

**СУЧАСНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ  
ПРОКАТНИХ СТАНІВ**

методичні вказівки до самостійної роботи  
над темою:

**«ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОКАТКУ»**

Запоріжжя 2024



УДК 621.771(072)  
С89

Рекомендовано Науково-методичною радою ТОВ  
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ  
ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 8 від 12.07.2024 р)

### **Укладачі**

Кулік Т. О., канд. техн. наук, доцент, Кулік О. М. канд. техн. наук, доцент

С89 Сучасні аспекти проектування прокатних станів : методичні вказівки до самостійної роботи «Загальні відомості про прокатку» (для студентів спеціальності 136 Металургія усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти) / уклад.: Т. О. Кулік, О. М. Кулік. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». 2024. 46 с.

Навчальний посібник укладено відповідно до програми курсу «Сучасні техніко-технологічні аспекти прокатного виробництва». У ньому дано загальні уявлення про механізми пружної та пластичної деформації, наведено класифікацію прокатних станів та процесів прокатки, розглянуто сталі та сплави для прокатки, а також сортамент прокатних виробів. Викладено теоретичні основи процесу прокатки: геометрія та кінематика вогнища деформації, умови захоплення металу валками, напружено-деформований стан смуги, закономірності зовнішнього тертя при прокатці, силові параметри процесу прокатки.

Рекомендовано для студентів спеціальності 136 Металургія усіх форм навчання другого (магістерського) рівня освіти.

**УДК 621.771(072)**

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СТАЛІ І СПЛАВИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ	6
1.1 Вуглецеві сталі.....	6
1.2. Леговані сталі.....	9
Запитання для самоперевірки.....	17
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ .....	18
2.1 Загальне уявлення про механізми пружної та пластичної деформації .....	18
2.2 Основні способи обробки металів тиском.....	19
2.3 Основні закони обробки металів тиском .....	22
Запитання для самоперевірки.....	23
3 КЛАСИФІКАЦІЯ І ВЛАШТУВАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНОВ	24
Запитання для самоперевірки.....	33
4 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРОКАТКИ	34
Запитання для самоперевірки.....	38
5 СОРТАМЕНТ ПРОКАТНИХ ВИРОБІВ	39
Запитання для самоперевірки.....	44
ЛІТЕРАТУРА	45



## ВСТУП

Сучасні прокатні цехи являють собою великий і складний комплекс машин та агрегатів, що забезпечують виконання безперервного технологічного процесу, та успішна робота яких неможлива без кваліфікованого персоналу.

Виробництво прокату високої якості зумовлює глибоке розуміння обслуговуючим персоналом сутності теоретичних основ обробки металів тиском та здійснення технології процесу прокатки. Це не меншою мірою стосується і фахівців, які займаються проектуванням прокатного обладнання.

Зростаючі вимоги до якості листового прокату викликають необхідність підготовки фахівців, здатних вирішувати завдання з розробки та вибору раціональної конструкції прокатних станів, а також визначення оптимальних технологічних режимів пластичної формозміни металу.

Цей навчальний посібник написано відповідно до програми курсу «Сучасні техніко-технологічні аспекти прокатного виробництва». У ньому дано загальні уявлення про механізми пружної та пластичної деформації, наведено класифікацію прокатних станів та процесів прокатки, розглянуто сталі та сплави для прокатки, а також сортамент прокатних виробів. Викладено теоретичні основи процесу прокатки: геометрія та кінематика вогнища деформації, умови захоплення металу валками, напружено-деформований стан смуги, закономірності зовнішнього тертя при прокатці, силові параметри процесу прокатки.

Посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 136 «Металургія», та може бути використаний при проведенні практичних занять та виконанні курсових та дипломних проектів. Воно може бути корисним інженерам-технологам для розробки раціональних режимів отримання якісного прокату, а також інженерам-механікам, які займаються експлуатацією прокатних станів.

Листова та сортова сталь є основними конструкційними матеріалами, які широко застосовуються в різних галузях народного господарства, таких як машинобудування, будівництво, транспорт, авіація та ін. Тому в сучасних умовах стає зрозумілою важливість завдань та відповідальність металургійної промисловості за забезпечення підприємств та організацій країни високоякісною металопродукцією.

