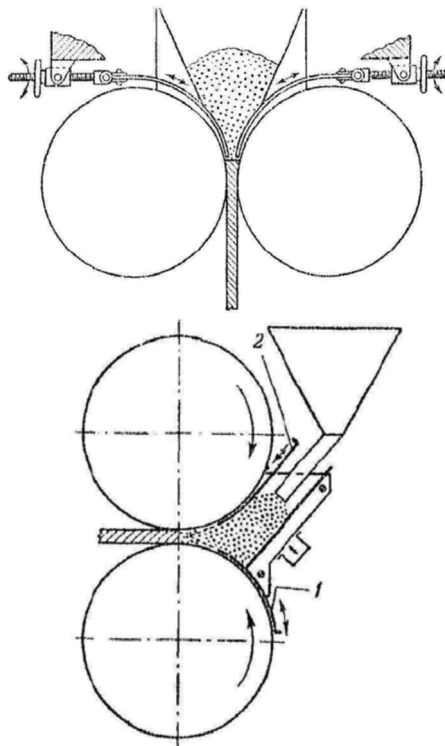


Рисунок 3.1 - Схеми одержання листового прокату

### 3.1 Особливості асиметричної прокатки металевих порошків

Як правило, порошкові матеріали прокочують у симетричному осередку деформації, тобто коли діаметри робочих валків однакові й швидкості їх обертання також однакові. Однак виготовлення напівфабрикатів і виробів методом прокатки порошків у симетричному осередку деформації пов'язано зі значними труднощами, викликаними, в основному, неможливістю створити як задній, так і передній натяг стрічки. Труднощі одержання прокату особливо проявляються при прокатці стрічки, щільність якої перевищує 0,80 - 0,85 відносної щільності матеріалу порошку, коли нерівномірний розподіл контактних нормальних напруг в осередку деформації по ширині прокату приводить до значного росту напруг розтягання й, як наслідок, до руйнування прокату на виході з валків.

Останнім часом був встановлений позитивний вплив асиметричної прокатки, що дозволяє докорінно вдосконалити технологію прокатки металевих порошків і гранул.

Асиметрична прокатка здійснюється за рахунок неузгодженості окружних швидкостей робочих валків, в основному, по двом варіантам: приводні валки мають неоднакові діаметри, але однакові кутові швидкості, або приводні валки мають однакові діаметри, але різні кутові швидкості.

Асиметрична прокатка дозволяє усунути багато недоліків, властивих традиційній симетричній прокатці.

Так, наприклад, вивчалася асиметрична прокатка електролітичного мідного порошку з використанням валків однакового діаметра, які оберталися з різною кутовою швидкістю. В результаті проведених експериментів встановлене значне зниження загального тиску прокатки в порівнянні з симетричною прокаткою, що дозволяє підвищити точність і площинність стрічки, що прокатується, за рахунок зниження пружних деформацій робочих валків прокатного стану.

Асиметрична прокатка стрічки з відходів алюмінієвого сплаву дозволяє повністю позбутися тріщин на кромках і серпоподібності стрічки.

Вимірювання контактних напруг в осередку деформації показало, що при асиметричній прокатці максимальна нормальна контактна напруга з боку меншого валка завжди більше, ніж з боку більшого валка, незалежно від матеріалу, що прокатується.

Асиметричну прокатку порошкових матеріалів при зміні неузгодженості швидкісних параметрів робочих валків за рахунок використання валків різного діаметра можна представити у вигляді дво станів, або періодів, початкового нестійкого і стійкого. Початковий нестійкий період, коли зміна параметрів прокатки (тобто кута прокатки, нейтрального кута й максимальної контактної нормальної напруги в осередку деформації) не підкоряється якійсь закономірності, пов'язаний з тим, що на процес прокатки впливає, крім неузгодженості швидкісних параметрів, зміна конфігурації осередку деформації при різних діаметрах валків.

Значний вплив на стійку зміну параметрів прокатки виявляє неузгодженість швидкостей при співвідношенні діаметрів валків  $D_6/D_M > 1,2$  незалежно від матеріалу, що прокатується. Співвідношення діаметрів валків  $D_6/D_M = 1,2$  є тим порогом, коли система зі стану хиткої рівноваги переходить в активну фазу зміни параметрів прокатки, створення такого балансу сил, коли в осередку деформації починають формуватися додаткові сили, які виконують роль переднього й заднього натягу. Це становище в ідеалі буде мати місце, коли нейтральний кут на більшому валку буде дорівнювати нулю або близьким до нього.

Таке твердження засноване, у тому числі, і на поведінці стрічки при прокатці з неузгодженістю  $V_6/V_M > 1,2$ , коли вдається позбутися такого небажаного явища як серпоподібність.

Таким чином, визначено, що для стійкої прокатки металевого порошку неузгодженість швидкісних параметрів повинне бути не менше 30 %.

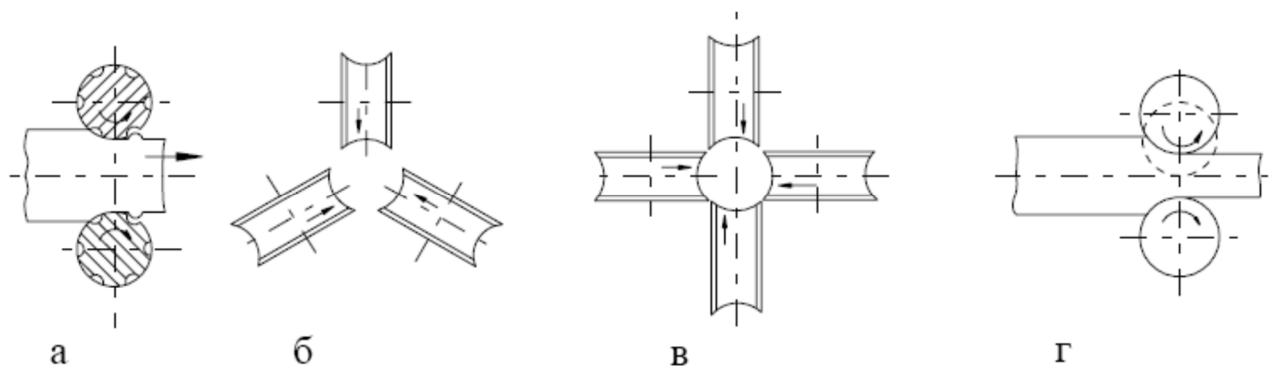
#### 4 ПОЗДОВЖНЬО - ПЕРІОДИЧНА ПРОКАТКА

Поздовжньо-періодичну прокатку виконують у дво - (а), три - (б), чотири - (в) вальцевих станах, а також у стан-пресі (г) (рисунок 4.1).

Періодичні профілі підрозділяють на наступні типи:

1 - з періодичністю профілю лише з боку одного валка;

2 - з періодичністю профілю з боку дво (або декількох) валків.



а - двовалкова; б - тривалкова; в - чотиривалкова; г - стан-прес

Рисунок 4.1 - Схеми станів поздовжньо-періодичної прокатки

*Перший тип:* калібр одного має змінний профіль, а на другому (чи інших) нарізується рівчак постійного перетину.

*Другий тип:* обидва валки (або всі валки) мають змінний профіль рівчаків; однак по куту повороту відносно один одного валки можуть встановлюватися довільно, точного збігу фігур не потрібно.

Профілі першого й другого видів можна прокатувати на сортових прокатних станах або вальцях. Періодичні профілі з плавними переходами можна прокатувати на стані-пресі (рисунок 4.1 г), що має гладкі валки

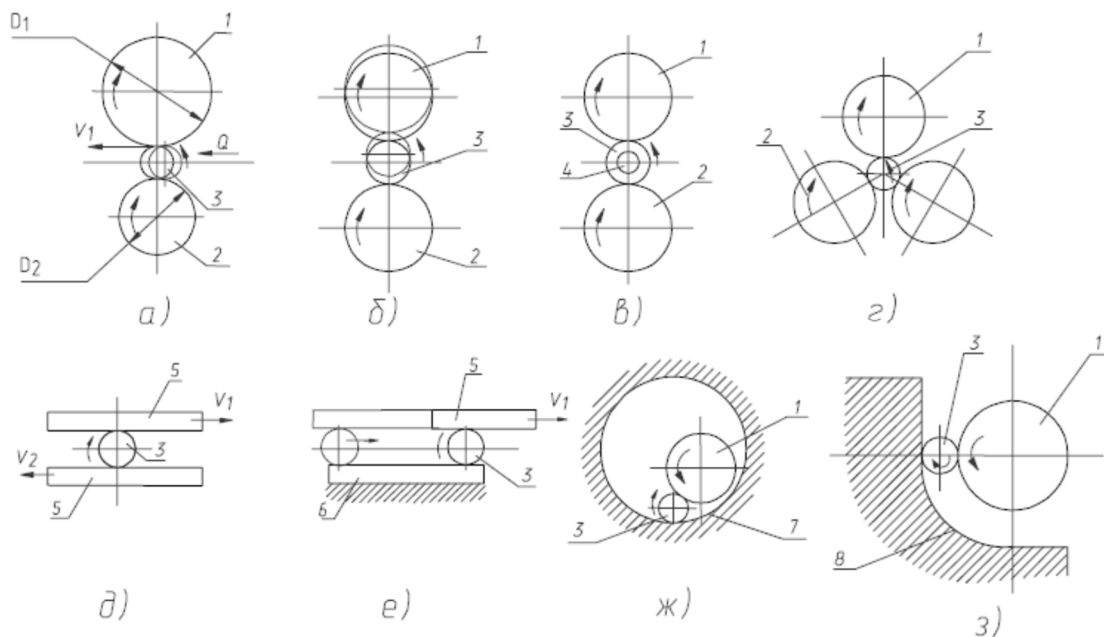
постійного радіусу, що переміщуються в процесі прокатки відносно один одного.

## 5 ПОПЕРЕЧНА, ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВА, ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВА ПРОКАТКА

При поперечній прокатці інструмент надає заготовці обертовий рух, у зв'язку з цим поперечна прокатка і її різновиди (поперечно-гвинтова й поперечно-клинова) служать лише для обробки тіл обертання, обробляючи метал у поперечному напрямку.

Продуктивність процесу в порівнянні з обробкою на токарських автоматах збільшується більш ніж в 10 разів, коефіцієнт використання металу (КВМ) більше на 30 - 60 %. Підвищується якість продукції, міцність і зносостійкість.

Поперечна прокатка може здійснюватися у двовалковому або тривалковому прокатному стані (рисунок 5.1, а-г), валки якого обертаються в одну сторону, надаючи заготовці, що перебуває між ними, обертання у зворотному напрямку.



1,2 - валки; 3 - заготовка; 4 - оправка; 5 - пересувна плита; 6 - непересувна плита; 7 - барабан; 8 - сегмент

Рисунок 5.1 - Схеми поперечної прокатки

Для забезпечення безперервності процесу при проходженні заготовки через зону деформації окружні швидкості валків двовалкового прокатного стану мають нерівні величини ( $V_1 > V_2$ ) за рахунок різних робочих діаметрів валків ( $D_1 > D_2$ ).

Для просування заготовки через осередок деформації застосовуються спеціальні пристрої, що проштовхують заготовку, тобто прикладається зусилля  $Q$ .

Обтиснення заготовки в міру її обертання між валками проводиться зближенням валків у процесі поперечної прокатки (рисунок 5.1, б-г). Такий прийом використовують при прокатці шестірень. У цьому випадку застосовується примусове синхронне обертання заготовки з метою отримання точних зубців шестерень.

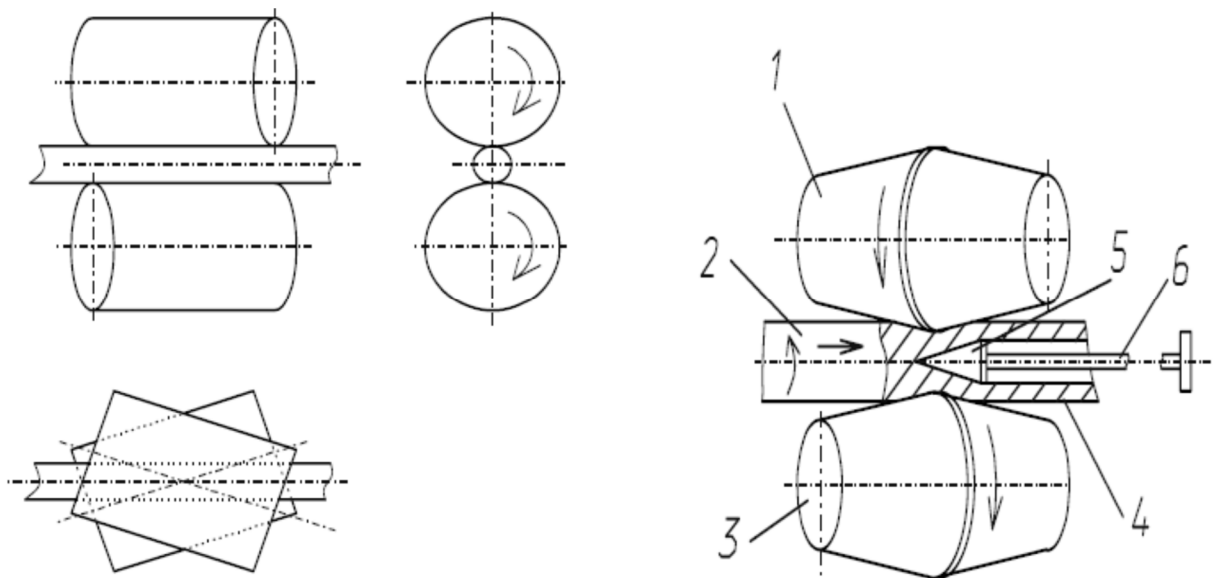
Поперечну прокатку порожнистих виробів виконують на оправці (рисунок 5.1, в). Поперечну прокатку можна робити в поступово рухомому інструменті (рисунок 5.1, д, е), як без переміщення осі заготовки ( $V_1 = V_2$ , д), так і при її переміщенні ( $V_1 > V_2$ , е). У такий спосіб роблять накатку різьблення на різьбонакатних верстатах.

Поперечну прокатку здійснюють також у барабанних верстатах (рисунок 5.1, ж), у валково-сегментних верстатах (рисунок 5.1, з).

*Поперечно-гвинтова прокатка* (коса прокатка) - різновид поперечної прокатки, коли валки дво- і тривалкового стану розташовуються під кутом один до одного і до осі заготовки, яка одержує не тільки обертовий рух, але й рух уздовж осі заготовки, що сприяє безперервності процесу.

Поперечно-гвинтову прокатку застосовують при виробництві труб і трубних заготовок на дво- і тривалкових станах (рисунок 5.2), втулок різних видів (рисунок 5.3, а, б), для підготовки заготовок під штамповку.

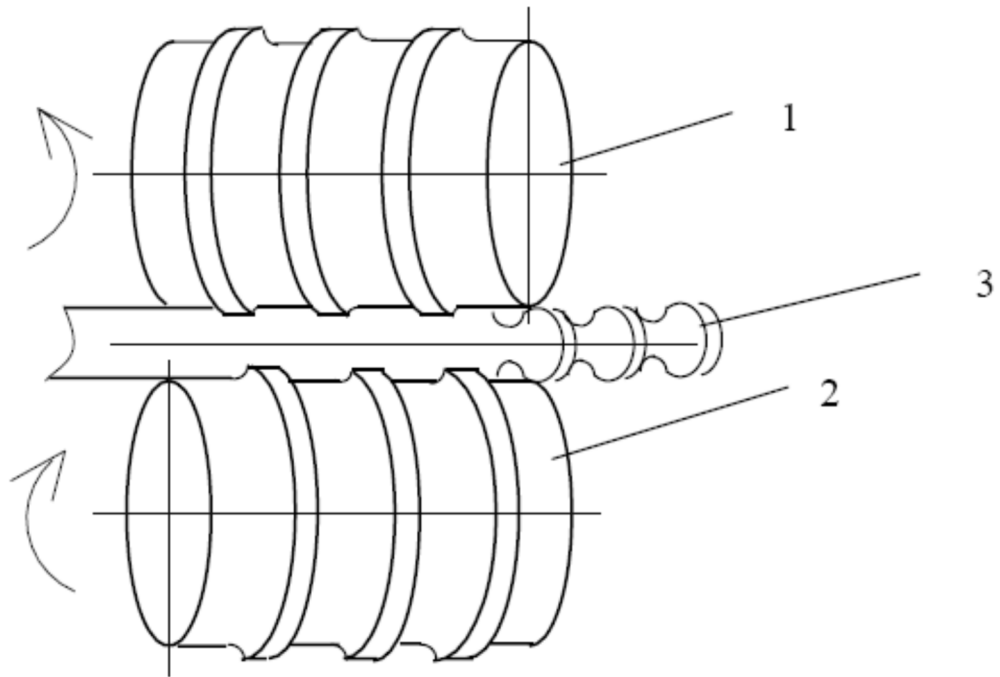
*Поперечно-клинову прокатку* виконують в інструменті, що має бічні похилі грані, розташовані під кутом до площини обертання. У процесі прокатки ці грані змушують переміщатися надлишок металу, що виникає при впровадженні інструмента в заготовку, тобто сприяють перерозподілу металу вздовж осі заготовки. Частина металу, що залишилася на даній ділянці, прокатується між інструментами, здобуваючи їх профіль у поздовжньому перетині тіла обертання (рисунок 5.4).



1 - лівий валок; 2 - заготовка; 3 - правий валок; 4 - гільза; 5 - оправка; 6 - штанга

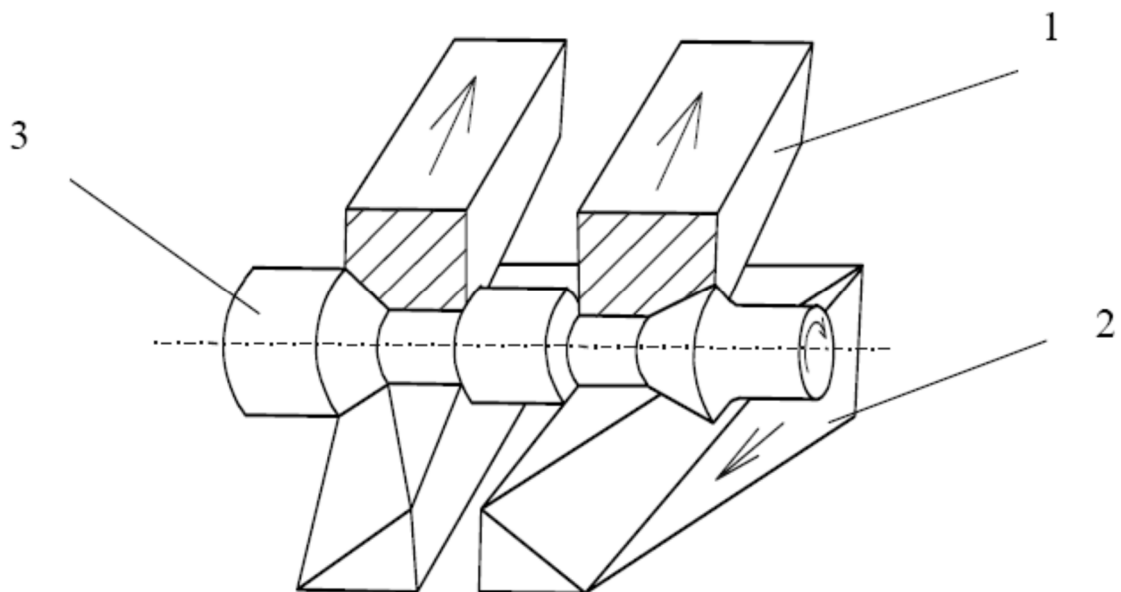
Рисунок 5.2 - Основні схеми поперечно - гвинтової прокатки





1, 2 - валки; 3 - заготовка

Рисунок 5.3 - Поперечно - гвинтова прокатка в спіральних калібрах

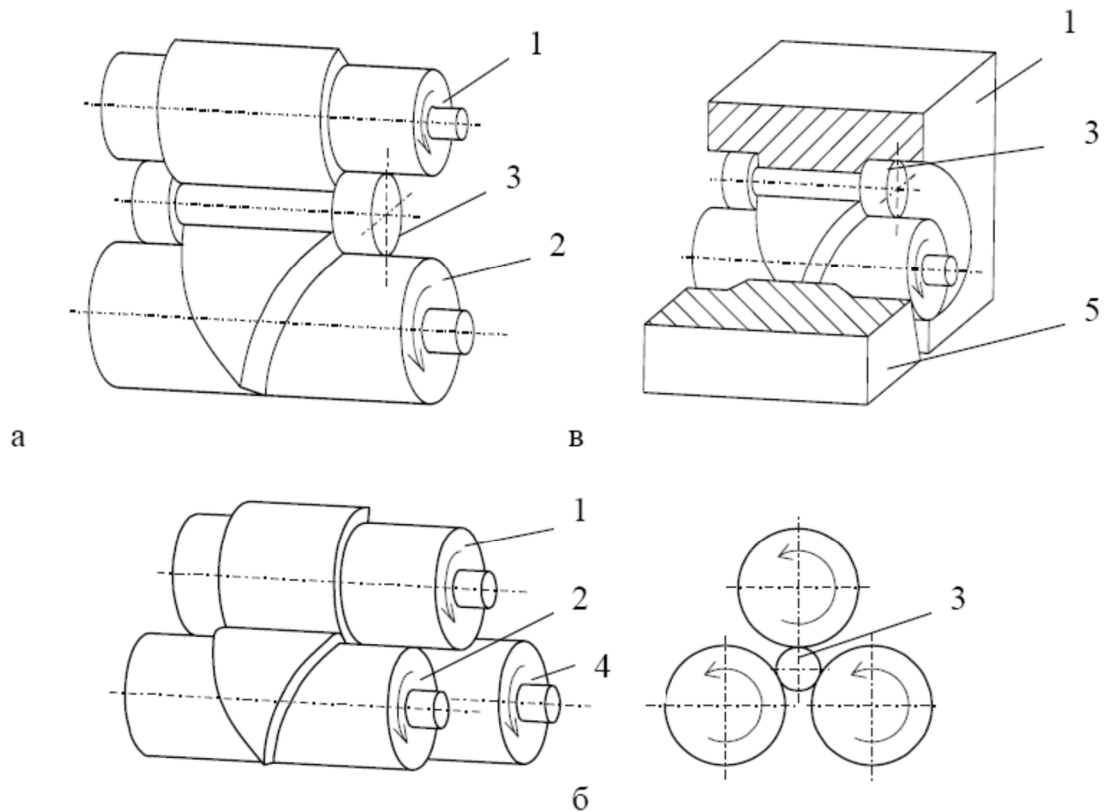


1, 2 - інструмент; 3 - заготовка

Рисунок 5.4 - Схема поперечно-клинової прокатки

При русі інструмента обтиснення заготовки в міру її обертання відбувається поступово (у зонах прямого контакту), форма інструмента має вигляд клина.

Поперечно-клиновою прокаткою одержують як готові вироби, так і заготовки під штампування (рисунок 5.5).



а - двовалковий стан; б - тривалковий стан; в - валково-сегментний стан;  
 1, 2, 4 - валки; 3 - заготовка; 5 – сегмент

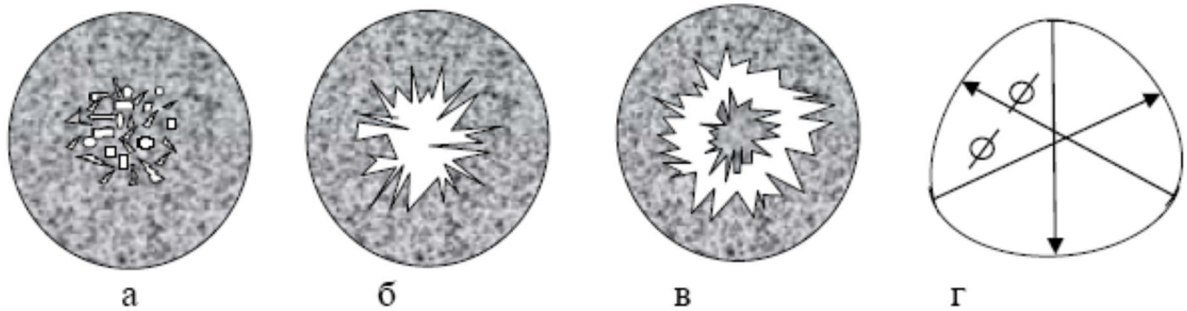
Рисунок 5.5 - Основні схеми поперечно-клинової прокатки

В двовалковому стані (рисунок 5.5, а) заготовка утримується в робочій зоні направляючими. Можлива прокатка виробів з прутка, що ефективно при виготовленні коротких деталей. Тривалкові стани (б) знижують імовірність руйнування заготовки в її осьовій зоні. Валково-сегментний стан (в) працює тільки із штучною заготовкою при відносно невисоких вимогах стосовно точності виробу.

## 6 ДЕФЕКТИ ПОПЕРЕЧНОЇ ПРОКАТКИ

Дефекти поперечної прокатки можуть мати різний характер. Вони багато в чому аналогічні дефектам, що утворюються при звичайній прокатці і штампуванні: тріщини, плени, закати, завальцьовані заусенці, однак при поперечній прокатці зустрічаються дефекти й види браку, властиві тільки поперечній прокатці.

Це осьова рихлість, розкриття осьової або кільцевої порожнини, утворення тригранних тіл обертання, що мають постійний діаметр (рисунок 6.1).



а - осьова рихлість; в - розкриття кільцевої порожнини; б - розкриття осьової порожнини; г - тригранне тіло обертання

Рисунок 6.1 - Дефекти прокатки

Осьова рихлість і розкриття осьової рихлості (а) і (б) виникають внаслідок появи в зоні деформації розтягувальних напруг (властиво при прокатці на двовалковому стані). При прокатці на три-, чотиривалкових станах (рисунок 6.1 а, б) дані види дефектів спостерігаються значно рідше. Тригранна форма тіла (г) утворюється при великих обтисненнях, коли спостерігається прослизання відносно заготовки, що прокатується, то по одну, то по іншу сторону валка.

Крім того, можуть бути присутні наступні дефекти:

- неметалічні включення внаслідок засмічення шлаками, продуктами розкислення, вогнетривкими матеріалами; виявляються при різанні заготовок і при перегляді мікро- і макрошліфів;

- подряпини допускаються не більше 0,1 мм для 0 до 20 мм і не більше 0,2 для 0 до 40 мм;

- волосовини - тонкі поздовжні тріщини після прокатки (утворюються за рахунок газо-бульбашкового витягування);

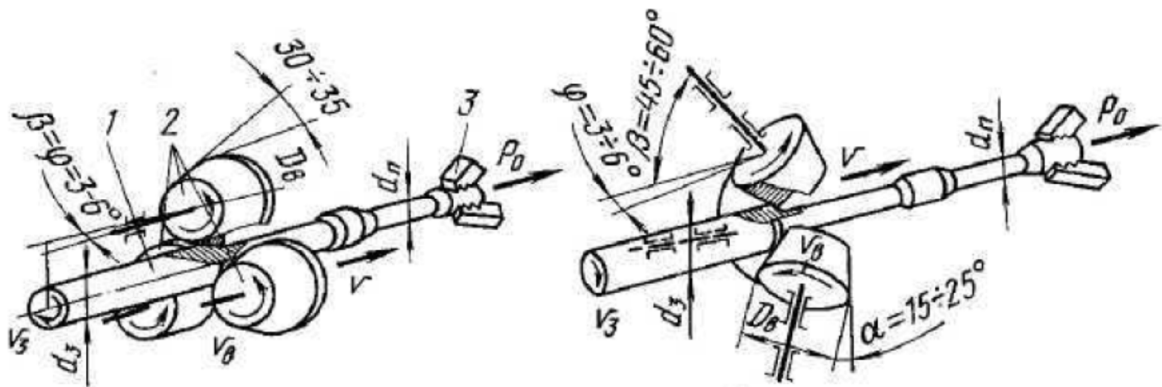
- завальцьовані заусенці.

## 7 ПЕРІОДИЧНІ ПРОФІЛІ

Процеси одержання спеціальних видів прокату відрізняються більшою різноманітністю. Причому деякі з них здійснюють на металургійних підприємствах, а інші - на машинобудівних. Особливо велике значення має прокатка періодичних профілів, які застосовують як фасонну (економічну) заготовку для наступного штампування і як заготовку під остаточну механічну обробку.

До економічної вихідної заготовки можна віднести низку періодичних профілів, що представляють собою круглу сталь зі змінним перетином на певній довжині розкату. Так, наприклад, для виготовлення осей і напівосей вантажних автомобілів потрібні профілі змінного перетину (рисунок 7.1), які

раніше виготовляли шляхом обточування заготовки круглого перетину на токарних верстатах.



а - з дисковими валками; б - з конічними валками;

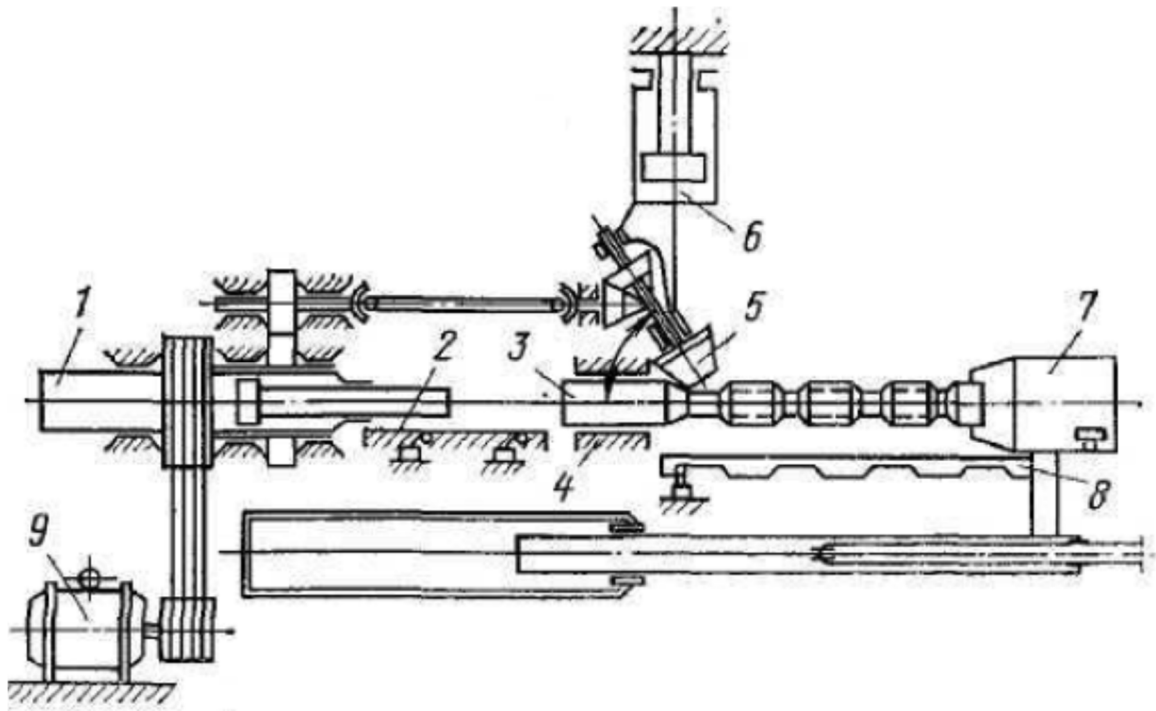
1 - заготовка; 2 - робочі валки; 3 - натяжний пристрій;  $D_B$  - діаметр валка;  $d_з$  - діаметр заготовки;  $d_п$  - діаметр профілю;  $P_0$  - осьове зусилля;  $\alpha$  - кут профілю валків;  $\beta$  - кут нахилу осей валків;  $\varphi$  - кут розвороту осей валків;  $v_в$  - швидкість обертання валків;  $v_з$  - швидкість обертання заготовки;  $v$  - швидкість прокатки

Рисунок 7.1 - Схеми поперечно-гвинтової прокатки круглих періодичних профілів

При цьому (тобто при обточуванні на токарських верстатах) був високий видатковий коефіцієнт металу, багато металу йшло в стружку. Крім того, вартість виготовлення осі або півосі автомобіля була набагато більше, ніж у випадку, якщо для остаточної обробки задається заготовка змінного перетину. У наш час такі профілі, як правило, одержують способом гарячої прокатки на спеціальних станах або на звичайних прокатних станах, але з певним калібруванням прокатних валків. До профілів періодичних перетинів належать ступінчасті й конічні вали й осі, півосі для автомобілів, торсіонні вали, шпинделі текстильних веретен, тощо. Якщо ці профілі робити різанням, то витрата металу в стружку може досягати 25%.

У наш час застосовуються кілька станів поперечно-гвинтової прокатки. Розглянуті типи станів класифікуються головним чином по найбільшому діаметру заготовки, що прокатується. Прийнята наступна градація станів: 10, 20, 50, 70, 80, 100, 120, 220 мм. Швидкість прокатки на цих станах 2 - 6 м/хв, натяг 1 - 60 тс. У зв'язку із широким діапазоном розмірів діаметрів вихідної заготовки відповідно виходить і різна продуктивність станів - від 0,02 до 33 т/г.

На металургійному заводі ім. Дзержинського встановлений стан, призначений для одержання періодичних профілів з будь-яким змінним перетином по довжині готового розкату (рисунок 7.2).



1 - пневматичний штовхач; 2 - прийомний жолоб; 3 - заготовка; 4 - проходка; 5 - прокатний валок; 6 - гідравлічний циліндр натискного механізму; 7 - затискний патрон; 8 - копіювальна лінійка; 9 - привід валків

Рисунок 7.2 - Тривалковий стан 100 гарячої прокатки круглих періодичних профілів (конструкція ВНДІметмаш)

Технологічний процес прокатки профілів на цьому стані порівняно простий. У якості вихідної заготовки застосовується кругла сталь з певним діаметром. Довжина заготовки, як і її діаметр, визначаються виходячи з розмірів кінцевого профілю і загальної витяжки. Попередньо нагріта в печі заготовка надходить на стан, де й здійснюється її прокатка.

Прокатний стан являє собою установку типу токарського верстата, на напрямляючих станинах якої переміщується тягнучий візок із захватом для заготовки. Приводні прокатні валки змонтовані так, що можуть змінювати своє положення, утворюючи просвіт певних розмірів; число валків - три.

Таким чином, у міру зміни просвіту, що утворюється між валками і заготовкою, що протягується, виходить готовий профіль змінного перетину. Далі розкат може розрізатися на мірні довжини, згідно до розкрою, і оброблятися на наступних технологічних лініях.

Слід зазначити, що одержання профілів змінного перетину по даній технологічній схемі не є складним процесом. Великою перевагою є незалежність процесу прокатки й розмірів заготовки від кінцевого профілю; переходи з одного профілерозміру на інший не вимагають зупинок стану для перевалок або зміни калібру. Сам процес прокатки на стані може бути безперервним у часі, якщо стан забезпечується необхідною заготовкою.

Новим технічним рішенням є прокатка періодичних профілів складних перетинів у двовалковій або багатовалковій кліті. При використанні кожної з

названих клітей неодмінною умовою є жорсткий кінематичний зв'язок валків між собою й точно розраховані діаметри валків, довжина окружності яких визначає виконання профілю по довжині, кратність числа профілів, що відповідає довжині окружності.

Останнім часом широке розповсюдження одержали багатовалкові прокатні кліті, що забезпечують одночасне обтиснення по всьому периметру смуги, що прокатується.

Такі кліті можуть бути використані для прокатки періодичних профілів будь-якого ступеню складності (рисунок 7.3).

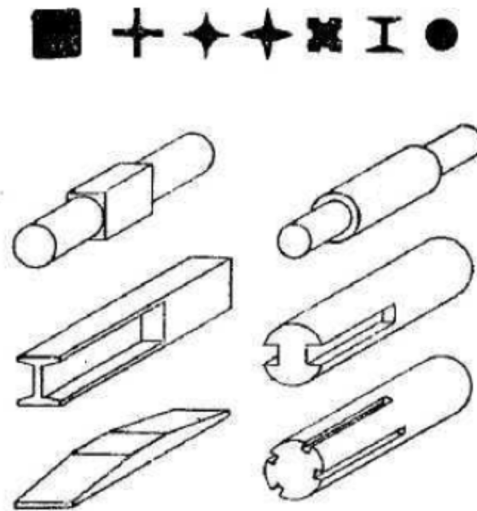


Рисунок 7.3 - Різні періодичні профілі, одержувані способом гарячої прокатки

Зазвичай число валків - три або чотири. Усі валки також перебувають у жорсткому кінематичному зв'язку і є приводними, що є гарантією одержання профілю високої точності за формою й розмірами.

Для чотиривалкової кліті може бути застосоване оформлення приводу тільки двох валків, якщо в сортамент профілів, що прокатуються, входять найпростіші фасонно-періодичні профілі лише з однобічною періодичністю.

У тривалковому калібрі при прокатці періодичних профілів кінематичний зв'язок усіх валків обов'язковий, тому що в сортаменті немає таких профілів, де б була допущена відома несиметричність в оформленні елементів періодичності.

Техніко-економічні показники роботи станів визначаються, виходячи із сортаменту профілів і прийнятих параметрів для даного стана.

Періодичні профілі в основному виготовляють поперечною і поперечно-гвинтовою прокаткою. На рис 7.4 показана схема стану поперечної прокатки. Щуп (4) ковзає по копювальній лінійці (3), жорстко пов'язаної з кареткою (2) натяжного пристрою. Залежно від профілю копювальної лінійки (3) робочі валки (1), у міру її руху, зближаються або розходяться, змінюючи відповідно діаметр профілю, що прокатується.

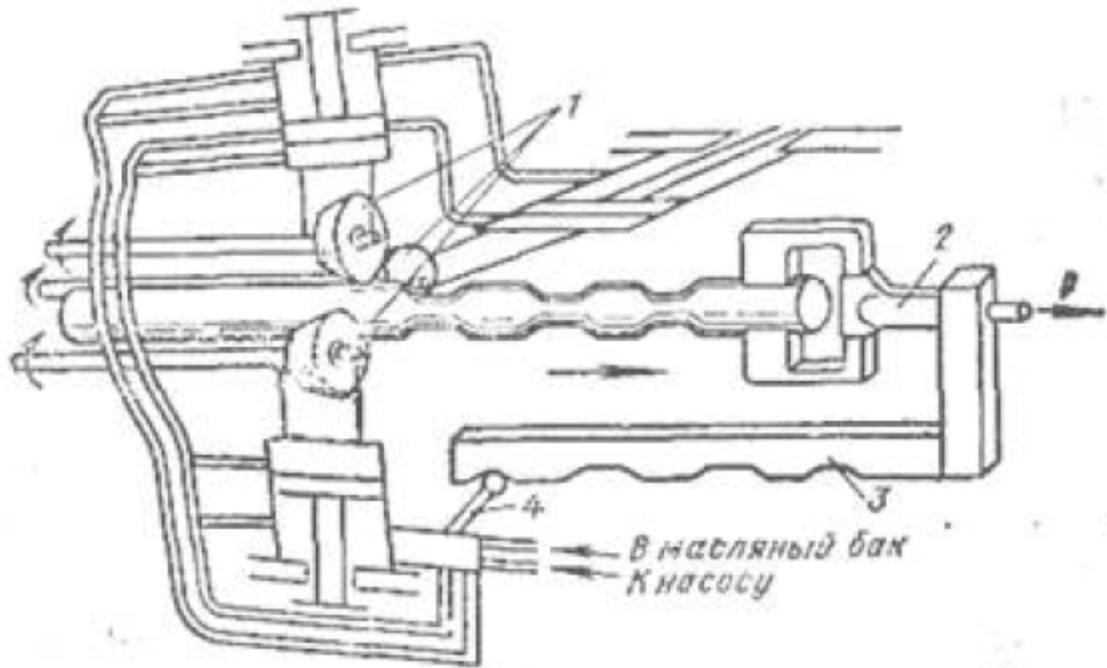


Рисунок 7.4 - Схеми прокатки періодичних профілів у тривалковому стані поперечної прокатки

## 8 ПОПЕРЕЧНО-ГВИНТОВА ПРОКАТКА РІЗЬБЛЕНЬ І ПРОФІЛІВ

Однією з різновидів поперечно-гвинтової прокатки є накатування різьблень - найбільш продуктивний і прогресивний спосіб утворення різьб.

Приблизно співвідношення продуктивності деяких розповсюджених методів утворення різьб шостого ступеня точності характеризується наступними коефіцієнтами: нарізання круглими плашками - 1,0, нарізання головками й гребінками зі швидкорізальної сталі - 2,5; нарізання твердосплавними різцями (гребінками) методом послідовних проходів - 4,0, накатування головками із круглими роликками з осьовою подачею - 10,0.

Накатування різьблення слід застосовувати в тих випадках, коли оброблюваний матеріал здатний зазнати пластичної деформації.

На рисунку 8.1 зображена схема накатування гвинтового різьблення радіально осьовим способом у нагрітому стані. Заготовка (1), нагріта до температури 700 - 800<sup>0</sup>С, вштовхується у вхідну частину простору між двома роликками (2) і двома напрямляючими (3), захоплюється роликками й, здійснюючи гвинтовий рух, просувається в напрямку накатуючої зони роликків. При цьому виступи роликків формують на поверхні заготовки гвинтові канавки. На рисунку 8.2 зображений різьбонакатний двухроликовий напівавтомат.

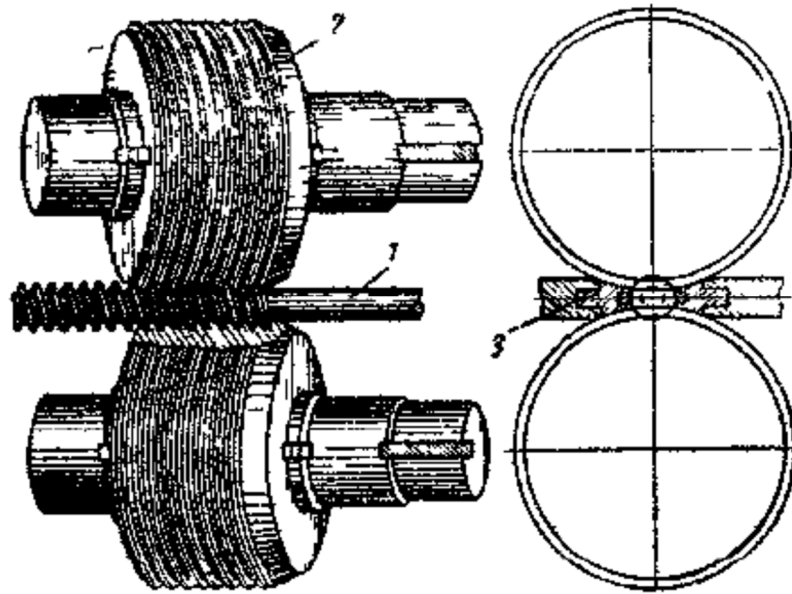


Рисунок 8.1 - Схема накатування гвинтової різьби радіально осьовим методом

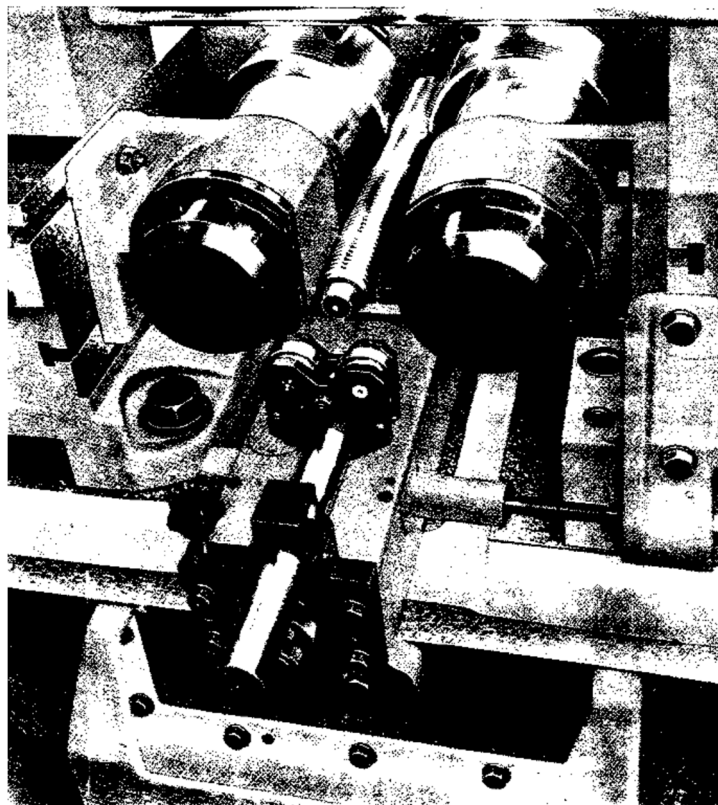


Рисунок 8.2 - Різьбонакатний двухроликівий напівавтомат

Основні переваги методу намотування різьб - більша продуктивність за рахунок високих швидкостей намотування (30 - 90 м/хв) і відсутності звинчування головки з виробу при зворотному ході, висока точність (4 - 6 ступеню) і низька шорсткість поверхонь торованої різьби, можливість утворення різьб на тонкостінних деталях без попереднього зняття припуску й



на деяких важкооброблюваних матеріалах, що в порівнянні з нарізуванням збільшує продуктивність у десятки разів.

Один з основних напрямків робіт в області накатування різьб - створення універсальних різьбонакатних головок стосовно до існуючого універсального обладнання або до спеціальних верстатів, застосовуваних у трубній промисловості. Основна перевага накатування різьб різьбонакатними головками - можливість їх використання на універсальних металорізальних верстатах і автоматах, що збільшує продуктивність операції на метричних різьбленнях у чотири - п'ять разів у порівнянні з нарізуванням різьбонарізною головкою й на трапецеїдальних різьбах в 10 - 12 разів у порівнянні з нарізуванням різьбовим різцем. Це забезпечується головним чином за рахунок більш високих швидкостей накатування (30 - 90 м/хв), а також за рахунок накатування різьблення за один прохід і відсутності звинчування при зворотньому ході.

У більшості випадків створення й застосування головок набагато ефективніше, ніж створення спеціальних верстатів.

У цей час серійно виготовляють різьбонакатні головки наступних типів: ВНГН для накатування метричних різьб  $\varnothing 8 - 52$  мм; ВНГН трап. для накатування трапецеїдальних різьб  $\varnothing 16 - 42$  мм; ВНГТ для накатування різьб  $\varnothing 1/2 - 2$ " труб. на водогазопровідних тонкостінних трубах; РНГТ для накатування різьблень  $\varnothing 1/2 - 3$ " як на водогазопровідних трубах, так і на суцільних виробках; ТНГС (тангенціальна) для накатування різьб  $\varnothing 6 - 48$  мм.

Накочування різьблень може здійснюватися на будь-яких матеріалах, у тому числі важкооброблюваних, здатних піддаватися пластичним деформаціям, які характеризуються відносним подовженням не менш 8 %, твердістю до 35 - 40 НРС.

При накатуванні забезпечуються:

- високі ступені точності різьб: 4 - 5-а при роботі тангенціальними головками;
- 6 - 7-а при накатуванні головками з осьовою подачею метричних різьблень і 7 - 8-а при накатуванні головками з осьовою подачею трапецеїдальних різьб;
- шорсткість поверхні профілю різьби  $Ra < 1,25$  мкм;
- підвищення міцності деталей з накатаною різьбою на 25 - 30 % і зносостійкості поверхневого шару різьблення.

Різьбонакатні ролики мають у десятки разів більшу стійкість у порівнянні з різьбонарізними інструментами; стосовно до конструкційних сталей з  $\sigma_b < 750$  Мпа стійкість роликів при накатуванні метричних різьблень - 2000 - 3000 пог. м різьблення, при накатуванні трапецеїдальних різьб із кроком 4 мм - 800-1000 пог. м і з кроком 6 - 10 мм - 400 - 800 пог. м.

Широко застосовуваний інструментальний матеріал для різьбонакатних роликів - сталь Х12М, а найбільш оптимальний - легована сталь 6Х6ВЗМФС (ГОСТ 5950-73), що має в порівнянні зі сталлю Х12М більшу (в 1,5 рази) міцність при вигині і зносостійкість. Різниця в стійкості роликів зі сталей 6Х6ВЗМФС і Х12М може досягати десяти й більше разів залежно від фізико-

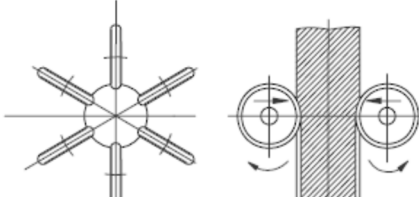
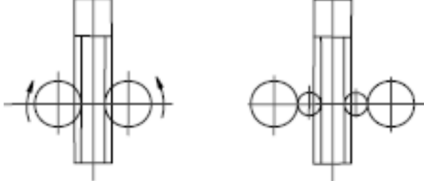
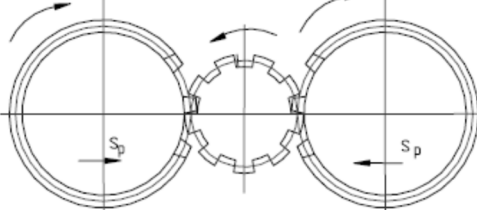
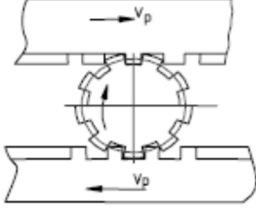
механічних властивостей накатуваного матеріалу; вона тим вище, чим більше твердість оброблюваного матеріалу й чим більше виникаючі при накатуванні зусилля.

Методи накатки знаходять широке застосування не тільки при формоутворенні різних різьб на суцільних і порожніх заготовках кріпильних деталей, але і при одержанні різних профілів на деталях типу валів і осей, шліцевих з'єднань, черв'яків і гвинтів, зубчатих деталей, отриманих обробкою різанням, і калібрування (виправлення) щодо довгих виробів.

В таблиці 8.1 наведені технологічні схеми накатки.

Таблиця 8.1 – Технологічні схеми накатки

Метод накатки	Схема накатки	Основні особливості
1	2	3
1. Плоским інструментом з тангенціальною подачею	 <p>The diagram shows a cross-section of a flat tool (1) with a cutting edge moving horizontally across a rotating workpiece (2). Arrows indicate the tangential feed of the tool and the rotation of the workpiece.</p>	Спрощується автоматизація процесу накатки. Універсальність. Діапазон діаметрів накатки різьблення 1,5 - 33 мм. Зниження стійкості зі збільшенням маси.
2. З тангенціальною подачею: обертовими різьбонакатними сегментами (рухомим і нерухомим)	 <p>The diagram shows a central workpiece being processed by two rotating segments. Arrows indicate the tangential feed of the segments and the rotation of the workpiece.</p>	Висока продуктивність при ручному завантаженні. Продуктивність підвищується в 3 - 5 разів. Трудомісткість сполучення, складність виготовлення різьбового сегмента.
3. З радіальною подачею одним роликком з гвинтовою нарізкою	 <p>The diagram shows a workpiece being processed by a roller with a thread. Arrows indicate the radial feed of the roller and the rotation of the workpiece.</p>	Підвищується довговічність; підвищення продуктивності праці в порівнянні з фрезеруванням і нарізуванням в 12- 15 разів. Биття накатників

1	2	3
4. Поздовжня накатка багатороликової головки: з радіальною подачею роликів		Наскрізні шліци на жорстких валах
5. Ударна накатка обертовими роликами		Наскрізні й закриті шліци будь-якого профілю
6. Зубчастими роликами з радіальною подачею інструмента (поперечна накатка)		Наскрізні й закриті шліци й зубчасті колеса евольвентного й трикутного профілів
7. Плоскі зубчасті рейки		Наскрізні й закриті шліци евольвентного й трикутного профілів
8. Поперечно-гвинтова прокатка зубцями	Зубчаті ролики з гвинтовими формоутворюючими	Наскрізні й закриті шліци евольвентного й трикутного профілів, накатка напрохід

## 9 НАКОЧУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ ПРОФІЛІВ

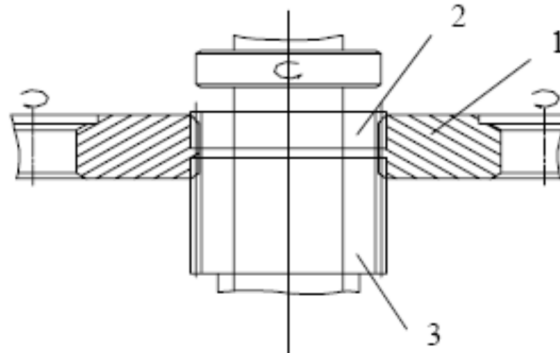
Накочування застосовують, як остаточну операцію обробки зубчастого вінця при виробництві зубчастих коліс 15 - 16 квалітетів точності з модулем не більше 4 мм. При накочуванні заощаджується 15 - 30 % металу, трудомісткість процесу менше в 2 - 5 разів, встановлена міцність підвищується на 15 - 20 %, міцність при вигинанні збільшується на 20 - 40 %. Температура накатки 1000 - 1100°C. Сутність методу: заготовка нагріта в індукторі; накатується профіль між двома зубчастими колесами - інструментами, установленими на певну міжцентрову відстань.

Технологічний процес здійснюється двома парами валків: одна пара - гладка, інша - зубчаста. Зубчастий і гладкий валок насаджені на спільний вал, так що зубчастий валок перебуває вище гладкого.