Перед прокатниками поставлена мета значного розширення сортаменту як щодо збільшення виробництва низьколегованих сталей і сплавів зі спеціальними властивостями, а також кольорових металів і сплавів, так і в напрямку збільшення випуску холоднокатаного прокату, що має високоточні розміри та ефективні службові характеристики. У планах розвитку металургійної промисловості намічено будівництво нових цехів і відділень прокатки листової та сортової сталі, а також реконструкція низ-



ки прокатних станів, що діють, з метою впровадження більш ефективних способів виробництва.

Сучасні прокатні цехи є великим і складним комплексом машин і агрегатів, що забезпечують виконання безперервного технологічного процесу, і успішна робота яких неможлива без кваліфікованого персоналу.

Виробництво прокату високої якості зумовлює глибоке розуміння обслуговуючим персоналом сутності теоретичних основ обробки металів тиском та здійснення технології процесу прокатки. Це не меншою мірою стосується і фахівців, які займаються проектуванням прокатного обладнання. Тому до основної освітньої програми підготовки інженерів-механіків за спеціальністю 136 «Металургія» запроваджено дисципліну «Сучасні техніко-технологічні аспекти прокатного виробництва».



## 1 СТАЛІ І СПЛАВИ ДЛЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ

Сталі розрізняють за способом виробництва, якістю, хімічним складом, структурою та призначенням.

**За способом виробництва** сталі, що піддають прокатці, ділять на мартенівську, конверторну і електросталь. Спосіб виробництва сталі впливає властивості. Від нього залежить вміст постійних домішок (сірка, кремній, фосфор і гази – водень, кисень, азот) та його розподіл у металі. Найбільш чистою за вмістом шкідливих домішок є електросталь, тому електропечах в основному виплавляють леговану високоякісну сталь.

**За хімічним складом** сталі діляться на вуглецеві та леговані. Властивості вуглецевих сталей істотно залежить від вмісту вуглецю. За вмістом вуглецю сталі поділяють на низьковуглецеві (до 0,25% C), середньовуглецеві (0,25...0,60% C) і високовуглецеві (0,60...2,0% C). Легованими називають сталі, до складу яких входять один або кілька легуючих елементів (хром, нікель, молібден, ванадій, вольфрам, титан та ін.). Розрізняють низько-, середньо-і високолеговані сталі із сумарним вмістом легуючих компонентів відповідно до 2,5; 2,5...10 та понад 10%.

### 1.1 Вуглецеві сталі

**Вуглецеві сталі** зазвичай класифікують за вмістом вуглецю, призначенням та якістю.

За **вмістом вуглецю** розрізняють сталі:

- низьковуглецеві (до 0,25% C);
- середньовуглецеві (0,25...0,60% C);
- високовуглецеві (0,6...2,0% C).

Така класифікація необхідна для вибору технологічного процесу обробки вуглецевих сталей.

За **призначенням** (застосуванням) та **якістю** розрізняють вуглецеві сталі:

- конструкційні звичайної якості та якісні, які у свою чергу поділяють на:
  - будівельні (низьковуглецеві);
  - машинобудівні (середньо- та низьковуглецеві);
- інструментальні якісні та високоякісні.

Марки, хімічний склад та властивості сталей встановлюються стандартами.



**Вуглецеву конструкційну сталь звичайної якості** за ДСТУ поділяють на групи:

група А – сталь поставляють із гарантованими механічними властивостями;

група Б – сталь поставляють із гарантованим хімічним складом;

група В – сталь поставляють із гарантованими механічними властивостями та з окремими вимогами з хімічного складу.

Конструкційну сталь звичайної якості групи А позначають ст.0, ст.1, ст.2, ст.3, ст.4, ст.5, ст.6, ст.7. Літери «Ст.» означають сталь, а цифри вказують на середній вміст вуглецю (у десятих частках відсотка): що більше цифра, то вище вміст вуглецю.

Сталі цієї групи можуть розкислюватися продуванням киснем у киплячому чи напівспокійному стані. Якщо після марочного позначення ставлять літери "кп" - це означає "сталь кипляча", "пс" - сталь напівспокійна, без літер - сталь спокійна (наприклад, Ст.1кп, ..., Ст.4кп і Ст.1пс, ..., Ст.4пс).

Конструкційну сталь звичайної якості групи А виплавляють у конверторах чи мартенівських печах.


Для сталей групи Б вказують спосіб виробництва літерами М, Б або К (відповідно мартенівський, безсемерівський або конверторний), наприклад МСт.0, МСт.1, МСт.2 і т.д.; БСт.0, БСт.1 і т.д.; КСт.0, КСт.1 і т.д.