Заготовку затискають гідравлічним обладнанням і розташовують проти гладких валків.

Після нагрівання заготовки валки зближують і проводять обкатування ободу, надаючи йому точні розміри по діаметру й ширині. Далі валки розводять заготовку, встановлюють проти зубчастих валків, після чого на неї роблять накатку зубців. При прокатці й накатці на валки подається мастильний матеріал.

Виготовлення циліндричних прямозубих і косозубих коліс із модулем 1,5 - 3 мм і діаметром < 250 мм здійснюється при накатуванні з осьовою подачею заготовки (рисунок 9.1).



1 - зубчасте колесо (інструмент); 2— еталонна шестірня; 3— заготовка

Рисунок 9.1 - Схема наочування шестірень з осьовою подачею заготовки

Для виготовлення великогабаритних коліс із значним модулем використовується накатка з радіальною подачею валків (рисунок 9.2).

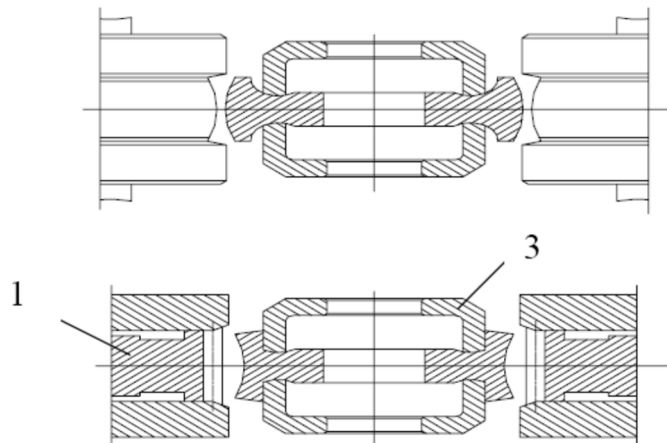


Рисунок 9.2 - Схема наочування зубчастих коліс з радіальною подачею валків

Заготовками служать штамповки або відрізані від прутка дискові заготовки.

Перший спосіб деформації (наочування шестірень із осьовою подачею заготовки) передбачає штучну обробку заготовок. Для точного розподілу поверхні заготовки на задане число зубів стан має спеціальний механізм із ділильними шестірнями, що синхронізують обертання валків і заготовки. Процес складається із двох стадій - *формування зубців* при зближенні обертових валків і *калібрування* їх при наявності тільки обертання валків після

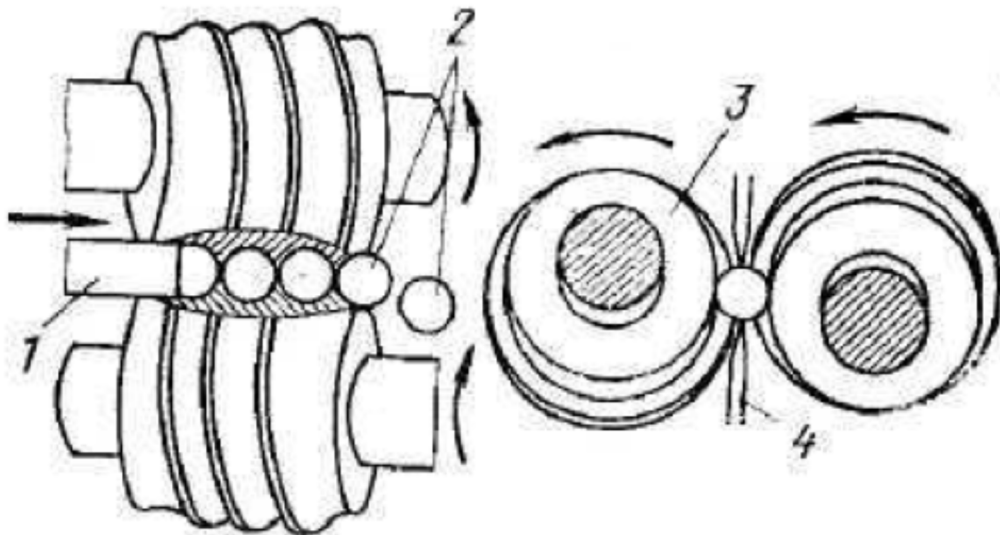
досягнення заданої міжосьової відстані. Цей спосіб дозволяє одержувати шестірні з прямим, косим і шевронним зубцем, багатовінцеві шестірні й вали-шестірні.

Другий спосіб (накочування зубчастих коліс із радіальною подачею валків) продуктивніше першого, але дозволяє одержувати тільки звичайні шестірні з прямими і косими зубцями. Заготовка у вигляді прутка або стопка окремих заготовок - дисків подається у валки з торця, де для полегшення захоплення виконано вхідний конус зі зрізаними зубцями. На вхідному конусі відбувається формування зубців, на частині валка з повними зубцями - калібрування. Ділильна шестірня, установлена на верхньому центрі підтримуючого заготовку супорта, на початку процесу розташовується між валками. У міру осьової подачі заготовки ділильна шестірня виходить із зачеплення з валками, а синхронізацію обертання здійснює прокатана частина заготовки. При прокатці прутка він зазнає деформації по всій довжині з наступною розрізкою поза станом на окремі шестірні. Швидкість осьової подачі заготовки на сучасних станах становить 6 - 8 мм/с.

## 10 ВИРОБНИЦТВО КУЛЬ

Процес одержання куль різних діаметрів ковальсько-пресовими методами досить складний і трудомісткий.

ДНДіметмаш розробив цілком новий технологічний процес одержання куль - поперечну прокатку їх у гвинтових калібрах на спеціальних станах. Цей технологічний процес зводиться до наступного (рис 10.1).



1 - заготовка; 2 – готові вироби; 3 - робочі валки з гвинтовими калібрами;  
4 – проводки

Рисунок 10.1 - Схема поперечно-гвинтової прокатки куль

Нагріта заготовка круглого перетину подається між двома обертовими косорозміщеними валками з гвинтовим калібром, утвореним двома рівчаками,

виконаними на поверхні валків. Профіль і розміри калібру відповідають формі й розмірам кулі, що прокатується.

Захоплювана валками (початком калібру) нагріта заготовка обертається й одночасно просувається по осі прокатки. Внаслідок збільшення висоти бурту калібру заготовка зазнає обтиснення, здобуває форму кулі та в остаточному підсумку відділяється від основної маси заготовки, видається як готова куля. За кожний оберт валків прокатується одна куля. Однак можна виконати дво-, три- і чотиривалкові гвинтові калібри, що дозволить за один оберт валків одержувати відповідну кількість куль.

Даний спосіб виробництва куль дозволив зменшити витрату металу на 20% і збільшити продуктивність в 2 - 10 разів у порівнянні з методами, що раніше застосовувалися. При цьому забезпечується досить висока точність виготовлення куль - витримується допуск 0,2 - 0,4 мм. Цим способом у вітчизняній металургії прокатують кулі діаметром 25 - 125 мм.

Процес прокатки куль, призначених для підшипників, відрізняється від наведеного вище способу прокатки млинових куль тільки лише способом відділення від відформованої кулі перемичок, які не обрізуються і не обкатуються. При цьому куля не розвертається в калібрі, а виходить із валків строго по осі, що проходить через смуги перемичок.

Характеристикою стану є діаметр кулі, що прокатується. Продуктивність кулепрокатних станів різноманітна, і вона залежить від частоти обертання валків, їх калібрування й діаметра кулі. У вітчизняній металургії працюють кулепрокатні стани 25-50, 40-80, 80-125, що забезпечують продуктивність 45 - 385 шт/хв.

## 11 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПЕРІОДИЧНОЇ ПРОКАТКИ

Головною особливістю періодичної прокатки є закономірна, періодична зміна обтиснення при проходженні штаби між валками. Зміна обтиснення супроводжується зміною випередження, розширення, контактних напруг, тобто всіх кінематичних і динамічних параметрів. Таким чином, процес періодичної прокатки є несталим. Обтиснення можна змінити переміщенням (зближенням або розведенням) валків, однак у більшості випадків це досягається за допомогою застосування валків некруглої форми.

*Геометрія осередку деформації.* У теорії періодичної прокатки в якості основних моделей розглядаються два варіанти прокатки: з наростанням і убуванням обтиснення (рисунок 11.1). І в тому, і в іншому випадку деформація штаби здійснюється валками перемінного радіуса  $\rho$ . але при прокатці з наростанням обтиснення при повороті валків їх радіус зростає (рисунок 11.1, а), а при процесі з убуванням обтиснення - зменшується (рисунок 11.1, б). Відповідно змінюється форма штаби: будучи клиноподібною, вона виходить із валків або товстим, або тонким кінцем уперед.

Характеризуючи геометричні параметри осередку деформації, розрізняють *кут захвату* ( $\alpha_x, \alpha_y$ ) у перетині входу й *кут дотику* ( $\theta_x, \theta_y$ ), як центральний кут між осьовою лінією валків і початковим радіусом  $\rho_A$ . Ці кути

не однакові, тому що нормаль до поверхні валка в перетині входу  $NA$  не проходить через центр валка.

Форма вихідного кінця штаби характеризується *кутом клиновидності*  $\psi$ . Залежно від профілю валків, цей кут може бути або постійним, або змінним.

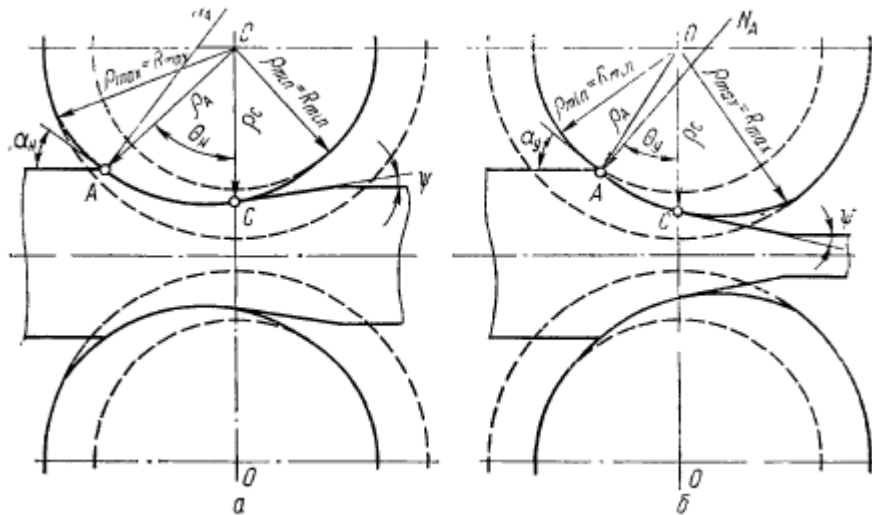


Рисунок 11.1 - Прокатка з наростанням (а) і убуванням (б) обтиснення

Визначимо значення кутів дотику й захвату. Знайдемо величину умовного обтиснення, яке було б у тому випадку, якби вся контактна поверхня була описана радіусом  $\rho_A$  (рисунок 11.2)

$$\Delta h_{\text{усл}} = h_0 - 2(D/2 - \rho_A), \quad (11.1)$$

де  $D$  – відстань між центрами валків (ідеальний діаметр).

Тоді кут дотику  $\theta$  визначається за формулами

$$\theta = \arccos(1 - \Delta h_{\text{усл}}/2\rho_A) \quad (11.2)$$

чи

$$\theta = \sqrt{\Delta h_{\text{усл}}/\rho_A} \quad (11.3)$$

Формули (11.2) і (11.3) дійсні при прокатці як з наростанням, так і з убуванням обтиснення. Введемо поняття середнього радіуса контактної поверхні, величину якого будемо визначати по формулі

$$R_{\text{ср}} = \sqrt{\rho_{\text{min}}\rho_{\text{max}}} \quad (11.4)$$

Центр відповідної окружності  $O_{\text{ср}}$  лежить на нормалі до поверхні валка в крапці  $A$ . З рисунок 11.2, а видно, що кути  $AO_{\text{ср}}C$  і  $AOC$  практично рівні, так як вони опираються на ту саму дугу  $AC$ , а радіуси  $R_{\text{ср}}$ ,  $\rho_A$  й  $\rho_C$  відрізняються незначно. Отже, маємо

$$\alpha_{\text{н}} + \psi_{\text{в}} = \theta_{\text{н}},$$

Звідки

$$\alpha_{\text{н}} = \theta_{\text{н}} - \psi_{\text{в}}. \quad (11.5)$$

Існує доказ того, що при відсутності випередження кут  $\psi_B$  дорівнює куту клиновидності  $\psi$ . Тому, якщо знехтувати випередженням і прийняти  $\psi_B = \psi$  отримаємо

$$\alpha_H = \theta_H - \psi. \quad (11.6)$$

Шляхом аналогічних міркувань, використовуючи схему на рисунку 11.2, б, для випадку прокатки з убуванням обтиснення знаходимо

$$\alpha_Y = \theta_Y + \psi_B \quad (11.7)$$

або (зневажаючи випередженням)

$$\alpha_Y = \theta_Y + \psi. \quad (11.8)$$

Довжину осередку деформації можна визначити за наступними формулами: при наростанні обтиснення (рисунок 11.2, а)

$$\begin{aligned} l_{d.H} &= l'_{d.H} + l''_{d.H} = R_{cp} \sin \alpha_H + R_{cp} \sin \psi_B = \\ &= R_{cp} (\sin \alpha_H + \sin \psi_B), \end{aligned} \quad (11.9)$$

при убуванні обтиснення (рисунок 11.2, б)

$$\begin{aligned} l_{d.Y} &= l'_{d.Y} - l''_{d.Y} = R_{cp} \sin \alpha_Y - R_{cp} \sin \psi_B = \\ &= R_{cp} (\sin \alpha_Y - \sin \psi_B). \end{aligned} \quad (11.10)$$

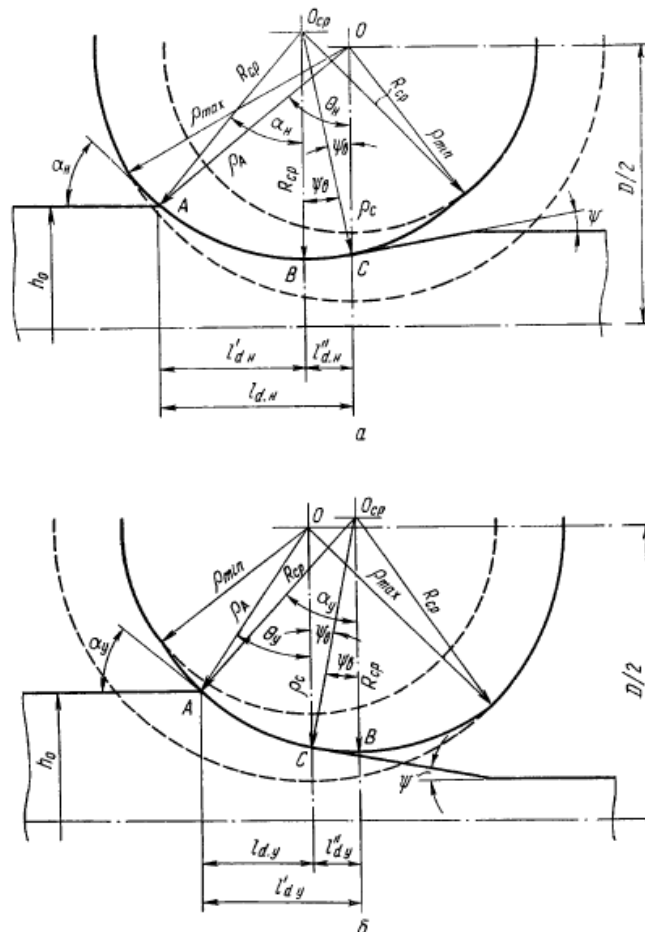


Рисунок 11.2 - Геометричні параметри осередку деформації при прокатці з наростанням (а) і убуванням (б) обтиснення



Слід підкреслити, що основні геометричні характеристики осередку деформації ( $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $l_d$  і ін.) є миттєвими, тобто вони залежать від положення валків у цей момент часу.

*Профіль валків і штаби.* Принципове питання калібрування валків для періодичної прокатки полягає в наступному: яким повинен бути профіль валків, щоб клиноподібна штаба, що виходить з них, мала плоскі грані ( $\psi = \text{const}$ )?

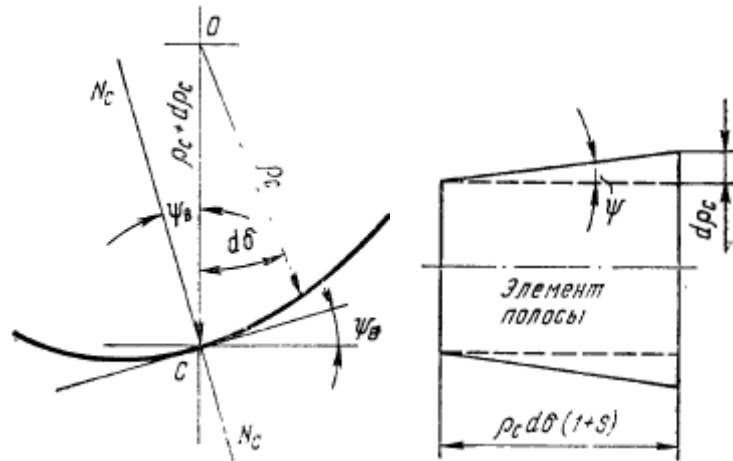


Рисунок 11.3 - До визначення клиновидності штаби при прокатці у валках змінного радіуса

Розглянемо формування профілю елементарної ділянки штаби (рисунок 11.3). При повороті валків на нескінченно малий кут  $d\delta$  їх радіус у вихідному перетині  $\rho_c$  зміниться на величину  $d\rho_c$ . При цьому перетин штаби просувається вперед на відстань  $\rho_c d\delta(1+S)$ , де  $S$  – миттєве випередження. Отже, миттєвий кут клиновидності штаби буде

$$\tan \psi = \frac{d\rho_c}{\rho_c d\delta(1+S)} = \frac{d\rho_c}{\rho_c d\delta k_s}, \quad (11.11)$$

де  $k_s = (1+S)$  – коефіцієнт випередження.

Представимо вираження (11.11) у вигляді

$$d\rho_c/\rho_c = \tan \psi k_s d\delta. \quad (11.12)$$

Після інтегрування одержимо

$$\begin{aligned} \ln \rho_c &= \tan \psi k_s \delta + \ln C; \\ \rho_c &= C e^{\tan \psi k_s \delta}, \end{aligned} \quad (11.13)$$

де  $\delta$  — кут повороту валків;  $C$  - постійна інтегрування.

Вираження (11.13) може бути також презентовано в наступних позначеннях:

$$\rho_i = C e^{\tan \psi k_s \delta_i}, \quad (11.14)$$

де  $\rho_i$  - поточне значення радіуса валка на перехідній ділянці;  $\delta_i$  - поточне значення кута, відлічуваного від  $\rho_{min}$ .

Постійну  $C$  визначаємо з початкової умови:

при  $\delta_i = 0$  маємо  $\rho_i = \rho_{min}$ . Звідси знаходимо  $C = \rho_{min}$ , і формула (11.15) приймає кінцевий вигляд:

$$\rho_i = \rho_{min} e^{\tan \psi k_s \delta_i} \quad (11.16)$$

Для випадку прокатки з убиванням обтиснення аналогічний висновок приводить до вираження

$$\rho_i = \rho_{max} e^{-\tan \psi k_s \delta_i}, \quad (11.17)$$

де  $\delta_i$  – кут, відлічуваний від  $\rho_{max}$ .

Формула (11.16) при  $\tan \psi = const$  і  $k_s = k_{cp} = const$  представляє собою рівняння логарифмічної спіралі. Те ж відноситься до формули (11.17). Отже, щоб після прокатки одержати клиноподібні ділянки із плоскими гранями, профіль валків повинен бути виконаний по логарифмічній спіралі. При цьому приймається допущення, що випередження залишається постійним (середнім). Якщо ж випередження змінюється, що відповідає дійсності, то грані клиноподібних ділянок будуть мати деяку кривизну, хоча б малу. Часто такою кривизною можна знехтувати.

Виконання профілю валків по логарифмічній спіралі на практиці натрапляє на труднощі, тому найчастіше застосовується профілювання валків по дугах окружностей, зі зсувом центру окружності щодо центру валка, як показано на рисунку 11.2. Радіус перехідної окружності розраховують по вищенаведеній формулі (11,4).

*Нейтральний кут і умови захвату.* Положення нейтрального перетину визначається з рівняння рівноваги поздовжніх сил, прикладених до штаби у осередку деформації.

Нехай радіус  $\rho_y$ , що відповідає нейтральному перетину, виходить у деяку точку  $G$  на дузі дотику (рисунок 11.4); тоді ділянка  $AG$  на контактній поверхні буде зоною відставання, а  $GC$  - зоною випередження. Зону випередження, у свою чергу, можна розділити на дві ділянки:  $GB$ , де сили нормального тиску діють проти ходу прокатки, і  $BC$ , де рівнодіюча нормальних тисків дає складову, спрямовану по ходу прокатки.

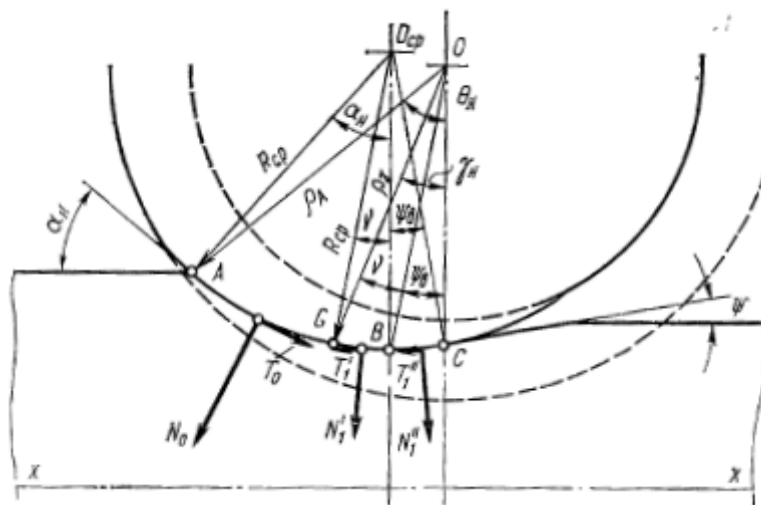


Рисунок 11.4 - Схеми сил до визначення нейтрального кута при прокатці з наростанням обтиснення

Відповідно до такого розподілу контактної поверхні на ділянки можна скласти наступне рівняння рівноваги поздовжніх сил (див. рисунок 11.4):

$$-N_{0x} + T_{0x} - N'_{1x} - T'_{1x} + N''_{1x} - T''_{1x} = 0. \quad (11.18)$$

Враховуючи кути нахилу всіх рівнодіючих, знайдемо значення доданків, що входять у рівняння (11.18). Маємо

$$N_{0x} = N_0 \sin \left( v + \frac{\alpha_H - v}{2} \right) = p_{cp} b R_{cp} (\alpha_H - v) \times \sin \frac{\alpha_H - v}{2} \approx p_{cp} b R_{cp} (\alpha_H - \gamma_H + \psi_B) \frac{\alpha_H + \gamma_H - \psi_B}{2}; \quad (11.19)$$

$$T_{0x} = T_0 \cos \left( v + \frac{\alpha_H - v}{2} \right) \approx p_{cp} b R_{cp} \beta (\alpha_H - \gamma_H + \psi_B); \quad (11.20)$$

$$N'_{1x} = N'_1 \sin \frac{v}{2} = p_{cp} b R_{cp} v \sin \frac{v}{2} \approx p_{cp} b R_{cp} \frac{(\gamma_H - \psi_B)^2}{2}; \quad (11.21)$$

$$T'_{1x} = T'_1 \cos \frac{v}{2} \approx p_{cp} b R_{cp} \beta (\gamma_H - \psi_B); \quad (11.22)$$

$$N''_{1x} = N''_1 \sin \frac{\psi_B}{2} = p_{cp} b R_{cp} \psi_B \sin \frac{\psi_B}{2} \approx p_{cp} b R_{cp} \frac{\psi_B^2}{2}; \quad (11.23)$$

$$T''_{1x} = T''_1 \cos \frac{\psi_B}{2} \approx p_{cp} b R_{cp} \beta \psi_B. \quad (11.24)$$

Після підстановки знайдених значень поздовжніх сил у рівняння (11.18), скорочення всіх членів на  $p_{cp} b R_{cp}$  і алгебраїчних перетворень одержимо

$$-2\gamma_H \beta + \beta (\alpha_H + \gamma_H) - \frac{\alpha_H^2 + \psi_B^2}{2} = 0.$$

Звідси знаходимо (ухвалюючи  $\psi_B = \psi$ ):

$$\gamma_H = \frac{\alpha_H - \psi}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_H - \psi}{2\beta} \right) \quad (11.25)$$

або

$$\gamma_H = \frac{\alpha_H}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_H}{2\beta} \right) + \frac{\psi}{2} \left( 1 - \frac{\psi}{2\beta} \right). \quad (11.26)$$

Якщо врахувати залежність між кутами  $\alpha_H$  і  $\theta_H$ , то з формули (11.25) одержимо

$$\gamma_H = \frac{\theta_H}{2} \left( 1 - \frac{\theta_H - 2\psi}{2\beta} \right). \quad (11.26)$$

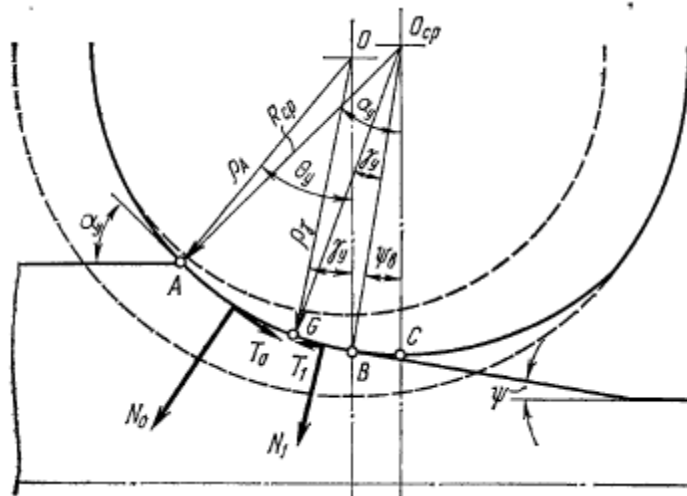


Рисунок 11.5 - Схема сил до визначення нейтрального кута при прокатці з убуванням обтиснення

Перейдемо до визначення нейтрального кута при прокатці з убуванням обтиснення (рисунок 11.5). У цьому випадку на дузі дотику будуть тільки дві ділянки: зона відставання  $AG$  і зона випередження  $GB$ . Рівняння рівноваги поздовжніх сил має такий вигляд:

$$-N_{0x} + T_{0x} - N_{1x} - T_{1x} = 0. \quad (11.27)$$

Виразимо складові цього рівняння в конкретній формі:

$$N_{0x} = N_0 \sin \left( \gamma_y + \psi_B + \frac{\alpha_y - \gamma_y - \psi_B}{2} \right) \approx p_{cp} b R_{cp} (\alpha_y - \gamma_y - \psi_B) \times \left( \frac{\alpha_y + \gamma_y + \psi_B}{2} \right); \quad (11.28)$$

$$T_{0x} = T_0 \cos \left( \gamma_y + \psi_B + \frac{\alpha_y - \gamma_y - \psi_B}{2} \right) \approx p_{cp} b R_{cp} \beta (\alpha_y - \gamma_y - \psi_B); \quad (11.29)$$

$$N_{1x} = N_1 \sin \left( \psi_B + \frac{\gamma_y}{2} \right) \approx p_{cp} b R_{cp} \gamma_y \left( \psi_B + \frac{\gamma_y}{2} \right); \quad (11.30)$$

$$T_{1x} = T_1 \cos \left( \psi_B + \frac{\gamma_y}{2} \right) \approx p_{cp} b R_{cp} \beta \gamma_y. \quad (11.31)$$

Підставивши значення сил  $N_{0x}$ ,  $N_{1x}$  і  $T_{1x}$  у рівняння (11.28), за аналогією з виводом формул (11.25) і (11.27) одержимо

$$\gamma_y = \frac{\alpha_y - \psi}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_y - \psi}{2\beta} \right); \quad (11.32)$$

$$\gamma_y = \frac{\alpha_y}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_y}{2\beta} \right) + \frac{\psi}{2} \left( 1 - \frac{\psi}{2\beta} \right); \quad (11.33)$$

$$\gamma_y = \frac{\theta_y}{2} \left( 1 - \frac{\theta_y - 2\psi}{2\beta} \right). \quad (11.34)$$

Формули (11.26) і (11.34) уперше виведені В. К. Смирновим.