Сталь групи В отримують у мартенівських печах та конверторах. Марку цієї сталі позначають з літерою, наприклад, ВМСт.1, ВМСт.2 і т.д. або ВКСт.2, ВКСт.3 і т.д. Так, сталь ВМСт.5 відповідає за хімічним складом сталі МСт.5, а за механічними властивостями – сталі Ст.5.

Наведена класифікація сталі звичайної якості за групами передбачає сферу застосування цих сталей. Так, із гарячекатаної сталі групи А виготовляють деталі машин та механізмів, не піддаючи їх попередньо гарячій обробці (ковці, штампуванні, а також зварюванню). Структура та властивості цієї сталі, отримані під час гарячої прокатки, зберігаються при переробці її споживачем у виробі. Отже, ця сталь призначається для використання у стані постачання без подальшої обробки тиском або термічної обробки, оскільки її хімічний склад, що визначає режим обробки, не гарантовано.

Якщо сталь призначена для виготовлення деталей із застосуванням гарячої обробки (кування, штампування і т.д.), а вихідна структура та механічні властивості не зберігаються, то споживачеві важливий гарантований хімічний склад сталі, оскільки він визначає режим гарячої обробки та кінцеві механічні властивості виробів. І тут сталь поставляють за хімічним складом (сталь групи Б).

У більшості випадків окремі вузли машин та механізмів виготовляють із застосуванням зварювання. Властивості сталі в зоні зварного шва повинні бути ідентичні властивостям зварених частин металу, що гарантується лише хімічним складом сталі. У той же час ті частини виробів, які



піддаються тепловому впливу зони зварного шва, зберігають вихідну структуру та властивості, отримані під час прокатування. Тому такий метал поставляють із гарантованими механічними властивостями та хімічним складом (сталь групи В).

Зазвичай сталі Ст.0 та БСт.0 використовують для будівельних конструкцій невідповідального призначення; Ст.1, БСт.1, ВМСт.1 – для арматури, анкерних болтів та інших елементів конструкцій; Ст.2, МСт.2, КСт.2кп – для листів, заклепок та труб; Ст.3, БСт.4, ВМСт.3 - для будівельних конструкцій, ферм, рам і деталей машин (втулки, важелі, гайки, болти і т.д.), що не піддаються термічній обробці, що зміцнює; Ст.4, Ст.5, БСт.5, ВМСт.5 – виготовлення арматури і деталей машин (валики, осі, болти, шайби та інших.), піддаються впливу середніх напруг; БСт.6, МСт.6, ВМСт.6 – для деталей машин та механізмів, що вимагають підвищеної міцності (після обробки тиском стали піддаються термічній обробці). Сталі підвищеної якості (групи В) використовують головним чином мосто- і суднобудуванні, сільськогосподарському машинобудуванні тощо.

**Вуглецеву конструкційну якісну сталь** залежно від хімічного складу поділяють на групу 1 (сталі з нормальним вмістом марганцю) та групу 2 (сталі з підвищеним вмістом марганцю).


Вуглецеві конструкційні (іноді їх називають машинобудівні) якісні сталі **групи 1** позначають так: 05, 08, 10, 15, 20, 25 і т.д. до 85. Цифри показують середній вміст вуглецю в сотих частках, наприклад, сталь містить 30 0,27...0,35% С.

Конструкційні якісні вуглецеві сталі **групи 2** з підвищеним вмістом марганцю (до 1,2%) позначають: 15Г, 20Г, 25Г, 30Г і т.д. до 70Г (літера Г вказує на підвищений вміст марганцю). Конструкційні якісні вуглецеві сталі виплавляють у конверторах, мартенівських та електричних печах. При виплавці цих сталей суворо контролюються склад шихти, вміст вуглецю, сірки, фосфору, неметалевих включень тощо.

Сталі 08кп, 08, 10, 15 і 20 мають невисокі характеристики міцності ( $\sigma_B = 300 \dots 420 \text{ МН/м}^2$ ,  $\sigma_{02} = 180 \dots 250 \text{ МН/м}^2$ ), але досить хорошу пластичність ( $\delta_5 = 35 \dots 25\%$ ,  $\varphi = 60 \dots 55\%$ ) і зварюваність. Це визначає їх використання для малонавантажених деталей машин та елементів конструкцій, що виготовляються зварюванням, куванням, штампуванням та ін.