Порівнюючи формули (11.25) і (11.27) з формулою нейтрального кута при простому процесі прокатки, бачимо, що вони мають однакову структуру. Відмінність полягає в тому, що в правій частині формул (11.26) і (11.33) утримується додатковий член, який при прокатці з наростанням обтиснення має знак плюс, а при прокатці з убуванням обтиснення - знак мінус. Останнє свідчить про те, що втягуюча здатність валків при прокатці з наростанням обтиснення вище, ніж при прокатці з убуванням обтиснення.

Граничні значення кутів захвата в обох випадках можуть бути знайдені відповідно з формул (11.25) і (11.32), якщо покласти  $\gamma = 0$ . З формули (11.25) одержуємо

$$1 - \frac{\alpha_n - \psi}{2\beta} = 0; \\ \alpha_{nmax} = 2\beta + \psi. \quad (11.35)$$

Аналогічно з формули (11.32) знаходимо

$$\alpha_{ymax} = 2\beta - \psi. \quad (11.36)$$

Таким чином, максимальний кут захвата при прокатці з убуванням радіуса валків менше, ніж при прокатці з наростанням радіуса:  $\alpha_{ymax} < \alpha_{nmax}$ . Цей висновок повністю узгодиться з даними практики. При прокатці з

більшими деформаціями пробуксовка валків виникає в першу чергу саме на тих ділянках штаби, на яких обтиснення падає.

*Випередження.* Завдання полягає в тому, щоб при відомому значенні нейтрального кута визначити величину випередження. Отже, потрібно вивести формулу випередження типу формули Фінка при змінних параметрах періодичної прокатки.

Слід підкреслити, що при періодичній прокатці від величини випередження залежить не тільки швидкість виходу металу з валків, але й довжина періодів на штабі, тобто її форма.

При теоретичнім визначенні випередження будемо виходити з умови нестисливості металу, а також приймемо відсутність розширення в зоні випередження.

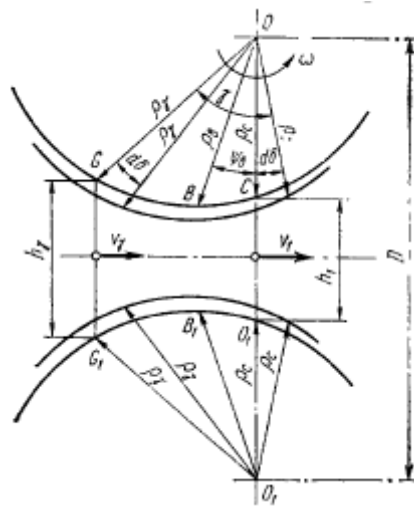


Рисунок 11.6 - До виведення формули випередження при прокатці у валках змінного радіуса

Розглянемо фігуру  $GOO_1G_1$  на рисунку 11.6, яка охоплює зону випередження осередку деформації й сектори валків  $GOC$  і  $G_1O_1C_1$ . Будемо вважати, що обсяг металу, що вступає в поле фігури  $GOO_1G_1$  за час  $d\tau$ , дорівнює обсягу металу, що виходить із поля цієї фігури за те ж час. При цьому в поняття «обсяг металу» включається як тіло штаби, так і тіло валків.

Виходячи зі сказаного, складемо рівність

$$\Delta V_{\text{пг}} + \Delta V_{\text{вг}} = \Delta V_{\text{п1}} + \Delta V_{\text{в1}}, \quad (11.37)$$

де  $\Delta V_{\text{пг}}$  — обсяг штаби, що пройшов через нейтральний перетин за час  $d\tau$ ;  $\Delta V_{\text{вг}}$  - обсяг валків, що вступив у поле фігури  $GOO_1G_1$  за час  $d\tau$ ;  $\Delta V_{\text{п1}}$  і  $\Delta V_{\text{в1}}$  - величини, аналогічні  $\Delta V_{\text{пг}}$  і  $\Delta V_{\text{вг}}$ , але відносяться до перетину виходу з осередку деформації. Маємо (див. рисунок 11.6):

$$\Delta V_{\text{пг}} = bh_{\gamma}v_{\gamma}d\tau; \quad (11.38)$$

$$\Delta V_{\text{вг}} = 2b \left( \frac{\rho_{\gamma}^2 d\delta}{2} \right) = b\rho_{\gamma}^2 \omega d\tau, \quad (11.39)$$

де  $\omega$  — кутова швидкість валків;

$$\Delta V_{\text{п1}} = bh_1v_1d\tau; \quad (11.40)$$

$$\Delta V_{\text{в1}} = 2b \left( \frac{\rho_c^2 d \delta}{2} \right) = b\rho_c^2 \omega d\tau, \quad (11.41)$$

Зробимо відповідні підстановки і рівність (11.37)

$$bh_\gamma v_\gamma d\tau + b\rho_\gamma^2 \omega d\tau = bh_1v_1d\tau + b\rho_c^2 \omega d\tau.$$

Скоротимо всі члени цього вираження на  $bdt$

$$h_\gamma v_\gamma + \rho_\gamma^2 \omega = h_1v_1 + \rho_c^2 \omega. \quad (11.42)$$

З урахуванням того, що  $v_\gamma = \rho_\gamma \omega \cos \gamma$  і  $v_1 = \rho_c \omega (1 + S)$ , одержуємо

$$h_\gamma \rho_\gamma \omega \cos \gamma + \rho_\gamma^2 \omega = h_1 \rho_c \omega (1 + S) + \rho_c^2 \omega. \quad (11.43)$$

Після скорочення всіх членів на  $\omega$  і простих перетворень одержимо шукану формулу для визначення випередження

$$s = \frac{\rho_\gamma h_\gamma \cos \gamma + \rho_\gamma^2 - \rho_c^2}{\rho_c h_1} - 1. \quad (11.44)$$

Ряд величин, що входять у формулу (11.44), вимагає додаткового визначення:

$$h_1 = D - 2\rho_c; \quad (11.45)$$

$$h_\gamma = D - 2\rho_\gamma \cos \gamma; \quad (11.46)$$

$$\rho_\gamma = \rho_c e^{\pm \tan \psi \gamma}. \quad (11.47)$$

В останньому виразі знак плюс ставиться у випадку прокатки з наростанням обтиснення, знак мінус — з убаванням обтиснення. При невеликих значеннях кутів  $\psi$  і  $\gamma$  ( $\psi \gamma < 0,15$ ) з погрішністю менш 1 % можна прийняти:

$$\rho_\gamma = \rho_c (1 \pm \psi \gamma). \quad (11.48)$$

Випередження, знайдене по формулі (11.44), є миттєвим: воно безупинно змінюється в міру повороту валків. Для визначення загального (середнього) випередження на кінцевій ділянці штаби необхідно розрахувати його величину в окремих перетинах, а потім знайти середньоінтегральне значення.

Аналіз формули (11.44) показує, що при прокатці з наростанням обтиснення випередження більше, ніж при прокатці з убаванням обтиснення; у першому випадку  $\rho_\gamma > \rho_c$ , а в другому  $\rho_\gamma < \rho_c$ . Ця закономірність чітко проявляється в дослідних даних.

На рисунку 11.7 наведені результати дослідження випередження при прокатці свинцевої штаби товщиною  $h_\gamma = 10$  мм у валках зі змінним радіусом від  $R_{\text{max}} = 83,3$  мм до  $R_{\text{min}} = 80,0$  мм. Товщина штаби на клиноподібних ділянках змінювалася від  $h_{1\text{max}} = 7,4$  мм до  $h_{1\text{min}} = 0,9$  мм. Кут клиновидності становив  $\psi = 45'$ . З рисунок 11.7 видно, що гілка випередження  $S_{\text{н}}$  на ділянці прокатки з наростанням обтиснення розташовується вище, чим гілки  $S_{\text{у}}$  на ділянці прокатки з убаванням обтиснення. Загальне випередження на ділянці  $l_{\text{н}}$  склало  $S_{\text{н,общ}} = 17,7$  %, а на ділянці  $l_{\text{у}}$  —  $S_{\text{у,общ}} = 12,9$  %.

*Зусилля й обертові моменти.* При прокатці у валках змінного радіуса контактні тиски, як і інші параметри, безупинно змінюються. У зв'язку із цим, а також зміною площі контактної поверхні, безупинно змінюється зусилля

прокатки. Звичайно теоретично розраховують те зусилля, яке відповідає максимальному обтисненню. Для розрахунків можуть бути використані формули Целікова, Чекмарьова та інші.

Якщо мати на увазі симетричний процес періодичної прокатки й зневажити інерційними силами, що виникають внаслідок зміни швидкості руху кінців штаби, то слід зробити висновок, що рівнодіючі всіх сил, прикладені до валків, спрямовані вертикально, як і в простому процесі прокатки.

При визначенні величини обертових моментів необхідно враховувати, що в цьому випадку елементарні сили нормального тиску не проходять через центр обертання валка й поряд із силами тертя створюють частину обертового моменту (рисунок 11.8).

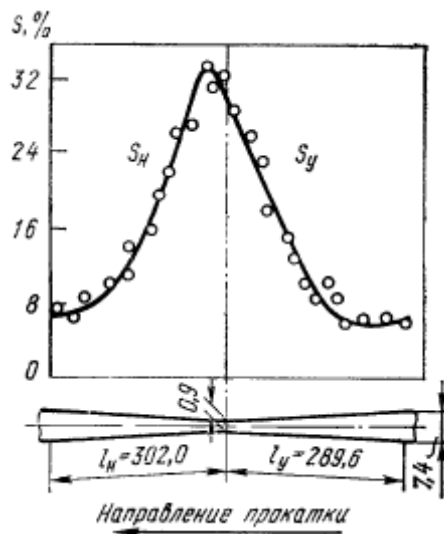


Рисунок 11.7 - Зміна величини випередження при прокатці з наростанням і убуванням обтиснення (по А. П. Чекмарьову й А. Ф. Смольянинову)

Допустимо, що радіус-вектор  $\rho$  змінюється протягом осередку деформації за законом логарифмічної спіралі. Тоді кут між нормаллю й радіусом  $\rho$  у будь-якій точці кривої залишається постійним (така властивість логарифмічної спіралі), у цьому випадку рівним  $\psi$ . Цим визначається напрямок дії елементарних сил  $p$ .

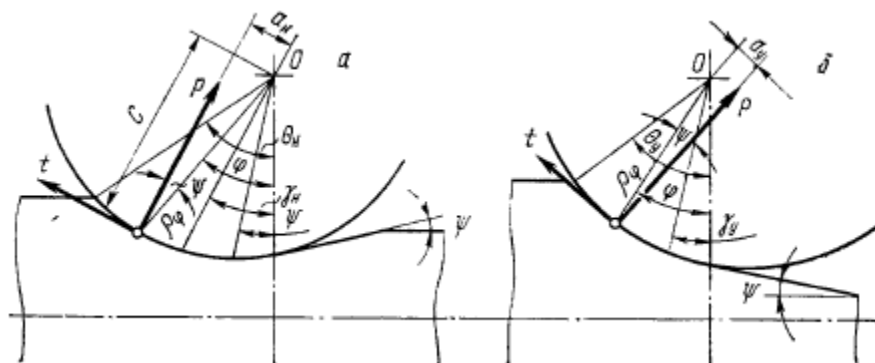


Рисунок 11.8 - До виводу формул крутного моменту при періодичній прокатці з нарощуванням (а) і убуванням (б) обтиснення

Логарифмічну спіраль, як і в попередніх висновках, апроксимуємо дугою окружності середнього радіуса  $R_{cp}$ .

Спочатку розглянемо визначення обертового моменту при прокатці з наростанням обтиснення (рисунок 11.8,а).

Плече елементарної сили тертя  $t$  щодо центру валка можна прийняти

$$c = \rho_\varphi \cos \varphi \approx \rho_\varphi \approx R_{cp}.$$

Плече елементарної сили нормального тиску  $p$  буде

$$\alpha_n = \rho_\varphi \sin \psi \approx \rho_\varphi \psi \approx R_{cp} \psi.$$

Враховуючи розподіл осередку деформації на зони випередження й відставання, складемо рівняння обертового моменту для одного валка

$$M_{прн} = \int_{\gamma_n}^{\theta_n} t b R_{cp}^2 d\varphi - \int_0^{\gamma_n} t b R_{cp}^2 d\varphi + \int_0^{\theta_n} p b R_{cp}^2 \psi d\varphi \quad (11.49)$$

Приймемо, що елементарні сили  $t$  і  $p$  розподіляються по дузі дотику рівномірно й прокатка йде без розширення ( $b = const$ ). При цих допущеннях після інтегрування одержимо

$$M_{прн} = t b R_{cp}^2 (\theta_n - 2\gamma_n) + p b R_{cp}^2 \psi \theta_n. \quad (11.50)$$

За змістом виводу  $t = t_{cp}$  і  $p = p_{cp}$ . Використовуємо закон тертя Амонтона ( $t_{cp} = f p_{cp} \approx \beta p_{cp}$ ), тоді формула (496) приймає кінцевий вигляд:

$$M_{прн} = p_{cp} b R_{cp}^2 f (\theta_n - 2\gamma_n + \theta_n \psi / \beta). \quad (11.51)$$

Аналогічно виводиться формула обертового моменту для випадку прокатки з убуванням обтиснення. Користуючись схемою на рисунку 11.8 б, напишемо:

$$M_{пры} = \int_{\gamma_y}^{\theta_y} t b R_{cp}^2 d\varphi - \int_0^{\gamma_y} t b R_{cp}^2 d\varphi - \int_0^{\theta_y} p b R_{cp}^2 \psi d\varphi. \quad (11.52)$$

Після інтегрування й простих перетворень одержимо:

$$M_{пры} = p_{cp} b R_{cp}^2 f (\theta_y - 2\gamma_y - \theta_y \psi / \beta). \quad (11.53)$$

З порівняння формул (11.51) і (11.53) видно, що за інших рівних умов обертовий момент при прокатці з наростанням обтиснення більше, ніж при прокатці з убуванням обтиснення. Якщо прийняти  $\psi = 0$ , тобто відсутність клиновидності, то формули (11.51) і (11.53) здобувають вид раніше отриманої формули Баюкова для випадку прокатки у валках постійного радіуса.

## 12 ОДЕРЖАННЯ ПРОФІЛІВ ЗМІННОГО Й ПЕРІОДИЧНОГО ПЕРЕТИНУ

Різновидом поздовжньої прокатки є періодична прокатка, якою одержують профілі змінного й періодичного перетинів.

Використання таких профілів дозволяє знизити масу деталей, елементів конструкцій машин і механізмів. Періодичні профілі часто виключають необхідність проведення не тільки операцій штампування, але й зводять до мінімуму обробку різанням. При використанні заготовок для подальшого штампування поковок складної форми забезпечується помітна економія металу



(до 20-30%), підвищується продуктивність штампування, знижується трудомісткість виготовлення кувань і ін.

Під профілями змінного перетину мають на увазі штаби із плавномінімючимся поперечним перетином. У періодичних профілів зміна перетину по довжині штаби періодично повторюється (рисунок 12.1).

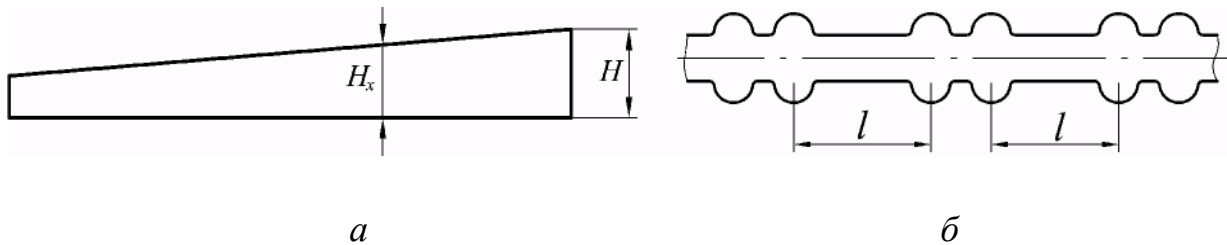


Рисунок 12.1 - Профілі змінного (а) і періодичного (б) перетину

Профілі змінного перетину, наприклад клиноподібні, одержують прокаткою в циліндричних круглих валках як з мінливою міжцентровою відстанню так і з постійною.

У першому випадку відповідна зміна відстані між осями валків приводить до зміни зазору між ними, що визначає товщину прокатої штаби (рисунок 12.2).

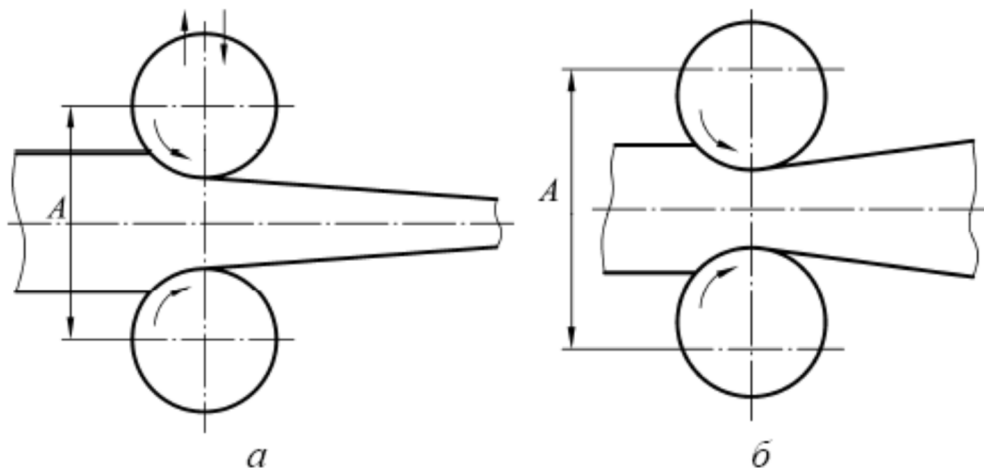


Рисунок 12.2 - Схема прокатки профілів змінного перетину з мінливим (а) і постійним (б) міжцентровим зазором А

Другий варіант процесу прокатки профілів змінного перетину реалізується при постійній відстані між осями валків. Для полегшення виготовлення валків і їх заміни часто використовують бандажі або сектори (рисунок 12.3).

Дуже важливий у виробництві періодичного прокату правильний вибір механізму подачі штаби у валки в потрібний момент прокатки. При випадковій подачі металу у валки на кінцях кожної штаби з'являються періоди неповної

довжини, що збільшує втрати металу при обрізі. Щоб наблизити втрати до оптимального значення, необхідно здійснювати захоплення металу при положенні валків, відповідному до початку періоду. У тих випадках, коли період має велику довжину, втрати металу можуть бути особливо великі.

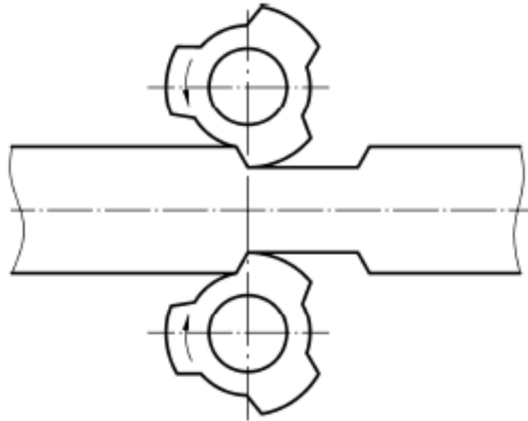
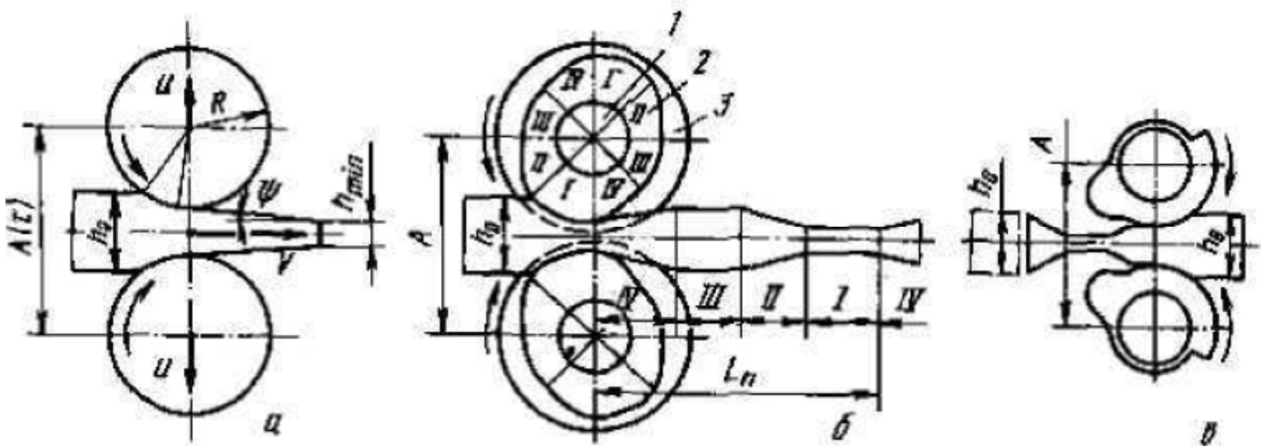


Рисунок 12.3 - Схема процесу прокатки профілів змінного перетину



а - у круглих валках при змінній міжосьовій відстані; б - періодична прокатка у валках зі змінним радіусом при нерегульованій міжосьовій відстані (показана кратність по окружності валка  $k = 2$ ; I - IV - відповідні ділянки валка й штаби; I й III - ділянки з постійним обтисненням, II й IV - ділянки з убаванням і наростанням обтиснення;  $L_n$  - довжина одного періоду; 1 - вісь валка; 2 - бандаж; 3 - бурт; в - вальцювання

Рисунок 12.4 - Способи поздовжньої прокатки профілів змінного перетину

Профілі, що мають змінний поперечний переріз по довжині, можуть бути отримані шляхом прокатки, штампування, зварювання, лиття або різання. Найбільшою мірою механізованому й автоматизованому масовому виробництву відповідає прокатка, що забезпечує високу продуктивність при мінімальних технологічних відходах металу (у вигляді обрізі, облою, стружки).

Прокаткою одержують як готові профілі - виробу, так і заготовки для наступного штампування, близькі за формою й розмірам до готових виробів, що знижує число переходів і витрату дорогого інструмента при штампуванні. Використання таких профілів дозволяє одержати економію металу до 20% і більше.

Способи виготовлення профілів змінного перетину поздовжньою прокаткою показані на рисунку 12.4.

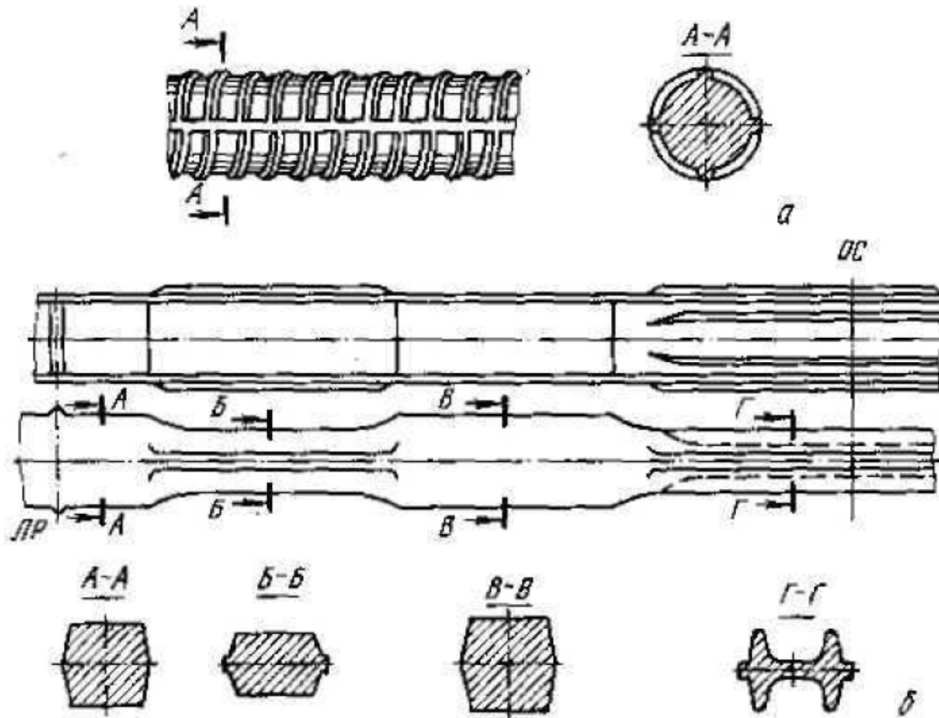
Перший спосіб, здійснюваний у валках з постійним по периметру радіусом  $R$ , але з *регульованою (змінною) відстанню між осями валків*  $A$  ( $\tau$ ), дозволяє прокатувати профілі із плавною зміною розмірів по довжині. Клиновидність профілю  $\text{tg}\Psi = u/v$  залежить від швидкості зміни відстані між валками  $u$  і швидкості прокатки  $v$ . Цей спосіб застосовується, наприклад, для прокатки листів змінної товщини; заданий закон зміни товщини реалізується по довжині листа, як правило, один раз, тобто такий лист являє собою однократний профіль.

Другий спосіб, здійснюваний у валках зі змінним по периметру радіусом  $R$  ( $\theta$ ) і нерегульованою у процесі прокатки (приблизно постійним) міжосьовою відстанню  $A$ , дозволяє одержувати плавні й різкі переходи розмірів, що визначається калібруванням валків. Довжина одержуваного профілю й діаметр (периметр) валка при цьому способі мають сувору взаємозалежність, тому що за один оберт валка повинен бути прокатаний 1 профіль повної довжини або, при малій довжині, ціле число  $m$  профілів. При кратності  $k = 1 - m$  по окружності валка й числу обертів валка  $n$  за час прокатки даної штаби на її довжині укладеться  $k_n$  кратностей (періодів) профілю; у цьому випадку прокатану штабу називають періодичним профілем, а процес його одержання - періодичною прокаткою. Періодична прокатка виконується звичайно за один прохід в останній (чистовий) кліті сортопрокатного стану. Усі попередні кліті роблять звичайну поздовжню прокатку заготовки з постійним по довжині поперечним перерізом, який у найбільшій мірі наближене до поперечних перерізів профілю.

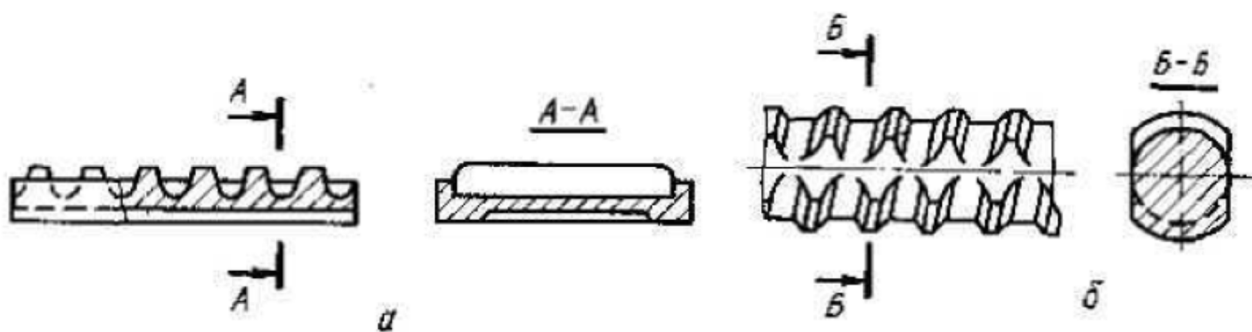
Третій спосіб виготовлення профілів змінного перетину - деформація в *кувальних вальцях (вальцювання)*. Вона здійснюється у валках із закріпленими на них деформуючими калібрами у вигляді бандажів або секторів зі змінним радіусом  $R$  ( $\theta$ ) при нерегульованій міжосьовій відстані  $A$ . Вальцювання є по суті процесом прокатки, який, однак, має деякі відмінності від описаного способу прокатки у валках зі змінним радіусом у стані звичайної конструкції. Валкам кувальних вальців повідомляють переривчасте обертання із зупинками в момент виходу на лінію центрів холостої частини валків. У цей момент зазор між валками перевищує висоту заготовки; задача заготовки у валки проводиться в напрямку, зворотному напрямку прокатки. При наступнім обертанні валки із центральним кутом робочої частини  $180-270^\circ$  обжимають метал і видають його в сторону вальцювальника (по характеру руху металу й валків процес вальцювання аналогічний пілігримовій прокатці труб). Вальцюванням одержують профілі обмеженої довжини, яка визначається діаметром валків у робочій частині, що становлять зазвичай 200-500 мм.

Перевагою вальцювання є можливість здійснення його в кілька пропусків у багаторівчачових валках, що дозволяє максимально наблизити форму профілю до готової деталі. Вальці використовуються переважно перед штампувальними пресами в машинобудуванні, в той час, як стани для отримання масових періодичних профілів прокату – в металургії.

Широко відомий періодичний профіль для армування залізобетонних конструкцій (рисунок 12.5 а), але набагато більш складні періодичні профілі для виготовлення автомобільних осей (рисунок 12.5 б).



а - арматурна сталь; б – заготовка для осі автомобіля  
Рисунок 12.5 - Періодичні профілі



а – зубчаста рейка - односторонній профіль постійної ширини без вуса; б - гвинтова арматура – двосторонній не співпадаючий профіль без вуса з постійним нормованим зсувом контурів

Рисунок 12.6 - Односторонній и двосторонній періодичні профілі

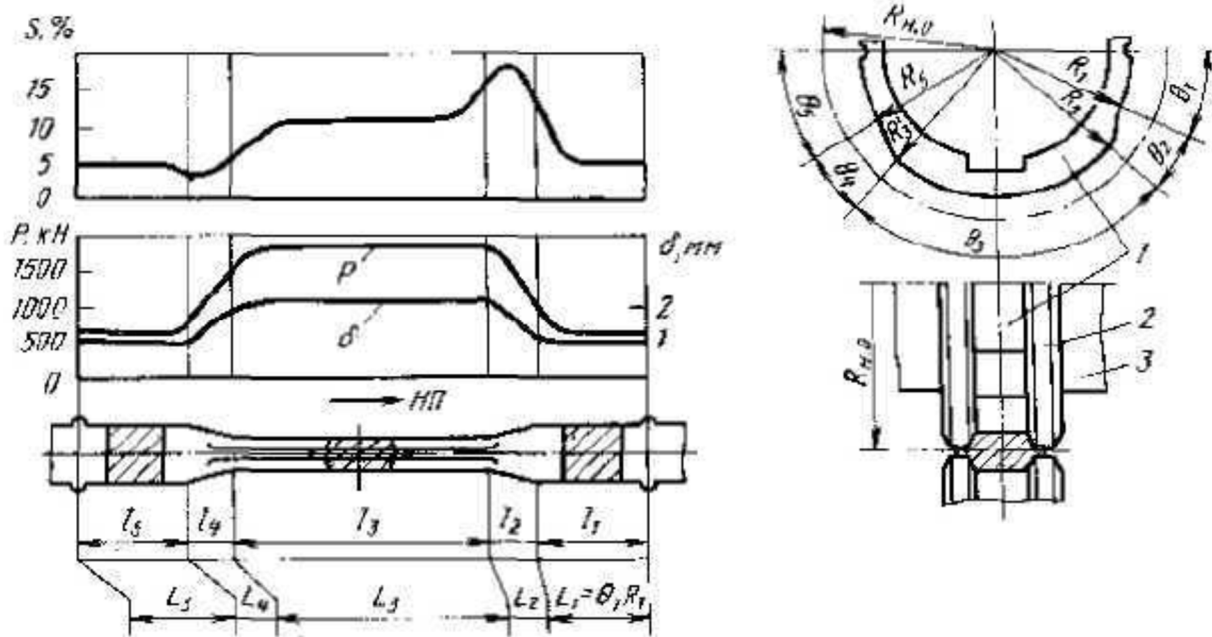
Періодичні профілі прокату класифікують по декільком ознакам: за формою - односторонні (рисунок 12.6, а) і двосторонні (рис 12.5; 12.6, б), двосторонні зі співпадаючим (рисунок 12.5 б) і незбіжним (рисунок 12.5 а; 12.6, б) верхнім і нижнім контуром; по складності - прості (з постійною шириною; з співвідношенням площ поперечного перерізу профілю  $F_{\max}/F_{\min} < 2$ ) і складні (зі змінною шириною; з  $F_{\max}/F_{\min} > 2$ ); по технологічним ознакам - прокатані у відкритих або закритих калібрах (відповідно з вусами місцевими, по всій довжині або без них) і ін. Різні ознаки можуть бути взаємозалежні, а в деяких випадках їх виконання може залежати від конструкції головної лінії стану. Наприклад, прокатка з вусами дозволяє збільшити коефіцієнт витяжки до 3,4 - 3,8 без порушення умов захвату металу валками (у той час як при прокатці без вусів він не перевищує 2,1 - 2,3), що дозволяє одержати більш складні профілі. Однак при необхідності одержання готового профілю без вусів їх наступна обрізка приводить до збільшення відходів металу. Односторонній профіль, а також двосторонній з ненормованим відносним розташуванням нижніх і верхніх контурів (арматурні профілі, крім гвинтових, і інші профілі, що допускають зсув нижнього й верхнього контурів) можуть бути прокатані на будь-якому прокатному стані. Двосторонні профілі із закономірним розташуванням верхнього й нижнього контурів (зі збігом контурів, гвинтова арматури й інші з нормованим зсувом контурів) можуть бути прокатані тільки на спеціальних станах, у приводі валків чистових клітей яких є обладнання для кутової синхронізації валків - регульовальні муфти з безступінчатим, що повертаються один щодо одного напівмуфтами, а також механізми відносного переміщення в просторі валків шестеренної кліті.

Одержання заданого профілю прокату забезпечується правильно розрахованим діаметром і калібруванням валків. Розрахунок ускладнений тим, що періодична прокатка, на відміну від звичайної, є процесом нестационарним, при якому відбуваються регулярні зміни обтиснення, що приводять, у свою чергу, до зміни геометричних параметрів осередку деформації, випередження, розширення, зусилля прокатки. Ділянкам профілю  $l_i$  з постійними  $h_i$  або мінливими  $h_{i\max} = h_{i\min}$  розмірами (рисунок 12.7) повинні відповідати ділянки окружності валка, що мають певний центральний кут  $\theta_i$ , постійні  $R_i$  або змінні  $R_{i\max} = R_{i\min}$  радіуси й довжину дуги  $L_i$ . Наявність випередження приводить до залежності диференціалів довжин  $dL = dl/(1+S)$ , при цьому повні довжини відповідних ділянок валка становлять

$$L_i = \int_0^{l_i} dl/(1+S) = l_i/(1+S_{cp}) = (1+\alpha_t \cdot t^0) \cdot l_{ni}/(1+S_{cp}) \quad (12.1)$$

де  $S$  і  $S_{cp}$  - миттєве випередження й середньоінтегральне значення випередження на ділянці  $l_i$ ;  $l_{ni}$  - нормальна довжина ділянки в холодному стані;  $\alpha_t$  - коефіцієнт лінійного розширення;  $t^0$  - температура прокатки профілю.

Сума довжин участків  $\Sigma L_i$ ; при кратності профілю  $k$  по периметру валка визначає умовний катаючий радіус валка  $R_{кат} = k \Sigma L_i / 2\pi$  і радіус початкової окружності валка  $R_{н.о.} \approx R_{кат} + 0,5h_{ср}$ , де  $h_{ср} = \Sigma h_{icpl_i} / \Sigma l_i$  – середня висота профілю.



1 - калібрований бандаж; 2 - бурт; 3 - вісь валка; НП - напрямок прокатки

Рисунок 12.7 - Зміна миттєвого випередженні  $S$ , зусилля прокатки  $P$  і пружної деформації кліти  $\delta$  по довжині одного періоду й калібрування валка (із двома кратностями по окружності)

Знайдений радіус валка  $R_{н.о.}$  дозволяють визначити всі значення  $R_i$  і  $\theta_i$  по ділянках: на ділянках з постійним радіусом  $R_i = R_{н.о.} - 0,5 h_{ki}$ , на участках з перемінним радіусом (при профілюванні перехідного участку по дузі окружності)  $R_{icp} = \sqrt{R_{imax} \cdot R_{imin}}$ ;  $\theta_i = L_i / R_i$ . Тут  $h_{ki}$  – висота калібру, котра визначається як:

$$h_{k_i} = (1 + \alpha_t \cdot t^\circ) \cdot h_{ni} - \delta_i \quad (12.2)$$

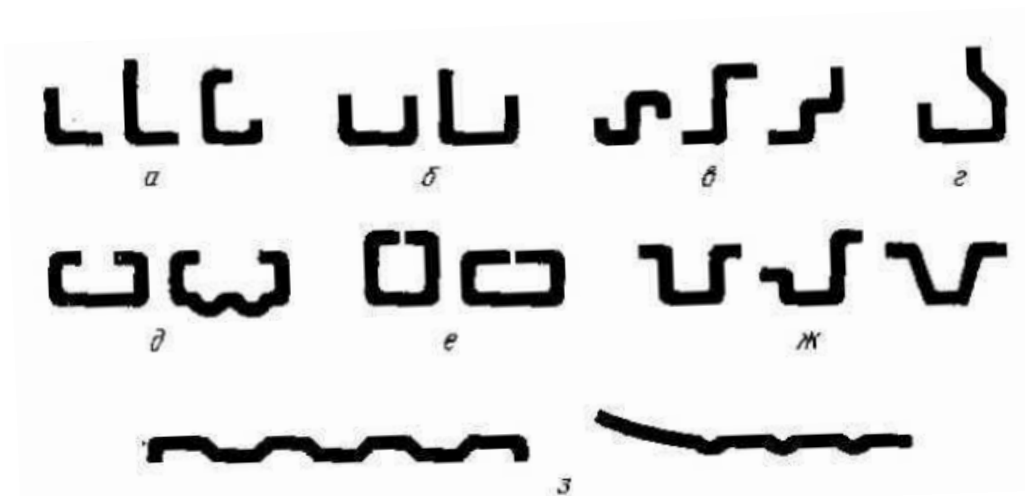
$h_{ni}$  - номінальна (або з урахуванням відхилення в межах допусків) висота ділянки профілю в холодному стані,  $\delta_i = P_i / M_k$  – пружна деформація ("пружина") робочої кліти,  $P_i$  - зусилля прокатки,  $M_k$  - модуль жорсткості кліти. Наближене визначення  $R_{н.о.}$  приводить в деяких випадках до невиконання умови  $\Sigma \theta_i = 2\pi/k$ , що вимагає коригування розрахунку.

Прокатані періодичні профілі зазнають виправлення (на правильних машинах, пресах, у штампах, розтягненням), обрізки вусів (у штампах, дисковими ножицями), розрізання на мірні довжини або періоди (на ножицях, пилках). Ці операції залежно від виду й розміру профілів проводяться в різній послідовності, вибірково, а також у гарячому або холодному стані.

### 13 ВИРОБНИЦТВО ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ПРОКАТУ

Останнім часом усе частіше доводиться зіштовхуватися із гнутими профілями, які використовуються в різних галузях промисловості: від побутової техніки до будівництва. Зростаючий попит на гнуті профілі стимулює створення нових і розширення існуючих підприємств, що у свою чергу породжує попит на відповідне профілезгинаюче обладнання й агрегати поздовжнього й поперечного розпуску рулонного металу.

На рисунку 13.1 зображені види крупногабаритних гнутих профілів прокату.



а - кутки рівнобокi, нерiвнобокi, з пiдiгнутими полками; б - швелери рiвнополочнi й нерiвнополочнi; в - зетовi профiлi; г – коробчатi профiлi; д - С-подiбнi (напiвзамкненi) профiлi звичайнi й з гофрами на пiдставцi; е - замкненi профiлi квадратнi й прямокутнi (звичайнi й зваренi - зi звареними кромками; ж - коритнi профiлi рiвнополичнi, нерiвнополичнi, конуснi; з - гофрованi листи iз трапецiєподiбними й круглими гофрами

Рисунок 13.1 - Види крупногабаритних гнутих профілів прокату

Виробництво гнутих профілів характеризується більшими перевагами перед усіма іншими способами одержання профілів складної форми. Ці переваги наступні:

1. Забезпечується можливість одержання профілів будь-якої конфігурації в поперечному перерізі з різними розмірами по ширині, товщині й довжині зі штабової сталі, сталі різних марок, кольорових металів і сплавів.

2. Створюються умови здійснення в загальному технологічному потоці низки інших допоміжних операцій (перфорація, зварювання, різні види покриття поверхні, фарбування і т.д.).

3. Забезпечується висока якість поверхні, яка вільно контролюється в процесі формозміни штаби.

4. Забезпечується висока точність розмірів з будь-яким ступенем жорсткості допусків по всіх елементах профілю.

5. Простота механічного обладнання всього стану, що забезпечує технологічний процес гнuttя; малі габарити, незначна маса всього обладнання.

6. Доступність і сприятливі умови праці, наочність самого процесу гнuttя, що дозволяє здійснювати настроювання стану на одержання профілю високої точності.

7. Мала витрата енергії, висока стійкість валків, стабільність самого процесу.

8. Мінімальний витратний коефіцієнт металу. Коефіцієнт використання металу становить 99,5 - 99,8%. Високі техніко-економічні показники роботи профілезгинальних станів.

9. Гнуті профілі в багатьох випадках є закінченими деталями або виробами, що не вимагають додаткової обробки.

Процес одержання профілів способом гнuttя зводиться до здійснення послідовного процесу пластичної деформації вихідної штаби по оформленню окремих елементів і всього профілю в цілому у відповідних фасонних калібрах.

З погляду технологічних можливостей процесу гнuttя слід зазначити, що цим способом можна одержувати будь-які профілі складної конфігурації поперечного перерізу з виконанням поперечних і поздовжніх ребер жорсткості, перфоровані, з елементами подвійної товщини, а також плаковані пластиками і т.д.

Все це зумовлює можливість застосування заготовок будь-яких розмірів по ширині й товщині. Максимальні значення розмірів вихідної заготовки: по ширині до 600 мм при товщині 2-8 мм і по ширині до 1500 мм при товщині від 1 до 4 мм зі спеціальними технічними, службовими властивостями. Процес профілювання досить перспективний і буде значно розвиватися.

Профілезгинальні стани класифікуються головним чином по товщині й ширині вихідної штаби або листа, необхідних для формування профілів прийнятого сортаменту.

Як відзначалося вище, граничних меж по розмірах вихідної штаби для профілезгинальних станів практично немає, однак установлене, що граничною шириною вихідної штаби слід на сьогодні вважати ширину 2500 мм, а товщину 20 мм. Ці розміри є гранично визначаючими максимальні силові параметри процесу.

Особливістю процесу профілювання є обов'язкова зміна форми штаби, тоді як при прокатці форма штаби може не змінюватися, а змінюються лише розміри. При профілюванні не змінюється довжина штаби, що задається, ширина (по середній лінії штаби) і лише в окремих місцях перегину може незначно змінитися товщина штаби. З погляду теоретичних положень при гнuttі осередок деформації розповсюджений далеко за межами прокатних валків на вході й виході штаби.



У цілому ж процес гнуття може бути нескінченним, оскільки при холодній деформації представляється більш реальна можливість здійснення зварювання стиків рулонів (окремих штаб).

Особливістю технологічного процесу одержання профілів методом гнуття є правильність визначення калібрування - послідовності формування окремих елементів профілю й умовами, що визначають рівномірність розподілу напруг по перетину профілю.

При неврахуванні цих положень профіль на виході з останньої формуючої кліти може скручуватися щодо поздовжньої осі або навіть звиватися в поздовжньому напрямку.

З іншого боку, при розробці технологічних параметрів процесу гнуття необхідно передбачити простоту виготовлення валків, які являють собою набір окремих шайб, калібрування яких належить до окремих елементів профілю, що значно спрощує виготовлення й підготовку до роботи профілезгинальних валків.

Стан являє собою безперервний формувальний агрегат, що складається з декількох клітей (число клітей визначається при конструктивній розробці стану), де й проводиться послідовне гнуття штаби до остаточного профілю. За станом установлені летучі ножиці, що здійснюють різання штаби простої кінцевої форми готового профілю. У лінії потоку встановлені правильні кліті, де профіль остаточно оформляється до повної пружно-технічної стабільності.

Якщо ж профіль має складну форму і його на ножицях різати не можна, тоді використовується дискова пилка. Отриманий таким чином, профіль у потоці зазнає остаточне чистове промаслювання, пакетування й зважування в ув'язаних пачках.

Процес профілювання полягає в послідовній підгибці (рисунок 13.2) і формуванню листової сталі до необхідної конфігурації готового профілю у фасонних калібрах валків профілезгинального стану.

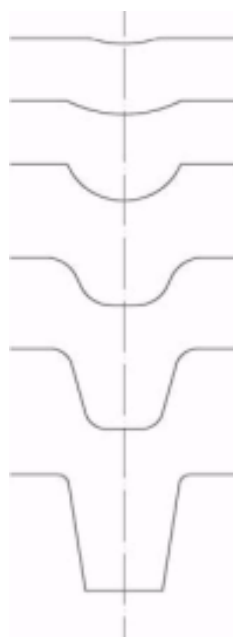
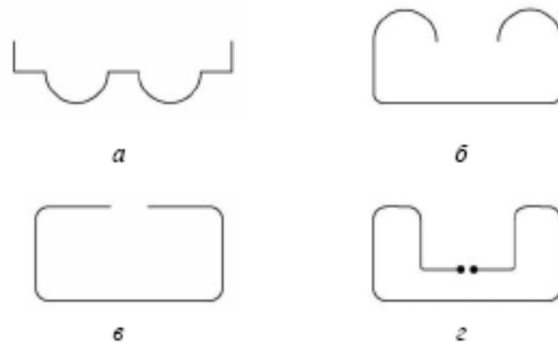


Рисунок 13.2 - Схема формовки гнутого профілю

Гнуті профілі прокату можна виготовляти найрізноманітнішої конфігурації поперечного перерізу, у тому числі й замкненої й напівзамкненої форм, з кольорових металів і сплавів, вуглецевої, низьковуглецевої й легованої сталей шириною заготовки до 2000 мм, товщиною до 8-20 мм і довжиною до 12 м.

Форма гнутих профілів може бути найрізноманітніша (рисунок 13.3), причому виготовляють профілі із просічкою, з перфорацією, з ребрами жорсткості, зварні, покриті пластиком і т.д.



а - відкриті профілі; б - напівзамкнені; в - замкнені; г – зварні  
Рисунок 13.3 - Форма гнутих профілів

По видах виділяють профілі загального призначення (88%), профільований оцинкований настил (11%), зварні замкнені профілі (0,6%), перфоровані профілі (0,4%).

Споживання по галузях таке:

- будівництво (26,6 %);
- автомобілебудування (25,9 %);
- важке й транспортне машинобудування (18,3 %);
- сільгоспмашинобудування (17,4 %);
- інші (11,8%).

### 13.1 Характеристика обладнання для профілювання гнутих профілів прокату

Виготовлення гнутих профілів у профілезгинальних станах динамічно розвивається. Потреба рулонної сталі з антикорозійним покриттям для цього виробництва лише в Україні становить в 2010 році близько 200 тис. т і зростає приблизно на 20 - 30% за рік.

Раніше виробництво гнутих профілів було зосереджено на металургійних гігантах, таких, як "Запоріжсталь" і т.п. Після появи менш метало- і енергоємного профілезгинального обладнання гнуті профілі в наш час виготовляють на багатьох малих підприємствах, які спеціалізуються на виробництві профілів певного типу. У зв'язку з тим, що підсилилась

конкуренція на цьому ринку усе більше гнутих профілів прокату стають регіональним продуктом, що пов'язане із транспортними витратами на їхню доставку кінцевому споживачеві. Цей процес стимулює наступний розвиток невеликих прокатних виробництв. Розвиток виробництва відбувається як за рахунок спеціалізованого, так і універсального профілезгинального встаткування. Якщо донедавна більшість гнутих профілів прокату виготовлялася зі сталі без якого би не було покриття, то в цей час майже всі профілі прокату (за дуже малим винятком) виготовляються з рулонної сталі з антикорозійним покриттям: цинковим, лакофарбовим, полімерним, і т.п.

Уже майже традиційними для України напрямками виробництва гнутих профілів з антикорозійним покриттям є виробництво профілів:

- для так званих гіпсокартонних систем швидкого монтажу каркасів внутрішньої обробки приміщень;

- елементів жорсткості для вікон і дверей;

- для виготовлення вентиляційних каналів;

- для покрівель і зовнішніх декоративних стінних панелей.

Поки ще рідко спостерігається виробництво:

- Z-подібних і інших профілів, які використовуються для кріплення сайдингів (пластикові дошки, якими облицьовують будинок і які кріпляться під кутом. Бувають дерев'яні, металеві, цементні й т.п. сайдинги);

- профілів для монтажу електротехнічних комунікацій;

- корпусів освітлювальних приладів, дверних полотен і коробів, профілів для облицювання дверних прорізів, підвіконь, плінтусів, і т.п.

Дуже перспективними в найближчому майбутньому будуть профілі для дорожніх огорожень; профілі, які можуть використовуватися в якості несучих балок для кріплення міжетажних перекриттів і будь-які профілі, які більш-менш масово використовуються в будівництві. Це пов'язане як із процесом виходу будівельної галузі із кризового періоду й впровадженням нових будівельних технологій, так і з очікуваним будівельним бумом при підготовці до Євро-2012.

Проблеми зниження витрати металу й енергії в цей час значно загострилися. Ціни на метал і електроенергію значно виросли, тому виробники гнутих профілів змушені шукати шляхи більш економічних способів профілювання, використання більш досконалі технології й види обладнання.

Профілезгинальне обладнання можна умовне розділити на наступні групи.

1. Стани для профілювання стрічки або листа.

1.1. Залежно від виду заготовки, яку використовують для профілювання, стани можна розділити на такі групи.

1.1.1 З безперервним процесом профілювання. У цих станах використовується заготовка у вигляді умовно "безмежної стрічки", яка утворюється шляхом зварювання кінців рулонів. Достоїнством такого методу є висока якість готової продукції, можливість одержання складних профілів з одним або декількома замкненими контурами, зменшення кількості робочих клітей і валків для профілювання, зменшення простоїв обладнання завдяки прискореному налагодженню й більш стабільній роботі. Використання такого

способу обмежується швидкісними можливостями ріжучих пристроїв, збільшенням вартості обладнання (пристрій для зварювання стрічки, накопичувач стрічки, приводний розмотувач, обладнання для різання профілю без зупинок, можуть коштувати значно більше ніж весь профілезгинальний агрегат), але значно зменшити відходи виробництва (с 1 - 3 % до 0,01 - 0,03 %).

1.1.2. З рулонним процесом профілювання. Технологія безперервного процесу використовується в межах одного рулону. При цьому розрізування готового профілю виконується ріжучими пристроями, а операція зварювання кінців рулонів і відповідне обладнання відсутні. Такі стани економічні при виготовленні профілів з малими товщинами й великою шириною, що пояснюється досить великою довжиною штаби в одному рулоні й відсутністю дорогого обладнання для зварювання кінців рулонів широкої стрічки.

Лінія для виготовлення гнутих профілів із рулону представлена на рисунку 13.4.