Сталі 25, 30, 35, 40 і 45 мають більш високу міцність ( $\sigma_B = 460 \dots 610 \text{ МН/м}^2$ ,  $\sigma_{02} = 280 \dots 360 \text{ МН/м}^2$ ) і знижену пластичність ( $\delta_5 = 16 \dots 23\%$ ,  $\varphi = 50 \dots 40\%$ ). Ці сталі застосовують для виготовлення деталей, що зазнають помірної напруги.

Сталі 50, 55, 60, 65 та 70 мають високу міцність ( $\sigma_B = 640 \dots 730 \text{ МН/м}^2$ ,  $\sigma_{02} = 30 \dots 430 \text{ МН/м}^2$ ) та порівняно низьку пластичність



( $\delta_5 = 14 \dots 9\%$ ,  $\varphi = 40 \dots 30\%$ ). Їх застосовують виготовлення виробів підвищеної міцності (шестірні, бандажі, прокатні валки тощо.), і навіть виготовлення дрібних деталей, зміцнених термічною обробкою.

**Вуглецеву інструментальну якісну сталь** позначають У7 - У13. Літера У означає «сталь вуглецева інструментальна», а цифри показують середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка, наприклад, сталі У9 міститься в середньому 0,9% С. З цих сталей виготовляють різальний, вимірювальний і штампувальний інструмент. Після термічної обробки інструменти мають високу міцність і твердість (до HRC 60...65), а також високу зносостійкість, що дуже важливо для збереження форми і розмірів інструменту.

Недоліком вуглецевих інструментальних сталей є те, що їх можна використовувати для ріжучого інструменту, що працює з невеликою швидкістю, так як при високих швидкостях відбувається нагрівання інструменту і при 190 ... 200 ° С їх жорсткість різко знижується. Тому інструментальні вуглецеві сталі застосовують зазвичай для вимірювального інструменту (нутроміри, штангенциркулі, вимірювальні калібри і т.д.), для ріжучого інструменту, що працює при малій швидкості різання (зубила, напилки, шабери, мітчики і т.д.), а також для виготовлення корпусів (державок) токарних та стругальних різців, хвостовиків свердлів, зенкерів та розгортки, обойм матриць, корпусів штампів тощо.


**Вуглецеву інструментальну високоякісну сталь** позначають так само, як і якісну, але з додаванням літери А, наприклад У7А, У8А, У9А і т.д. Високоякісна інструментальна сталь має більш вузькі межі вмісту елементів, містить менше сірки та фосфору (по 0,02%) та неметалевих включень, має вищі механічні властивості. Високоякісну сталь виплавляють у електродугових або мартенівських печах.

## 1.2. Леговані сталі

**Леговані сталі** класифікують за хімічним складом, структурою (у відпаленому та нормалізованому стані), змістом легуючих компонентів, призначенням (застосуванням) та іншими ознаками.

Класифікація легованих сталей за хімічним складом є одним із найважливіших, оскільки хімічний склад легованої сталі є основою її маркування за ДСТУ. Маркування легованої сталі здійснюється так, що умовне позначення, виражене літерами та цифрами, показує приблизний хімічний склад сталі.

Легуючі елементи позначаються такими літерами:



Н – нікель;  
Х – хром;  
К – кобальт;  
В – вольфрам;  
Т – титан;  
М – молібден;  
Р – бор;  
А – азот;  
Ф – ванадій;  
Г – марганець;  
Д – мідь;  
Ю – алюміній;  
Б – ніобій;  
Ц – цирконій;  
С – кремній;  
Ч – рідкісноземельні метали.

Перші дві цифри марки легованої сталі позначають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка; легуючі компоненти, що входять у сталь, позначаються відповідною літерою, які середній зміст – цифрою, що стоїть після літери. При вмісті легуючого компонента приблизно 1% цифру не ставлять, при більшому вмісті ставлять такі цифри: 1, 2, 3 і т.д., відповідні зразковим змістом легуючого компонента: 1,5; 2; 3% і т.д.

*Наприклад*, 30Х - хромиста сталь, що містить приблизно 0,30% і 1% Cr; 20ХГ – хромомарганцовиста сталь, що містить приблизно 0,20%, 1% Cr і 1% Mn; 35Х2МА – високоякісна хромомолібденова сталь, що містить приблизно 0,35% С, 2% Cr, 1% Мо, (літера А в кінці марки вказує на зменшений вміст шкідливих домішок, а в середині – на вміст азоту, введеного в якості легуючого компонента ); 0Х18Г8Н2Т – нержавіюча хромомарганцевонікелетитанова сталь, що містить до 0,08%, 18% Cr, 8% Mn, 2% Ni і приблизно 0,5% Ti.