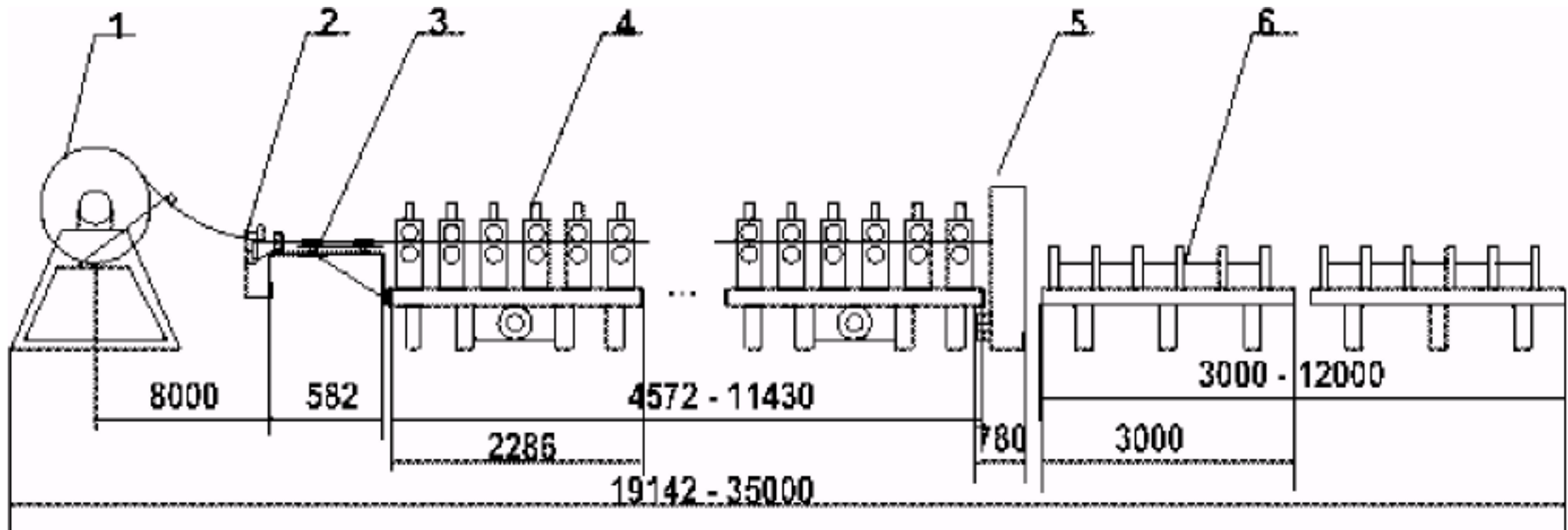
1.1.3. З безперервним і поштучним процесом профілювання. У цих станах складні й легкі профілі виготовляються методом безперервного профілювання з розрізуванням на мірні довжини летучими ріжучими пристроями за станом, а для одержання простих і складних профілів використовуються окремі штаби або листи, розрізування яких здійснюється з рулону летучими ножицями, установленими перед формувальним станом.

1.1.4. З поштучним процесом профілювання. Для цих станів характерне профілювання окремих штаб або листів, які мають довжину готового профілю. Нескладна конструкція ріжучих пристроїв, відсутність дорогих машин для стикового зварювання є перевагами цього методу. До недоліків слід віднести використання менш інтенсивних режимів профілювання, більша кількість технологічних проходів, робочих клітей що приводить до підвищеної кількості валків, збільшенню маси обладнання, обмежується сортамент і збільшуються енергозатрати. Але найбільший недолік - відхилення конфігурації профілю від заданих розмірів на початку й наприкінці кожного профілю на 1 - 2 міжклітьові відстані.

1.2. Залежно від способу здійснення обертального приводу на вали із профілезгинальним інструментом існують стани з тільки верхнім, тільки нижнім і одночасно верхнім і нижнім приводами. Як відомо, стрічка простягається через валки за рахунок тертя. Зусилля, необхідне для її протягання через усі профілезгинальні кліті залежить головним чином від складності профілю й товщини заготовки.

1.2.1. Якщо зусилля протягання велике, то силу протягання можна одержати, обертаючи одночасно як нижні, так і верхні валки. Такі стани використовують для виготовлення складних профілів з товстого листа (3,0 мм і більше) або з матеріалу з підвищеними механічними властивостями.

Дослідженнями процесу профілювання встановлено, що у зв'язку з відмінністю окружних швидкостей валків і лінійних швидкостей стрічки в місцях її підгинання мають місце значні втрати на тертя. Їх можна зменшити шляхом застосування мастил, хоча це не завжди приводить до бажаного результату у зв'язку з порушенням стабільної роботи профілезгинального стану (виникає пробуксовка металу у валках). Крім того, якісні мастила досить дорого коштують.



1 - розмотувач; 2 - ніж роликівий; 3 - проводка вставна; 4 - модуль профілезгинальний; 5 - гільйотина профільна; 6 - стіл прийомний

Рисунок 13.4 - Схема стану для виготовлення профілів для стінних і покрівельних панелей

1.2.2. Стани, у яких силу протягання можна одержати, обертаючи тільки нижні (або тільки верхні) валки.

Використання такого типу станів дозволяє значно (на 15 - 20%, а в деяких випадках і більше) знизити витрати на тертя в порівнянні з попереднім типом станів. Це обумовлює не тільки зниження витрат енергії, але й зменшення зношування інструмента, підвищення якості одержуваних профілів. Показано, що обертовий момент на шпинделях при профілюванні в клітях з нижнім і верхнім приводом валків набагато більше, ніж при профілюванні в клітях тільки з нижнім приводом валків.

На ТОВ "МЕКАП" (Харків) уже більш ніж 10 років використовують стани, у яких крутний момент, необхідний для профілювання, передається тільки на нижні валки, а верхні валки обертаються зі своєю кутовою швидкістю, що самовизначається. Однак слід мати на увазі, що стани з однобічним приводом можна використовувати для виготовлення гнутих профілів із заготовок товщиною до 2,5 - 3 мм і не дуже складної форми.

Для подальшого зниження енергоємності кожного окремого процесу профілювання можна використовувати профілезгинальні елементи з розрізними валками. У таких станах середні частини верхніх і нижніх валків мають на робочих поверхнях однакові лінійні швидкості. Бічні частини валків (диски) вільно закріплені на валу й можуть обертатися з різними швидкостями (рисунок 13.5).

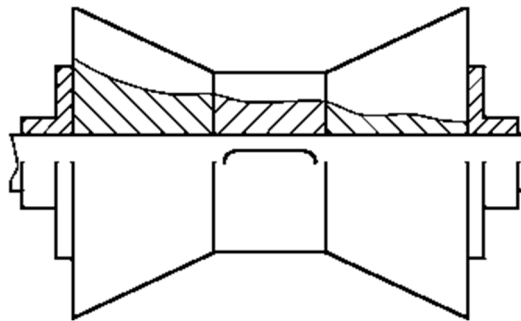


Рисунок 13.5 - Схема розрізного нижнього валка з дисками, які обертаються незалежно один від одного.

Такий спосіб дає можливість значно зменшити витрату енергії на тертя й збільшити крутний моменту, що дозволяє одержувати високоякісні профілі складної форми, заощаджувати електроенергію, використовувати дешеві мастила.

Така конструкція наведена на рисунку 13.5.

1.3. Залежно від конструкції стани можна розділити на дві групи:

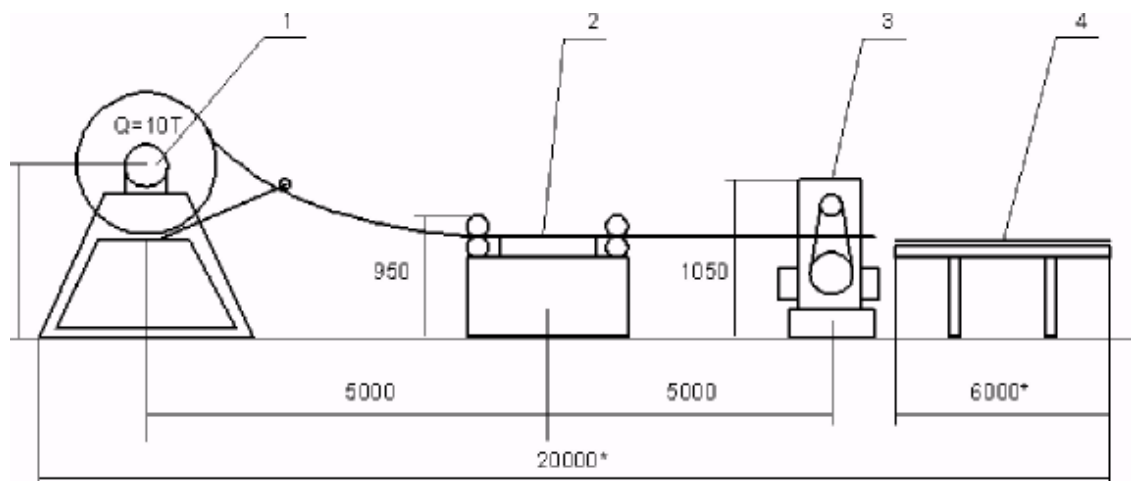
1.3.1. Стани загального призначення, які мають суцільну станину, один електродвигун і ту кількість профілезгинальних клітей, яке прийняв конструктор при проектуванні. Ці стани переважно використовувати в цехах, які спеціалізуються на виготовленні гнутих профілів на металургійних заводах. Такі стани можна розділити на чотири типи, які наведені в таблиці 13.1.

Таблиця 13.1 - Стани загального призначення

Тип стану	I	II	III	IV
Товщина штаби, мм	0,5-1,2	1-4	2-8	5-12
Ширина штаби, мм	100-1250	50-150	100-600	400-1200

Недоліками таких станів є обмежена кількість видів профілів, необхідність в електродвигуні великої потужності. На таких станах важко перенастроюватися із профілювання більш складного профілю на простий, тому що будуть залишатися порожні кліти, або навпаки, буде не вистачати валків якщо потрібно буде зробити більш складний профіль. Наприклад, для виготовлення профнастилу С21-1000 потрібно мати 12-15 клітей. Тому виробник гнутих профілів повинен спочатку виконати розрахунки калібрувань, потім замовити стан, а виробник станів - розробити необхідну технічну документацію й тільки після цього приступити до виготовлення стану. Така робота зовсім непродуктивна.

1.3.2. Стани модульної конструкції. Вони складаються із блоків клітей у яких розташовано по 4 - 6 профілезгинальних клітей. Кожний з таких блоків має свій електродвигун відносно невеликої потужності, може працювати як самостійно, так і без проблем може з'єднуватися з наступним, утворюючи профілезгинальний агрегат будь-якої довжини, що дозволяє набирати необхідну кількість переходів. Це дозволяє найбільше ефективно використовувати обладнання, ефективно розміщати його на виробничих площах і заощаджувати електроенергію.



1 - розмотувач рулонів, 2 - правильно-подаючий пристрій; 3 - гільйотинні ножиці; 4 - приймаючий стіл

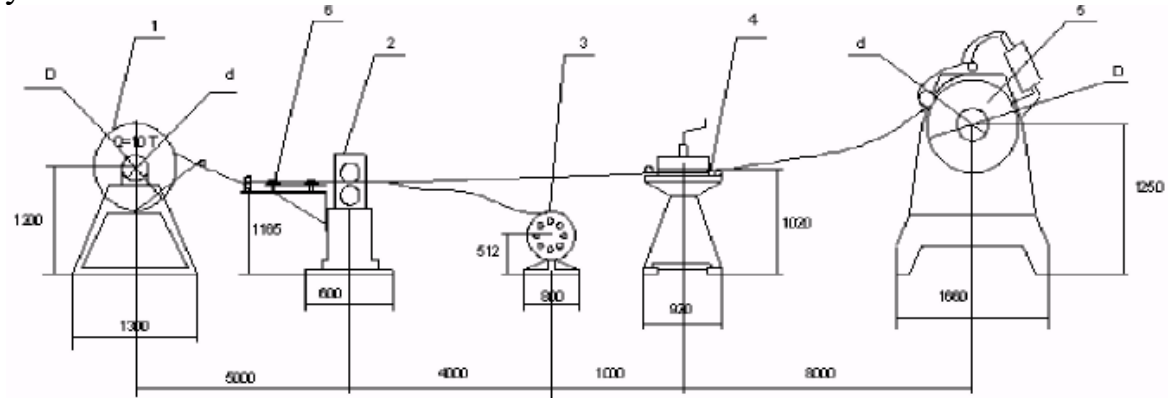
Рисунок 13.6 - Схема лінії поперечного розпуску рулонного металю

## 2. Обладнання для виготовлення стрічки.

Це дуже важливий вид обладнання в профілезгинальних цехах, тому що закупівля стрічок різної ширини на стороні виходить дорожче, чим їх підготовка на власному виробництві. Залежно від способу дії це устаткування можна розділити на дві групи:

2.1. Виготовлення стрічки для поштучного профілювання. Щоб одержати короткі профілі такого типу як водозливи, листви, ковзани й таке інше, необхідно мати заготовки невеликої довжини. Для їхнього виготовлення використовують агрегати поперечного розпуску рулонного металю. Схема такого агрегату наведена на рисунку 13.6.

2.2. Підготовка до порулонного профілювання. Для всіх профілів, крім тих, у яких ширина заготовки відповідає ширині рулонів, необхідно робити поздовжній розпуск рулонного металю на стрічки заданої ширини. Схема лінії поздовжнього розпуску металю представлена на рисунку 13.7, а її фото на рисунку 13.8:



1 – розмотувач рулонів; 2 - ножиці дискові; 3 - змотувач обрізі; 4 - натяжний пристрій; 5 - намотувач; 6 - направляючий пристрій; d, D - внутрішній і зовнішній діаметри рулону

Рисунок 13.7 - Схема лінії поздовжнього розпуску рулонного металю



Рисунок 13.8 - Фото лінії поздовжнього розпуску металю виробничого цеху ТОВ «МЕКАП»



У цей час розширення сортаменту продукції здійснюється переважно за рахунок розробки й застосування нових гнутих профілів складної конфігурації, виготовлених з більш тонкого металу. Більшу частину з них становлять несиметричні профілі, до яких відносять також будь-які Z - подібні, що відрізняються підгинанням крайніх елементів заготовки в одну сторону. Наявність у складі профілю великого числа елементів, у тому числі різних упрочнюючих (гофрів, відбортовок, місцевих стовщень металу й ін.) дозволяє значно підвищити його характеристики міцності й компенсувати негативний ефект від зменшення товщини металу. На рисунку 13.9 зображений Z – подібний гнутий профіль для об'єктів енергетики.

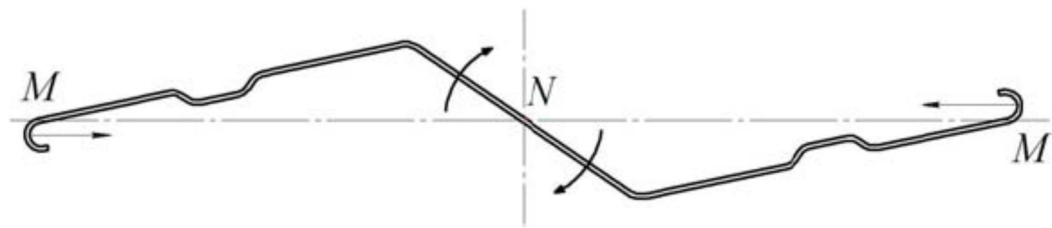


Рисунок 13.9 - Спеціальний Z - подібний гнутий профіль для об'єктів енергетики

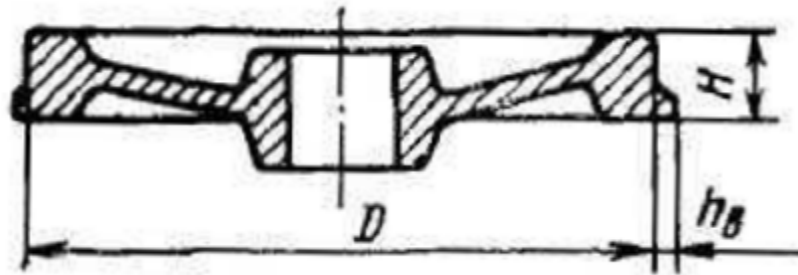
#### 14 ВИРОБНИЦТВО КОЛІС, БАНДАЖІВ І КІЛЕЦЬ

Колеса в процесі експлуатації зазнають ряд фізико-механічних впливів. Наприклад, у місцях стику рейок при руху вагонів колеса зазнають значних динамічних впливів. Одночасно між контактними поверхнями колеса й рейки виявляється тертя - ковзання. Колеса працюють при знакозмінних температурних умовах.

Ці основні фактори зумовлюють певний технологічний процес виробництва коліс, а також і бандажів для коліс.

Спеціально для коліс визначений наступний хімічний склад сталі, %: 0,52-0,60 C (для окремої групи коліс допускається 0,57 - 0,65 C); 0,5-0,9 Mn; 0,17-0,37 Si;  $\leq 0,04$  P і S; 0,25 Cr, Cu і Ni (кожного).

Для залізничного транспорту застосовується чотири типи коліс, розмір яких визначається діаметром, вимірюваним по більшій частині контактної поверхні колеса (рисунок 14.1).



$H$  - товщина диска колеса;  $h_{в}$  - висота виступу;  $D$  - діаметр колеса  
Рисунок 14.1 - Основні розміри залізничного колеса

У наш час виробництво коліс здійснюється шляхом комбінації двох процесів обробки металів тиском: прокатки й ковальсько-пресової обробки, причому ковальсько-пресових операцій застосовується значно більше, ніж прокатних.

Основні технологічні операції виробництва коліс наступні (рисунок 14.2).

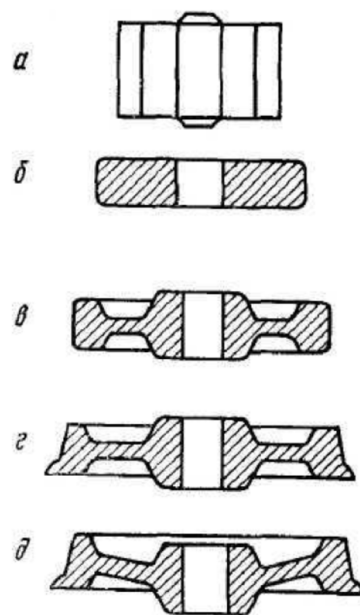


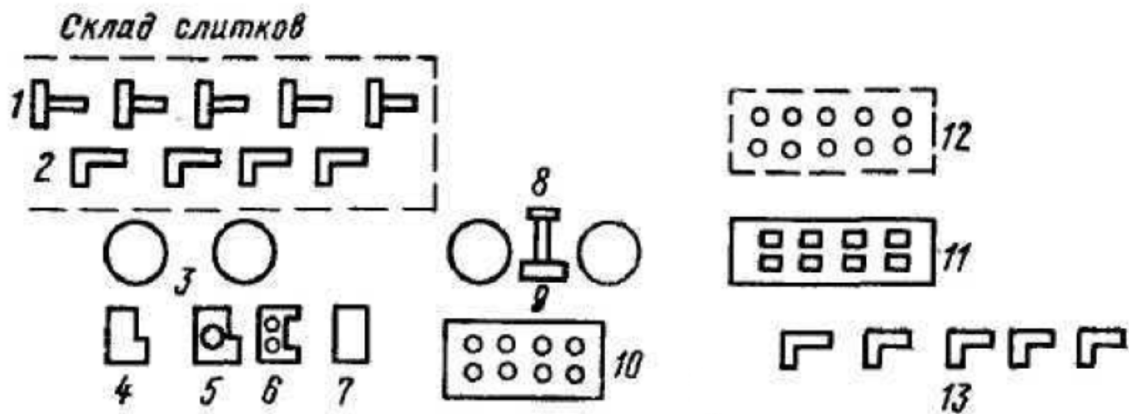
Рисунок 14.2 - Послідовність одержання залізничних коліс

1. різка і ламання холодних злитків на заготовки зі зважуванням і розсортуванням останніх по вагових групах (рисунок 14.2, а);
2. нагрів заготовки в печах до заданої технологічної температури;
3. обтиск (осаду) і прошивання отвору в заготовці на пресі № 1 (рисунок 14.2, б);
4. формовка заготовки в колесо на пресі № 2 (рисунок 14.2, в);
5. розкатка заготовки в колесо (рисунок 14.2, г);
6. калібрування коліс и вигин диска на пресі №3 (рисунок 14.2, д);
7. термічна обробка коліс;
8. механічна обробка коліс.

При зазначеній послідовності технологічних операцій поверхня кочення коліс піддається загартуванню й відпуску, завдяки чому підвищується зносостійкість коліс.

Однак останні дві операції можуть чергуватися у зворотній послідовності.

Схема розташування й склад обладнання колесопркатного стану наведені на рисунку 14.3.



1 - верстати для різання злитків; 2 - гідравлічні верстати для ламання злитків; 3 - карусельні нагрівальні печі; 4 - парогідравлічний прес зусиллям 7000 тс; 5 - прес для штампування ступиці й обода колеса; 6 - колесопркатний стан; 7 - парогідравлічний прес зусиллям 2500 тс; 8 - карусельні гартівні печі; 9 - гартівні столи; 10 - кільцеві печі ізотермічного відпалу; 11 - карусельні верстати для обточування коліс; 12 - кільцеві печі для відпуску коліс; 13 - верстати для ремонту коліс

Рисунок 14.3 - Схема розташування обладнання колесопркатного стану

Технологічний процес виробництва коліс на стані зводиться до наступного. Злитки шестигранної й дванадцятигранної форми масою 3 - 3,2 т і периметром, обмірюваним на висоті 1 м від даної площини, 1613 - 1632 мм розрізаються на шість або п'ять заготовок, відповідно розміру колеса. Кожна група периметрів має самостійний розкрій. Перед розрізанням злитки ретельно оглядають і поверхневі дефекти видаляють вирубкою або автогенним зачищенням. Розрізка злитків здійснюється на спеціальних багаторізьцьових зливкорозрізних верстатах, при цьому різ проводиться не на всю глибину, а залишається шийка й далі злиток розламується на частини за допомогою зливколомача, що представляє собою клин, виконаний на кінці штока.

Нагрів заготовки проводиться до температури 1200 – 1250<sup>0</sup>С у спеціальних печах секційного нагріву з обертовим подом. Печі розділені на чотири зони: підігрівальну, дві нагрівальні й витримки. Завантаження заготовок у піч і видача їх з неї здійснюються за допомогою машин.

Нагріта заготовка після видалення окалини подається на прес № 1, де проводиться вільне осадження заготовки до висоти приблизно 200 мм, що відповідає технологічним параметрам. При цьому окалина, що залишилася,

здувається за допомогою пари; потім ця заготовка вдруге піддається осадженню до висоти приблизно 105 мм із одночасним виконанням прошиття отвору.

Далі в пресі № 2 проводиться штампування намічуваних ступиць й обода колеса.

Після, ступиці, що оформилися й ободи заготовка в такому виді подається в розкатний семивалковий стан, де остаточно формуються обід, диск, ступиці.

Прокатане колесо передається в прес № 3, де проводиться калібрування колеса по зовнішніх розмірах з допуском на механічну обробку й вигинання диска; одночасно на цьому ж пресі прошивають у диску два отвори й проводиться нанесення клейма (марка сталі й дата виготовлення).

Технологічним процесом установлюється, що калібровані колеса після преса № 3 повинні мати температуру не нижче 800 - 850<sup>0</sup>С. Охолодження коліс проводиться на шлеперному холодильнику з регульованою швидкістю руху до температури 550—600<sup>0</sup>С.

Щоб уникнути флокеноутворювання, колеса знімають із холодильника й завантажують у шахтні ями для ізотермічної витримки при температурі 550-600<sup>0</sup>С протягом 2,5-3 г.

Після цього проводиться їх нагрів в кільцевих печах до гартівної температури ( $t=850 - 920^{\circ}\text{C}$ ) протягом 2 г.

Загартування здійснюється на особливих гартівних столах; частота обертання колеса 30 об/хв. На поверхню катання протягом 60 - 80 с під тиском 4 атм. подається вода, нагріта до температури 25 - 30<sup>0</sup>С.

Після загартування колеса піддаються відпуску: нагрівання в колодязних відпускових печах і спільне охолодження до температури 350 - 400<sup>0</sup>С, потім ці колеса видаються з печей і охолоджуються на повітрі.

У зв'язку з особливою відповідальністю в експлуатації, колеса піддаються детальному випробуванню.

Насамперед кожне колесо піддається контрольному випробуванню на твердість: вона повинна бути в межах середнього значення НВ 400. Від партії (125 коліс) вибирається одне колесо для копрових випробувань. Копрові випробування - це динамічні випробування. Колесо скидають із певної висоти на спеціальному обладнанні – копрі, й визначають, як колесо витримує динамічні навантаження. Від групи коліс однієї плавки відбираються зразки для визначення механічних властивостей. Колеса, що мають необхідні механічні характеристики, передаються у відділення механічної обробки, де на спеціальних станах проводиться обточка ступиці і отворів.

Наявність обточувальних і розточувальних верстатів, встановлених у колесопрокатному цеху, дозволяє видавати із цеху цілком готові колеса.

*Техніко-економічні показники виробництва коліс:*

Витрати металу, %:

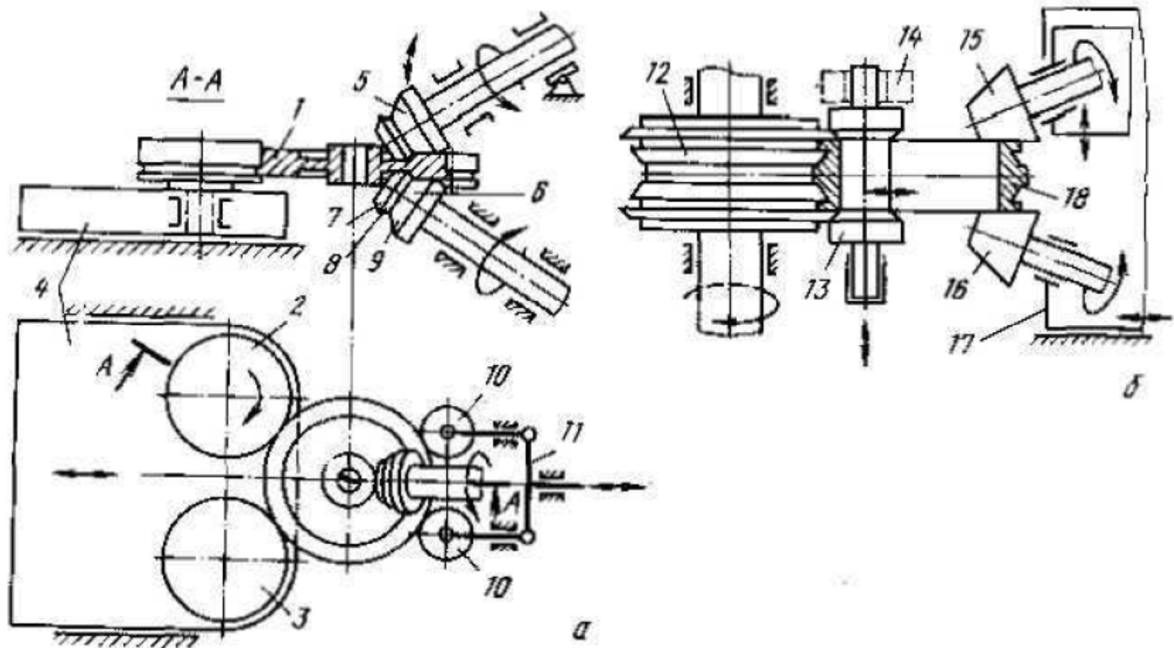
від злитку (100%) до заготовки	22,5
від заготовки (100%) до чорнових коліс	9
термічна й механічна обробка	15

Вихід коліс, %:

від злитків	60
-------------	----

від заготовки	77,5
Витрати на 1 т годних коліс:	
електроенергії (з урахуванням механічної обробки), кВт·г	90
палива, ккал	600

На рисунку 14.4 показані схеми прокатки на колесопркатному (а) і кільцепрокатному (б) станах.



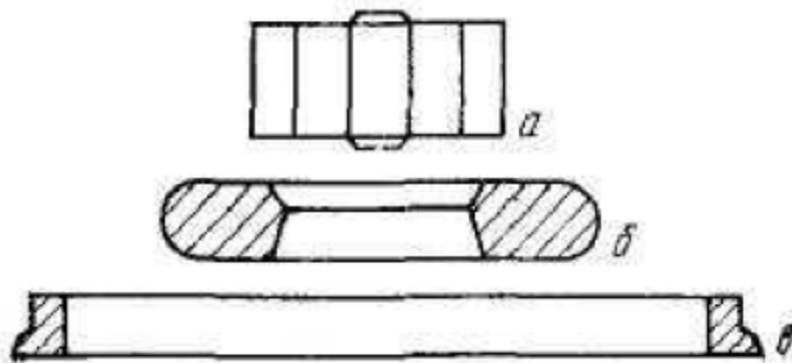
1 - прокатуване колесо; 2, 3 - приводний і не приводний корінні валки; 4 - каретка переміщення корінних валків; 5, 6 - похилі праведні валки (верхній - регульований, нижній - стаціонарний у вертикальному напрямку); 7, 8, 9 - кінцевий, середній і початковий конуси похилих валків; 10 - натискні не приводні валки, регульовані в горизонтальному напрямку; 11 - система регулювання положення натискних валків, що забезпечує вирівнювання зусиль на них; 12 - приводний стаціонарний валок (головний); 13 - внутрішній не приводний валок (дорн), регульований у горизонтальному напрямку (опускається при задачі в стан заготовки кільця); 14 - накидна додаткова опора; 15, 16 - приводні похилі валки (верхній - регульований, нижній - стаціонарний у вертикальному напрямку); 17 - каретка горизонтального переміщення похилих валків; 18 - прокатуване кільце

Рисунок 14.4 - Схеми прокатки на колесопркатному (а) і кільцепрокатному (б) станах

*Кільця* різного призначення - для великогабаритних підшипників кочення, бандажів для складених залізничних коліс і ін. - виготовляються за технологією обробки тиском, близької до колісної. Використовуються литі, ковані або катані

заготовки, що проходять при необхідності попереднє обточування зовнішньої поверхні. Нагріті заготовки піддаються осадженню, прошиванню наскрізного отвору, при одержанні деяких виробів - додатковому штампуванню, після чого проводиться їхня прокатка на кільцепрокатному стані. Стан значною мірою аналогічний по обладнанню колесопркатному, відрізняючись наявністю внутрішнього валка(рисунок 14.4, б). На станах різного типорозміру прокатуються кільця діаметром 100-3800 мм. В окремих випадках операція розкатування кілець застосовується, як чистова; вона проводиться в холодному стані, що дозволяє одержувати кільця підвищеної точності, міцності, з високою якістю й чистотою поверхні.

Технологічний процес виробництва бандажів аналогічний розглянутому для коліс, з тією лише різницею, що застосовується або циліндричний злиток з великим отвором, або змінюється форма штампів у пресів з виконанням внутрішнього отвору великого діаметра бандажа. При механічній обробці бандажа обточуванню піддається внутрішня поверхня; розмір внутрішнього діаметра витримується з дотриманням допуску на посадку. Послідовність операцій при виробництві бандажів показана на рисунку 14.5.



а - заготовка; б - проміжне осадження; в - остаточне одержання профілю

Рисунок 14.5 - Послідовність технологічних операцій при виробництві бандажів:

## 15 РОЗКОЧУВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВОК (РАДІАЛЬНЕ)

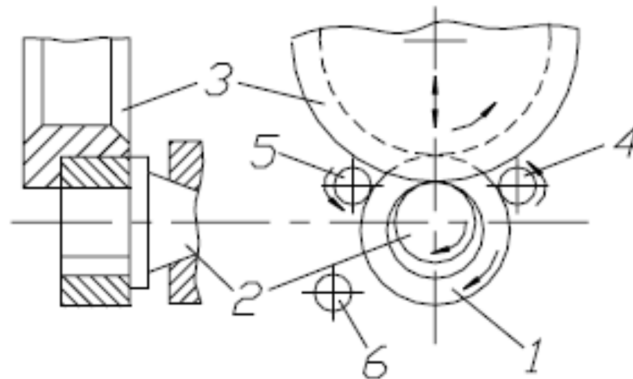
Радіальне розкочування - технологічна операція формозміни, при якій відбувається одночасне збільшення зовнішнього діаметра й діаметра отвору за рахунок зменшення товщини стінки деталі, при цьому може бути також змінена форма поперечного перерізу кільця.

Радіальне розкочування здійснюється в процесі деформації валками на спеціалізованих кільцезокатних машинах і застосовується для виготовлення кільцевих деталей діаметром від 50 - 70 мм до 7000 мм, шириною від 5 - 7 мм до 1200 мм і масою від декількох десятків грамів до 12,5 т.

Радіальне розкочування виконується в гарячому, напівгарячому й холодному станах.

По схемах формозміни радіальне розкочування кільцевих заготовок поділяють на: 1) відкриту; 2) напіввідчинену; 3) напівзакриту; 4) закриту.

Найпоширеніше відкрите розкочування (рисунок 15.1).

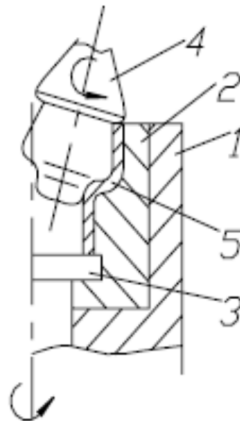


1 - вихідна заготовка; 2, 3 - робочі валки; 4, 5 - напрямляючі валки; 6 - контрольний ролик

Рисунок 15.1 - Схема відкритого радіального розкочування

## 16 РОЗДАЧА

Точність розмірів деталей, одержуваних роздачею, відповідає 8 - 11 квалітету, шорсткість  $Ra - 5 - 0,63$  мкм. Роздача може здійснюватися за схемою торцевого розкочування з використанням нахилого валка 4 (рисунок 16.1).



1-матричний блок; 2- обойма матриці; 3- оправлення; 4 - розкатний валок; 5- готова деталь

Рисунок 16.1 - Схема роздачі

## 17 ХОЛОДНЕ ТОРЦЕВЕ РОЗКОЧУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ

Застосування методів ротаційної обробки значно розширює області використання процесів холодного об'ємного деформування.

Локальний характер додатка навантажень:

- зменшує загальну силу деформування; контактні напруги, що діють на інструмент; витрати металу на 30 %; трудомісткість виготовлення деталі приблизно на 20 % у порівнянні з обробкою різанням;
- збільшує фізико-механічні властивості оброблюваного металу, забезпечує оптимальне розташування його волокон;
- збільшує експлуатаційні властивості одержуваних деталей.

*Переваги:* низька вартість оснащення, незначний час підготовки виробництва, використання обладнання щодо невеликої потужності при виготовленні великогабаритних деталей, легка автоматизація, можна застосовувати в дрібносерійному виробництві.

Освоєні техпроцеси торцевого розкочування заготовок зі сталей ШХ15, ШХ15СТ, 40Х, 20, 45 і Д16 і т. д.

У якості заготовок використовують відрізані заготовки труб або прутків, встановлювані в матрицю вільно із зазором до 0,3 мм на сторону. Валки можуть бути циліндричної або конічної форми (рисунок 17.1). Формують внутрішні й зовнішні бурти за схемою висадження. Діаметр не залежить від розмірів деталі й звичайно становить 250 - 400 мм. Спосіб має великі технологічні можливості (кут  $5 - 15^{\circ}$  до осі обертання деталі).

Одержувані деталі - осі симетричні, типу тіл обертання, гладкі, із глухою порожниною, що мають розвинений фланець (рисунок 17.2).

Недолік - складність форми залежить від розмірів і форми деталі.

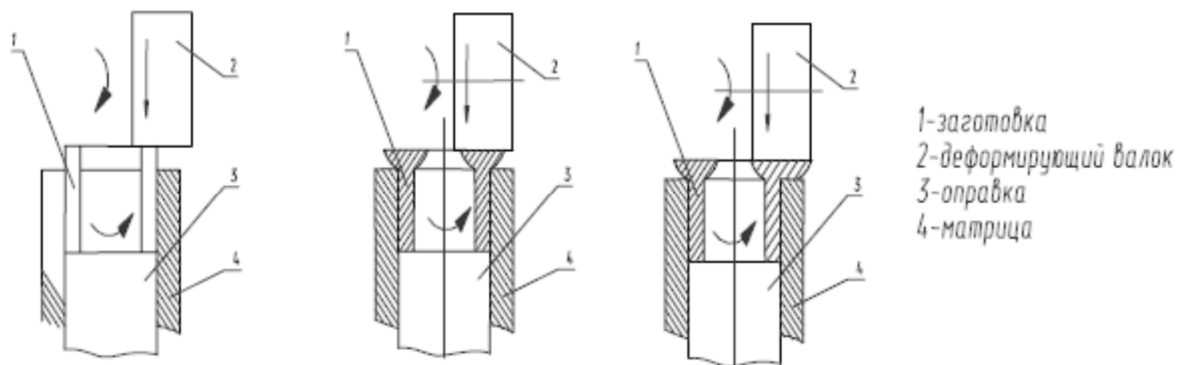


Рисунок 17.1 - Технологічні схеми торцевого розкочування



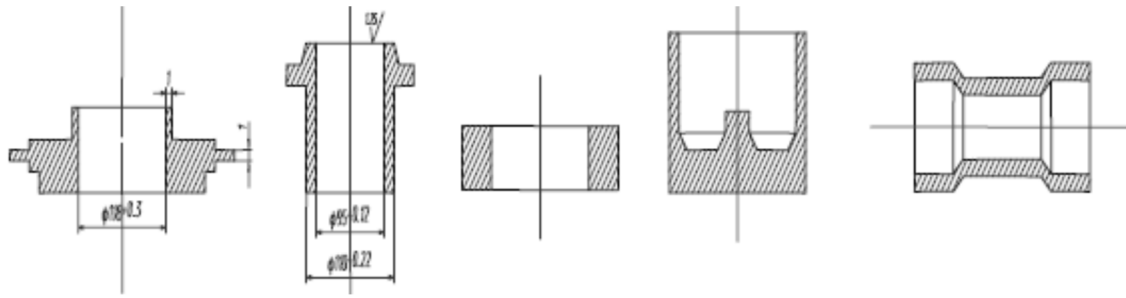


Рисунок 17.2 - Деталі, виготовлені торцевим розкочуванням

## 18 НАВИВАННЯ ПРУЖИН І ГНУТТЯ ДРОТУ НА АВТОМАТАХ

Виготовлення металевих виробів із дроту гнучкою й навивкою засноване на застосуванні різних автоматів: універсально - згинаючих, пружинонавивочих, шайбонавивочних, правильновідрізних, шплінтових, для навивки кілець, для виготовлення й склеювання в блок зшиваючих скріпок, сіткоплетучих, ланцюгов'язучих і ін.

Виготовлення пружин із дроту або гарячекатаної сортової сталі діаметром до 16 мм. Нагрівання й охолодження в розплавленому свинці або солі ("патентування").

Залежно від технічних властивостей: I, II, IIa, III класи дроту.

Універсально-гибочні й навивочні автомати по технічному рівню конструкції відповідають найбільш прогресивному ковальсько-пресовому обладнанню.

Це обладнання особливо поширене в автомобільній, електро- і радіотехнічній промисловості.

Особливо економічно вигідно при партіях деталей більше 10-14 тис. шт. у порівнянні з виготовленням на універсальних пресах по переходах або навивкою по оправленню за допомогою універсального металорізального інструмента.

*Вигинання на автоматах оснащено:* додатковою поперечною подачею матеріалу посиленним повзуном різь, пристроями для нарізування різьб, клепки, зварювання, обертовими оправками для навивання пружин, повзунами, різцьовими головами й т.п..

Перевага - висока продуктивність.

## 19 СПОЛУЧЕНІ ПРОЦЕСИ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛОВИРОБІВ

В області виробництва виробів з кольорових металів і сплавів можна виділити прості й складні (інтегральні) процеси обробки. Під простими процесами розуміють такі, які включають один цикл обробки металу в одному осередку деформації (лиття) без зміни напрямку плинину металу або прикладання навантаження. Інтегральні процеси включають кілька впливів (операцій) в одному осередку деформації або комбінацію їх зі зміною напрямку

переміщення металу. Для класифікації різноманіття операцій обробки кольорових металів і сплавів слід розглянути, яким чином при взаємодії простих процесів утворюється новий інтегральний процес, що має вже новий комплекс властивостей і, як правило, виключаючий недоліки сучасних (комбінованих).

Базовим процесом називають такий, при якому під час прикладання навантаження зовнішній розподіл сили і її напрямок на поверхні осередку пластичної деформації (кристалізації) не змінюється. Основними базовими процесами для обробки металів є лиття, прокатка, пресування, волочіння, осадження, крутіння, а також компактування й термообробка.

Тоді комбінованим процесом обробки будемо вважати комбінацію двох і більше базових процесів, при якому відбувається інтегральне накладення навантажень в одному осередку деформації, іноді й зі зміною напрямку плину металу. Типовим прикладом такого комбінованого процесу можна вважати, наприклад, прокатку - волочіння, коли прокатка ведеться з натягом кінця штаби. При цьому залежно від величини натягу прокатка-волочіння (рисунок 19.1, а) може в граничному випадку перетворюватися у волочіння-прокатку (рисунок 19.1, б), коли питома вага процесу витягування превалює над процесом обтиснення у валках.

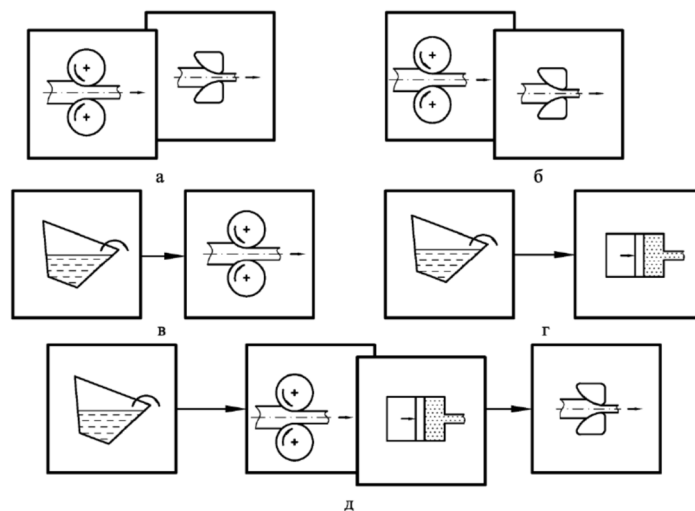


Рисунок 19.1 - Схеми комбінованих (а, б), сполучених (в, г) і сумістно-комбінованих (д) процесів обробки металів

Сполучений процес є більш складним і характеризується розподілом базових процесів у часі або просторі. Такими типовими процесами вважаються лиття й прокатка (рисунок 19.1, в), коли заготовку одержують за допомогою кристалізатора, а потім прокатують на безперервному стані, або лиття й пресування, коли її піддають безперервному екструдуванию. Можлива також схема беззливкової обробки металу. У цьому випадку процеси обробки металу вибудовуються послідовно й тільки після закінчення одного з них починається наступний. У якості таких процесів виділяють, наприклад, сполучений процес лиття, прокатки, фрезерування й відпалу стрічки й вважають, що саме із

застосуванням таких процесів можна добитися радикального підвищення економічності і якості продукції.

В останні роки є тенденція в створенні сумісних-комбінованих процесів, коли на кожному послідовному етапі обробки може застосовуватися комбінований процес. Прикладом реалізації такого процесу може бути процес, коли на одній установці здійснюються одночасно операції лиття - кристалізації, прокатки-пресування, охолодження й змотки готових прес-виробів у бухту з калібруванням готового виробу на заданий діаметр (рисунок 19.1, д).

Таким чином, з використанням пропонованого вистави можна досить просто й точно класифікувати інтегральні процеси по обробці кольорових металів і сплавів, які в цей час усе більш ускладнюються, стаючи багатофункціональними й безперервними. При цьому на звичні комбінації операцій обробки металів можуть накладатися особливі види обробки, наприклад, такі як магніто-імпульсна, вібраційна, термо-механічна й ін.

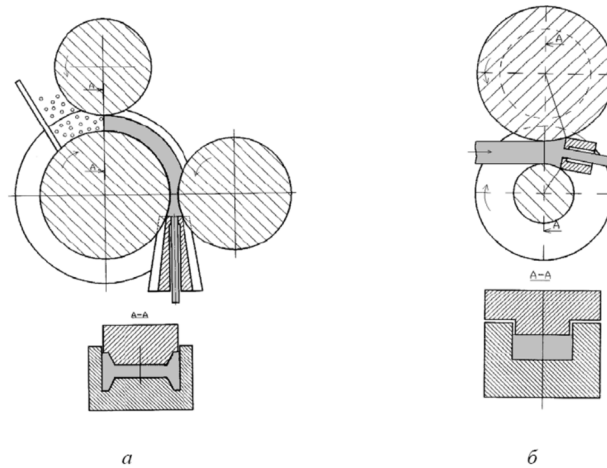
Схема класифікації таких процесів обробки кольорових металів і сплавів показана на рисунку 19.2. Вона дозволяє враховувати особливості реалізації конкретних технологічних схем. Слід зазначити, що в даній схемі наведені лише деякі види обробки, які в цей час знаходять практичне застосування і є, на наш погляд, найбільш перспективними. При цьому вона може бути доповнена й удосконалена з появою нових різновидів таких процесів.

Таким чином, однією з основних тенденцій розвитку процесів обробки кольорових металів і сплавів є сполучення операцій лиття й обробки металів тиском, а також комбінування в одному осередку деформації декількох схем навантаження металу.

Найбільший інтерес представляють конструкції пристроїв на базі процесів сполучення прокатки й пресування, що характеризуються невеликими енерговитратами, простотою конструкції деформуючого вузла й різноманітністю сортаменту одержуваної продукції. Запропоновані нові технічні розв'язання дозволяють зробити процес прокатки-пресування більш стійким і зберегти всі його вищезазначені переваги.

Запропоновані конструкції по сортаменту виробленої продукції й призначенню можна розділити на три основні групи: пристрої для виробництва профілів і дроту; пристрої для одержання труб; універсальні пристрої, що дозволяють виготовляти профілі, труби, прутки й дріт.

Пристрої, показані на рисунку 19.3. а, належать до першої групи й дозволяють одержувати прес-вироби переважно з алюмінієвих і мідних сплавів.



а - з порошкових матеріалів; б- з литої заготовки

Рисунок 19.3 - Пристрої для одержання профілів і дроту з кольорових металів і сплавів

Основним технічним рішенням, характерним для першого пристрою є значне збільшення активних сил тертя за рахунок застосування закритого балкового калібру із глибоким врізом закритого струмка у валок. Це значно підвищує стійкість процесу, однак складна форма калібру вимагає точного виготовлення матриці й контрольованого зусилля притиску останньої до валків.

З метою вдосконалення даного пристрою запропонована схема, показана на рисунку 19.3, б, із застосуванням ящикового калібру прямокутного перетину із заданим відношенням діаметрів по гребеню й виступу валків фіксованою величиною, видалення матриці від загальної вертикальної осі валків і можливістю установки матриці під певним кутом до цієї осі.

Для одержання труб за допомогою сполученої прокатки-пресування розроблено дві основні схеми, показані на рисунку 19.4. По першому варіанту пристрій для одержання зварних труб (рисунок 19.4, а) переважно з алюмінієвих сплавів включає два валки, що утворюють закритий калібр із відношенням діаметрів по дну струмка й гребеню виступу в діапазоні 0,6-1,0 і перекритих на виході з калібру матрицею, встановленій на певній відстані від площини, що проходить через осі валків.

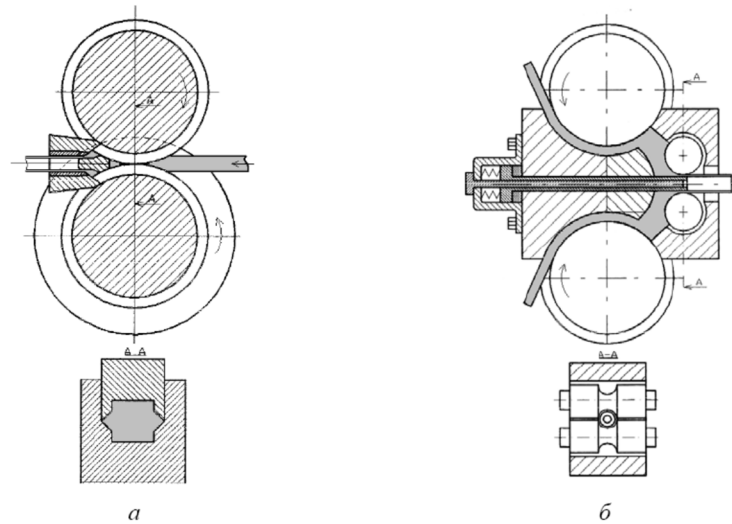


Рисунок 19.4 - Пристрої для одержання зварних труб (а) і довгомірних порожнинних виробів (б)

Для одержання прес-виробів зі зварюванням застосовують комбіновану матрицю. З метою підвищення якості виробів на донній поверхні струмка й зовнішньої поверхні гребеня валків виконані кільцеві канавки з паралельними стінками, причому ці поверхні виконані з утворюючими, нахиленими до осей обертання відповідних валків по гострих кутах, зустрічно звернених для кожного з валків своїми вершинами.

На матриці перед живильними каналами виконані виступи, розміщені в утвореному зовнішніми й бічними поверхнями виступаючого гребеня й струмка згаданих валків просторі, при цьому зовнішні поверхні виступаючого гребеня валка й dna струмка в зоні їх сполучення з бічними поверхнями виступаючого гребеня й струмка розташовані з можливістю контакту.

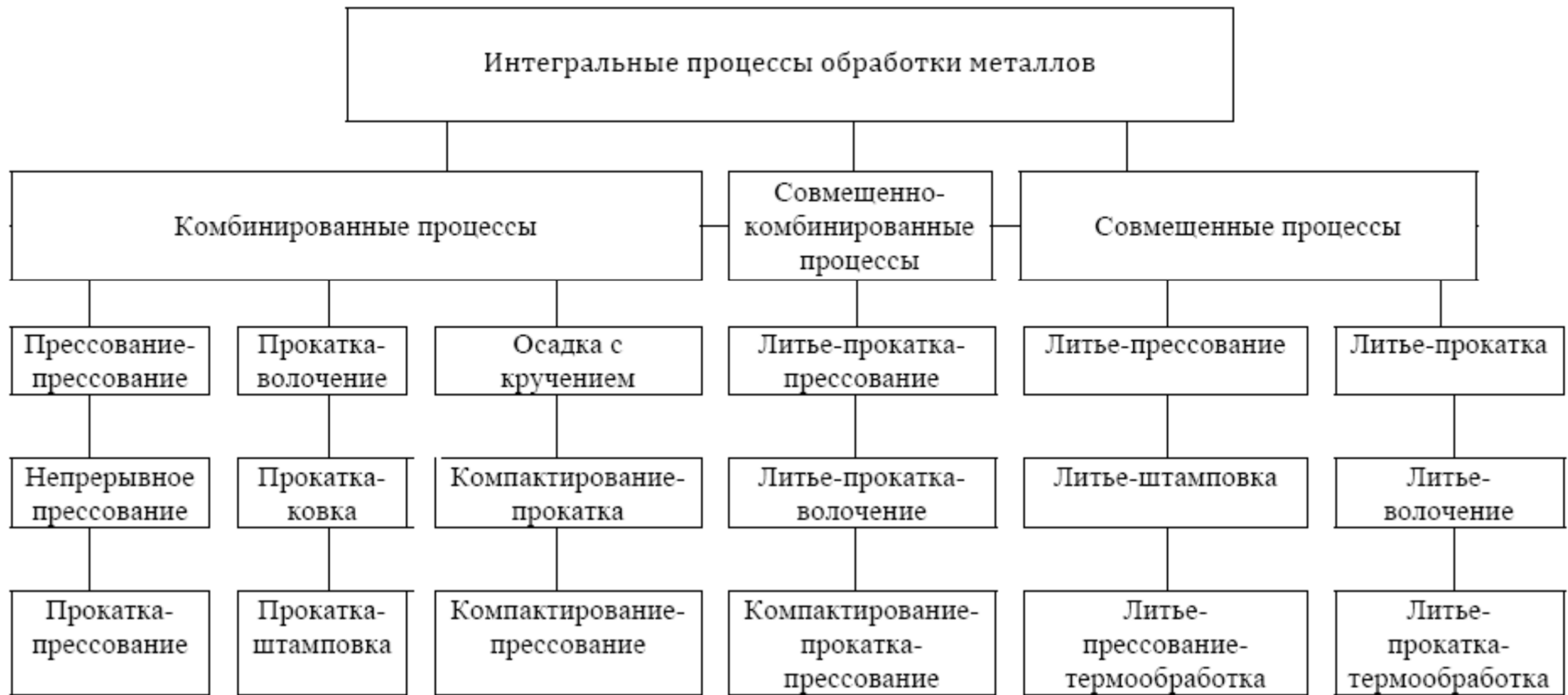


Рисунок 19.2 - Класифікація інтегральних процесів обробки металів

У процесі роботи пристрою заготовка надходить у кільцеві канавки валків, а потім подається у осередок деформації, розсікається на два потоки й перед упорами затікає через живильні канали в камеру зварювання. В останньому потоці метали зварюються й деформуються, видавлюючись через матрицю з голкою у вигляді труби.