За **структурою у відпаленому стані** леговані сталі поділяються на такі групи:

- доевтектоїдні;
- евтектоїдні;
- заевтектоїдні;
- ледебуритні.

У литому стані первинний цементит утворює з аустенітом ледебурит, який при гарячій обробці тиском подрібнюється на відокремлені зерна карбідів (глобулів). При цьому слід мати на увазі, що багато легуючих компонентів (Cr, W, Mo, Al, Ti та ін) зсувають область існування аустеніту на діаграмі стану залізо - вуглець і зсувають точки S і E у бік меншого вмісту вуглецю. У зв'язку з цим межа між заевтектоїдними та доевтектоїдними легованими сталями знаходиться при меншому вмісті вуглецю,



ніж для вуглецевих сталей. Так, при вмісті 4% Cr легована сталь евтектоїдного складу має 0,46%. Отже, сталь, що містить 4% Cr і 0,6%, є заевтектоїдною. Ця ж сталь при вмісті 1,50...1,55% має ледебуритну структуру.

При великій концентрації елементів, що легують (наприклад, 17% Cr і 0,5% Ti), що звужують область аустеніту, критична точка А3 може бути відсутній, тобто. сталь матиме феритну структуру. Такі сталі називаються **феритними**.

Легуючі компоненти (Ni, Mn та ін) розширюють область аустеніту на діаграмі залізо - вуглець і зсувають точки S та E у бік більшого вмісту вуглецю. При великому вмісті легованої сталі таких елементів можна отримати сталі, в яких аустеніт зберігається при кімнатній температурі. Такі сталі мають аустенітну структуру та називаються **аустенітними** (наприклад, X18H10T, X18H13M2T та ін.).

За **структурою у нормалізованому стані** леговані сталі ділять на три класи:

- перлітний – при вмісті легуючих компонентів до 5%;
- мартенситний – при вмісті легуючих компонентів до 13%;
- аустенітний – при вмісті легуючих компонентів до 20...30% (переважно нікель і марганець).

Найбільш поширеними є леговані сталі доевтектоїдного, евтектоїдного та перлітного класів, до яких відносять низько-і середньолеговані конструкційні та інструментальні сталі. Після гарячої обробки тиском та швидкого охолодження на повітрі або повільного охолодження в печах ці сталі мають ферито-перлітну або перлітну структуру; вони добре обробляються різальним інструментом; у термічно обробленому стані (загартування в олії та відпускання) мають високу твердість і зносостійкість.


Сталі мартенситного, аустенітного, феритного, заевтектоїдного та ледебуритного класів є високолегованими.

За **змістом легуючих компонентів** стали поділяють такі групи:

- низьколеговані із сумарним вмістом легуючих компонентів до 2,5%;
- середньолеговані із сумарним вмістом легуючих компонентів 2,5...10%;
- високолеговані із сумарним вмістом легуючих компонентів понад 10%.

За **призначенням** леговані сталі ділять такі групи:

- конструкційні (машинобудівні та будівельні). Ці сталі призначаються виготовлення деталей машин і елементів конструкцій споруд;
- інструментальні. Ці сталі використовуються для виготовлення різального, штампового, вимірювального та іншого інструменту;
- сталі та сплави з особливими властивостями (нержавіючі, жаро-



стійкі, жароміцні, зносостійкі та ін).

**Леговані конструкційні сталі.** Ці сталі застосовують головним чином деталей відповідального призначення, тому вони повинні мати поруч із високої міцністю і пластичністю достатньої в'язкості, тобто. високим опором статичним та динамічним навантаженням, втому тощо.

Конструкційні леговані сталі, у свою чергу, ділять на:

- будівельні (або низьколеговані);
- машинобудівні загального призначення (цементовані та покращувані);
- шарикопідшипникові;
- ресорно-пружинні та ін.

**Будівельні низьколеговані сталі** містять невелику кількість вуглецю (0,25%) та у невеликих кількостях різні легуючі компоненти. Ці сталі відрізняються від вуглецевих більш високою міцністю та ударною в'язкістю. До них відносяться 09Г2, 12Г2С, 10Г2С1, 15ГФ, 14ХГС, 09Г2ФБ, 10-15ХСНД та ряд інших. Введення легуючих компонентів дозволяє збільшити їх тимчасовий опір при розтягуванні та межі плинності. Крім того, вони добре зварюються; деякі з них стійкіші до атмосферної корозії; температура переходу сталі в крихкий стан низька (для більшості сталей нижче - 40 ° С) і т.д.