Конструкція пристрою по другому варіанту, призначеного для одержання довгомірних виробів з алюмінію (рисунок 19.4, б), містить два валки з каналами, матрицю, голку, що замикає й упорний блоки. Матриця може бути виконана у вигляді приводного валкового вузла, а голка - телескопічної, що дозволяє одержувати труби з мінливою товщиною стінки. Основною відмінністю від першого варіанта є те, що прокатку ведуть із використанням двох заготовок, що задаються в калібр одночасно, а голка й матриця конструктивно розділені на окремі вузли. Це дає можливість більш гнучкої побудови технологічного процесу й збільшення стійкості інструмента. У процесі роботи дві заготовки прямокутного перетину одночасно задаються в калібр валків, де відбувається їхнє обтиснення, просування до упорів, розпресовка з повним заповненням каналів і наступний вступ у камеру зварювання. У міру надходження металу створюється тиск, необхідний для екструзування виробу.

Пристрій, що ставиться до третьої групи (рисунок 19.5), передбачає прокатку-пресування двох вихідних заготовок, що продавлюються активними силами тертя до упорів у порожнину камери зварювання більшого перетину, розташованої між валками, і подальше екструзування профілю через матрицю.

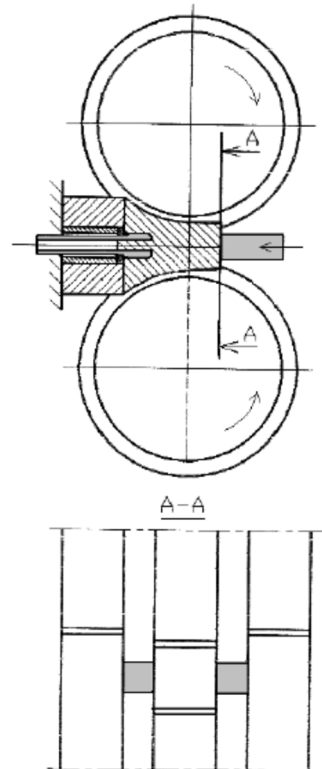


Рисунок 19.5 - Універсальний пристрій для одержання прес-виробів різної форми

Пристрій виконане із закритим калібром і матрицею, встановленою на виході з калібру, причому на дні струмка й зверненої до нього поверхні виступу виконані кільцеві канавки, а в матрицетримачі перед матрицею розташована камера зварювання. Пристрій забезпечене голкою, її тримачем, встановленим у кільцевих канавках, що утворюють зі стінками калібру два канали для подачі заготовок зварювання, що суміщаються з камерою, і виконаним з поверхнями, концентричними, одна дну струмка, а інша - поверхні виступу, оберненими до них, відповідно, й розташованими з можливістю контактування з ними. Крім того, передбачені упори, розташовані перед входом у камеру зварювання, що й частково перекривають канали для подачі заготовок. Дана конструкція дозволяє одержувати профілі порівняно великого поперечного перерізу, а також труби після переналагодження інструментального вузла з установкою голки.

Процеси безперервного лиття з'явилися в середині дев'ятнадцятого сторіччя, при цьому почали формуватися найбільш загальні, традиційні способи безперервних процесів, що сполучають плавку, лиття й подальшу обробку металів тиском або різанням. Одним з перших сполучених способів вважається процес уведення безупинно відливої заготовки в нагрітому стані в прокатний стан, де значно зменшувалося її поперечний переріз, і сама заготовка відповідним чином профілювалися. При цьому створюється можливість протягом тривалого часу вести обробку гарячого металу, у зв'язку із чим можна застосовувати більші обтиснення за один прохід, а менша швидкість прокатки компенсується більш інтенсивною деформацією. З розвитком виробництва в наступні роки з'явилася можливість збільшувати швидкість лиття й використовувати в сполучених процесах не тільки прокатні стани різних конструкцій, але й установки безперервного.

На основі традиційних способів ведення безперервних процесів були створені потужні технологічні лінії, що сполучають плавку, лиття й прокатку, а обладнання для реалізації сполученого процесу назване ливарно-прокатними агрегатами (ЛПА). Починаючи із середини двадцятого століття для здійснення сполучених процесів плавки, лиття, прокатки й інших операцій при виробництві напівфабрикатів і готових виробів з кольорових металів і їх сплавів створюються потужні, високодосконалі й автоматизовані агрегати на базі горизонтальних графітових і металевих кристалізаторів ковзання, роторних, стрічкових і валкових кристалізаторів. Уже до середини вісімдесятих років використання цих агрегатів забезпечувало випуск високоякісних катанок і стрічки, об'єм котрих значно перевищив потреби багатьох країн.

Усі промислові лінії незалежно від типу застосовуваного в них кристалізатору мають загальну структуру, а їх конструкційні відмінності визначаються видом одержуваного виробу, типом застосовуваних ливарних машин, продуктивністю агрегатів у цілому. Найбільш прості по конструкції горизонтальні кристалізатори ковзання й агрегати на їхній основі. Особливістю безперервного лиття через такий кристалізатор із графітовими вставками є порівняно низька швидкість руху відливої заготовки.



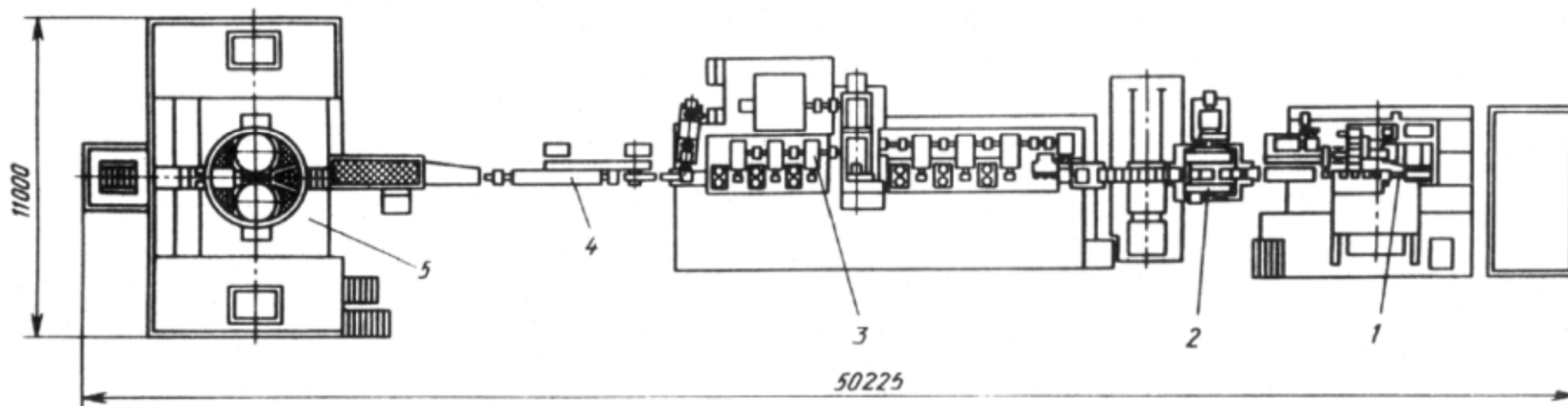
Одним з методів розв'язку проблеми сполучення процесів лиття й прокатки є використання станів періодичної прокатки, що дають можливість вводити в зону деформації заготовки зі зниженою швидкістю, що й забезпечують високий ступінь обтиснення за один прохід. Однак при прокатці на таких станах не забезпечується оптимального розподілу деформацій, що в ряді випадків приводить до виникнення дефектів матеріалу, що прокатується. Недоліком конструкції стану є зіткнення робочих валків з матеріалом при прокатці в обох напрямках їх руху. Вважається, що спосіб лиття через графітовий кристалізатор буде безупинно розвиватися. Однак агрегатів для сполученого лиття й прокатки на основі установок цього типу не так уже багато. І це обумовлене, насамперед, більш низькою, ніж в кристалізаторах з рухомими стінками, швидкістю лиття.

Сполучення лиття й прокатки в одній технологічній лінії передбачалося, як необхідний наступний крок при розробці способу лиття в роторні кристалізатори, що дозволяють вести процес із високими швидкостями. Початок сучасної епохи цих машин було покладено роботами Проперци в Італії, який запропонував оригінальну конструкцію подібного пристрою й в 1948 р. побудував перший агрегат для виробництва алюмінієвої катанки, що полягає з роторної ливарної машини й безперервного прокатного стану. На початку шістдесятих років продуктивність ливарних машин "Проперци" фірми "Континуус" була збільшена до чотирьох тонн у годину, установки стали рентабельними в порівнянні із традиційними способами одержання катанки й з'явилися на ринку. На базі цих машин у США й у Росії були створені ливарно-прокатні агрегати більш досконалої конструкції, ніж прототип. Так, американська фірма "Саутуайр" у співробітництві з рядом інших фірм із середини шістдесятих років стала випускати агрегати серії 8СК.

Так, установка типу 8СК-16, здатна виробляти 45-50 т/г катанки діаметром 8 мм і забезпечувати її випуск до двохсот тисяч тонн у рік. Звичайно продуктивність агрегатів серії 8СК складає 25-30 т/ч.

Перші вітчизняні агрегати по виробництві алюмінієвої катанки були введені в експлуатацію в 1961 р. На рисунку 19.6 показана схема ЛПА-АК8П конструкції ВНІметмаш, застосовуваного для одержання алюмінієвої катанки із середньогодинною продуктивністю 8 т.

Агрегат має у своєму складі роторну ливарну машину для одержання заготовки трапецієподібного перетину площею 3300 мм<sup>2</sup> і прокатний стан з 12, чергуючимися двохвалковими робочими клітьми, розташованими у дві групи. При прокатці використовується калібрування овал-коло, а діаметр, випускаємої катанки коливається від 9 до 19 мм.



1 - ливарна машина; 2 - лінія транспортування заготовки; 3 - прокатний стан; 4 - ділянка охолодження катанки; 5 – моталка

Рисунок 19.6 - Схема ливарно-прокатного агрегату

Для одержання тонких штаб і фольги методом сполученого лиття й прокатки використовується спосіб безпосереднього лиття у валки прокатного стану, випробуваний ще в середині дев'ятнадцятого століття й названий беззливковою прокаткою стрічки. У цей час у Росії працюють кілька агрегатів беззливкової прокатки стрічки на базі встаткування фірми "Пешине" (Франція). За кордоном найбільш прогресивними агрегатами з валковими кристалізаторами є розроблені фірмою "Хантер інженірінг" (США) установки "Суперкастер", а також установки "Джумбо" фірми "Пешине Южин Кульман" (Франція). Ці агрегати мають річну продуктивність від 20 до 30 тис. т.

Застосування ЛПА (ливарно-прокатних агрегатів) вигідно при великих обсягах виробництва й невеликій номенклатурі випускаємих виробів. При цьому в значній мірі скорочуються нераціональні втрати часу, енергії й металу, знижуються витрати на установку додаткового обладнання (нагрівальних печей), скорочується виробничий цикл, зменшується обсяг незавершеного виробництва й досягається високий ступінь механізації й автоматизації. Застосування таких агрегатів широко поширене в СНД і за кордоном для виробництва алюмінієвої й мідної катанки, однак використовувані ЛПА (ливарно-прокатні агрегати) вимагають більших витрат і виробничих площ, їх технологічні можливості виробництва обмежені у зв'язку з вузькістю сортаменту випускаємої продукції.

Одним з нових рішень для виробництва прес-виробів невеликого перетину з алюмінієвих сплавів є схема сполученого лиття й прокатки-пресування. До складу лінії входить: установка безперервного лиття заготовок, правильно-задаючий пристрій, агрегат безперервної обробки металу, інструментальний вузол, підтискне пристрій з гідроциліндром піджиму матриці, охолоджуючий пристрій, накопичувач, стіл обрізки з ручними ножицями, моталка, механічні ножиці (рисунок 19.7).

Орієнтовні габаритні розміри проектного обладнання склали 12700x5100x4000 мм. Послідовність роботи лінії наступна. Розплавлений метал із плавильної печі завантажується в міксер, де підтримується постійна температура розплаву, складова близько 720<sup>0</sup>С. Далі з міксера по льотці розплавлений метал надходить на установку безперервного лиття заготовок. До складу останньої можуть входити, залежно від варіанта технологічного ланцюжка, пристрій подачі металу у валки з розливочною коробкою, кристалізатор, причому тип кристалізатора залежить від форми, розмірів і призначення одержуваного виробу. Наприклад, для одержання прутків використовується роторний кристалізатор, де формується заготовка трапецеїдальної форми із площею поперечного перерізу близько 1600 мм<sup>2</sup>. Потім за допомогою правильно-задаючого пристрою, лита заготовка поступає в валки прокатного стану, де піддається прокатці і наступному екструдюванню через матрицю з заданим діаметром. Отриманий прес-виріб охолоджується й через накопичувач надходить для змотування на моталку зі змінною катушкою

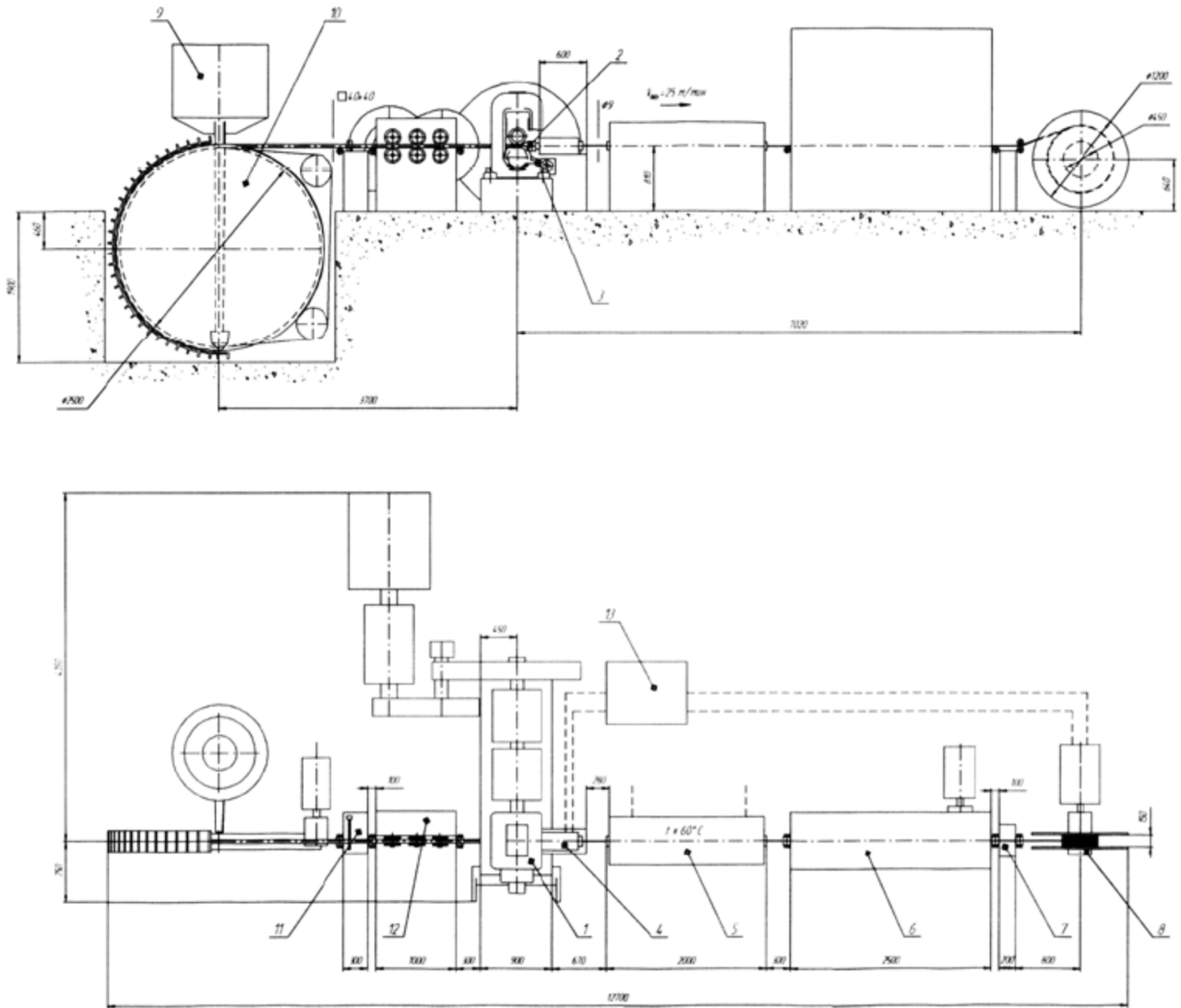


Рисунок 19.7 - Принципова схема лінії безперервної обробки алюмінію і його сплавів

Для різання литої заготовки передбачені механічні ножиці, а для різання виробів - ручні ножиці, встановлені на столі. Для гарантованого піджиму матриці до валків використовується гідроциліндр, що має привід від маслостанції. Орієнтовна годинна продуктивність установки, розрахована виходячи з параметрів кристалізатора, повинна скласти від 300 до 500 кг. Можливий також варіант використання тільки вузла сполученої прокатки-пресування. При цьому підігріта до температури деформації заготовка обробляється тільки шляхом прокатки-пресування. У цьому випадку продуктивність при безперервній подачі заготовки може бути збільшена в 2-5 разів.

З метою зниження металургійних переділів і виключення зі схеми обробки такої досить складної машини, як кристалізатор, пропонується варіант пристрою для беззливкової прокатки-пресування (рисунок 19.8).

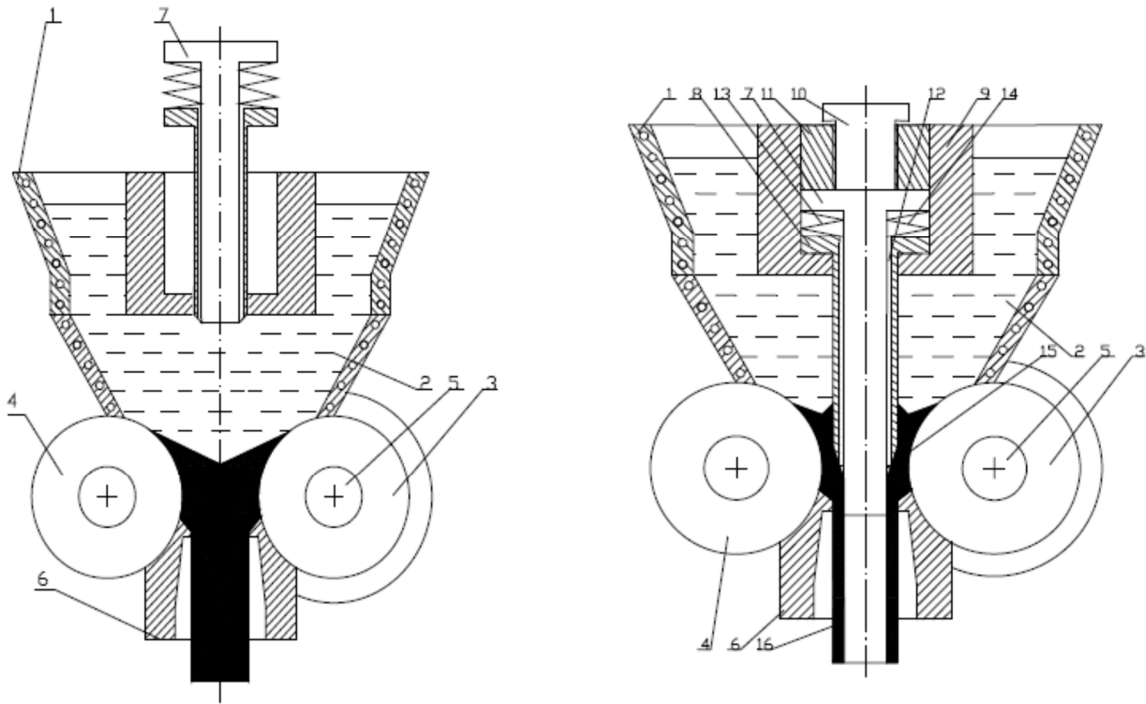


Рисунок 19.8 - Пристрій для безлиркової прокатки-пресування суцільних (а) і порожнинних (б) прес-виробів

У цьому випадку розплав заливається безпосередньо у валки-кристалізатори установки, кристалізується у вигляді заготовки прямокутної форми, піддається деформації за допомогою тих же валків, а потім видавлюється через калібруючий отвір матриці.

Відмінною рисою даного пристрою є те, що воно наділене встановленою совісно матриці довгомірною голкою з механізмом її відводу, жорстко закріпленою фіксатором і розташованою в обоймі з каналами для подачі мастила, розміщеними по периметру голки виступами для запирання каналів. При цьому у валках виконані водоохолоджуючі порожнини.

## Перелік використаної літератури

1. Серета Б.П. Обробка металів тиском [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 343 с. Бібліогр.: с. 342. – 300 прим. – ISBN 978-966-8462-11-5 (в пер.).
2. Серета Б.П. Устаткування цехів ОМТ [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета, М.Г. Прищип. – Запоріжжя: ЗДІА 2008. – 129 с. Бібліогр.: с. 128. – 300 прим. – ISBN 978-966-8462-11-3 (в пер.).
3. Серета Б.П. Технологія ковальсько-штампувального виробництва [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета, В.Д. Обдул, І.В. Кругляк. – Запоріжжя: ЗДІА 2009. – 258 с. Бібліогр.: с. 256-257. – 300 прим. – ISBN 978-966-8462-12-2 (в пер.).
4. Серета Б.П. Нові матеріали в металургії [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 396 с. Бібліогр.: с. 391-394. – 300 прим. – ISBN 978-966-8462-13-9 (в пер.).
5. Серета Б.П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 238 с. Бібліогр.: с. 300-301. – 300 прим. – ISBN 978-966-8462-03-0 (в пер.).
6. Серета Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Б.П. Серета. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 302 с. Бібліогр.: с. 236. – 300 прим. – ISBN 978-966-7101-97-8 (в пер.).
7. Данченко В.М. Теорія обробки металів тиском [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.М. Данченко, В.О. Гринкевич, С.М. Головка. – Дніпропетровськ: «Пороги», 2008. – 370 с. Бібліогр.: с. 346-347. – 500 прим. – ISBN 978-966-525-968-8 (в пер.).
8. Долженков Ф.Е. Горячая обработка металлов в вакууме и инертной среде / Ф.Е. Долженков, Ю.И. Кривоносов, Д.И. Пирязев. – К.: Техника, 1969. – 200 с.
9. Диомидов Б.Б. Технология прокатного производства [учебник для студ. высш. учеб. зав.] / Б.Б. Диомидов, Н.В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1979. – 488 с.
10. Виноградов Г.А. Прокатка металлических порошков / Г.А. Виноградов. – М.: Металлургия, 1969. – 382 с.
11. Кобелев А.Г. Технология слоистых металлов / А.Г. Кобелев, И.Н. Потапов, Е.В. Кузнецов. – М.: Металлургия, 1991. – 248 с.
12. Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей / Ю.А. Миропольский. – М. Машиностроение, 1976. – 176 с.
13. Грудев А.П. Технология прокатного производства / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
14. Грудев А.П. Теория прокатки / А.П. Грудев. – М.: Металлургия, 1988. – 242 с.
15. Тришевский И.С. Гнутые профили проката / И.С. Тришевский, В.В. Клепанда, Ф.И. Скоков – Киев.: Гостехиздат УССР, 1962. – 412 с.

16. Астров Е.И. Плакированные многослойные металлы / Е.И. Астров. – М.: Металлургия, 1965. – 239 с.
17. Семёнов А.П. Схватывание металлов / А.П. Семёнов. М.: Машгиз, 1958. – 280 с.
18. Гельман А.С. Основы сварки давлением [учебник для студ. высш. учеб. зав.] / А.С. Гельман. – М.: Машиностроение, 1970. – 312 с.
19. Голованенко С.А., Производство биметаллов / С.А. Голованенко, Л.В. Меандров. – М.: Металлургия, 1966. – 304 с.
20. Голованенко А.С. Сварка прокаткой биметаллов / А.С. Голованенко. – М.: Металлургия, 1977. – 158 с.
21. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением / Э.С. Каракозов. – М.: Машиностроение, 1986. – 275 с.
22. Аксенов Г.И. Прокатка металлических порошков в ленту / Г.И. Аксенов // Порошковая металлургия. Труды ВНИТОМ. – М.: Металлургиздат, 1954. – С. 160-165.
23. Ложечников Е.Б. Прокатка в порошковой металлургии / Е.Б. Ложечников. – М.: Металлургия, 1987. – 184 с.
24. Виноградов Г.А. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул / Г.А. Виноградов. – М.: Металлургия, 1979. – 227 с.
25. Раковский В.С. Порошковая металлургия в машиностроении / В.С. Раковский, В.В. Саклинский. - М.: Машиностроение, 1973. – 126 с.
26. Сидельников С.Б. Комбинированные и совмещённые методы обработки цветных металлов и сплавов / С.Б. Сидельников, Н.Н. Довженко, Н.Н. Загиров. М.: МАКС Пресс, 2005. – 234 с.
27. Зиновьев А.В. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов / А.В. Зиновьев, А.И. Колпашников. - М.: Металлургия, 1992. – 173 с.
28. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. Учебник для вузов /- И.К. Суворов. М.: Высш. школа., 1980. – 364 с.
29. Прокатное производство / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королёв, Ю.М. Матвеев. – М.: Металлургия, 1968. – 675 с.
30. Выдрин В.Н. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко, В.И. Крайнов. - М.: Металлургия, 1970 – 456 с.
31. Смирнов-Аляев Г.А. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением / Г.А. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360 с.
32. Громов. Н.П. Теория обработки металлов давлением / Н.П. Громов. – М.: Металлургия, 1978. – 360 с.
33. Прокатное производство. Справочник. Т. 2 / Под ред. Рокотяна Е.С. - М.: Металлургиздат, 1962. – 624 с.
34. Іванченко Ф.К. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Ф.К. Іванченко, В.Н. Гребенік, В.І. Ширяев. - К.: Вища школа, 1995. – 454 С.

35. Целиков А.И. Поперечно-клиновая прокатка в машиностроении / А.И. Целиков, И.И. Казанская, А.С. Сафонов. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.
36. Грановский С.П. Новые процессы и станы для прокатки изделий в винтовых калибрах / С.П. Грановский, И.И. Казанская, А.С. Сафонов. – М.: Metallurgy, 1980. – 116 с.
37. Целиков А.И. В кн. Специальные прокатные станы / А.И. Целиков, М.В. Барбарич, М.В. Васильчиков М.В. – М.: Metallurgy, 1971, С. 83 - 171.
38. Лапин В.В. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев / В.В. Лапин, М.И. Писаревский, В.В. Самсонов. Л.: Машиностроение, 1986. – 228 с.
39. Васильчиков М.В. Поперечновинтовая прокатка изделий с винтовой поверхностью / М.В. Васильченко, М.М. Волков. – М.: Машиностроение, 1968. – 142 с.
40. Барбарич М.В. Накатывание цилиндрических зубчатых колёс / М.В. Барбарич, М.В. Хоруженко. – М.: Машиностроение, 1970. – 220 с.
41. Якухин В.Г. Изготовление резьбы: Справочник / В.Г. Якухин, В.А. Ставров. – М.: Машиностроение, 1989. – 192 с.