З цих сталей прокочують листову та сортову сталь для моста, судно- та вагонобудування, для магістральних нафто- та газопроводів, для котлів високого тиску та інших областей застосування.

**Машинобудівні леговані сталі загального призначення** – це сталі, що цементуються і покращуються. Цементовані леговані сталі застосовують для виготовлення великих деталей, що сильно навантажуються (вали, зубчасті колеса і т.д.). Вироби з цементованих легованих сталей піддають цементації (товщина шару 0,6...1,0 мм), подальшому загартування і відпустці (зазвичай при 200 ° С).

Леговані машинобудівні сталі, що покращуються, застосовують для відповідальних деталей перетином до 30 мм<sup>2</sup>. Ці сталі мають високу межю плинності, малу чутливість до концентрації напруг при достатній в'язкості та високій межі витривалості. Дуже важливо, щоб покращувані сталі мали гарну прожарюваність. Високі механічні властивості легованих сталей, що поліпшуються, досягаються поверхневим гартуванням з відпусткою (550...600 ° С).

**Ресорно-пружинні конструкційні леговані сталі** мають високу межю пружності (плинності) і високу межю витривалості при достатній в'язкості та пластичності. Для сталей, що містять не менше 0,5%, це досягається гартуванням з подальшою відпусткою. До них належать такі сталі: марганцеві 50Г, 55Г2, 65Г; крем'янисті 50С2, 55С2, 60С2; кремністомарганцеві 55СГ, 60СГ, 60СГА; хромомарганцева 50ХГ, хромованадієва 50ХФА, нікелькремніста 60С2Н2А та ін. Всі ці сталі містять не менше 0,5% С.



Після гарту з температури 780 ... 820 ° С і подальшої відпустки при 350 ... 400 ° С ці сталі мають досить високу межу плинності (800...1600 МПа). Для підвищення втомної міцності ресори та пружини піддають поверхневому наклепу (обдуванням дробом і т.д.). Залишкові напруги, що виникають при цьому в поверхневому наклепаному шарі, підвищують межу витривалості (втоми) деталей.

*Шарикопідшипникові сталі* мають високу міцність, твердість, зносостійкість, витривалість. До цих сталей відносять високовуглецеві (0,95...1,15% С) сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ17. Щоб сталь добре прожарювалася, її легують невеликою кількістю хрому (в середньому 0,6...1,5%).

У шарикопідшипниковій сталі повинні бути відсутні неметалеві включення, оскільки, будучи концентраторами напруги, вони знижують межу витривалості. Для отримання необхідних механічних властивостей деталі з шарикопідшипникової сталі (кільця, кульки, ролики) піддають загартування в маслі при температурі 830 ... 840 ° С і подальшій відпустці при 150 ... 160 ° С протягом 1 ... 2 год. Це забезпечує одержання твердості HRC 62.


***Інструментальні леговані сталі.*** Ці сталі застосовують для виготовлення різального, вимірнального, штампувального та іншого інструменту. Для кожного виду інструменту розроблено та освоєно сталі, фізико-механічні та технологічні властивості яких відповідають умовам його роботи.

*Леговані сталі для різального інструменту*, що працює зі зняттям стружки, після термічної обробки (загартування та низька відпускання) повинні мати високу твердість (HRC 60...65) і зносостійкість ріжучої кромки при в'язкому серцевині для запобігання поломці в процесі роботи.

Ці властивості мають хромисті сталі (Х, 11Х, 13Х і т.д.), що застосовуються для виготовлення різців, сверدل, напильників; хромокремністі (9ХС) – для виготовлення різців, свердел, фрез, зенкерів; хромовольфрамова (ХВ5) – для виготовлення розгортки, мітчиків, плашок; хромовольфрам марганцовисті (ХВГ, 9ХВГ) та хромовольфрамванадієві (9Х5ВФ та ін.) – для виготовлення свердел, фрез, різців та різьбонарізного інструменту.

Леговані інструментальні сталі розглянутих марок придатні до роботи при невеликих швидкостях різання, оскільки за 200...220°С їх твердість значно знижується. Такі сталі повинні мати твердість у стані поставання HB 179...321, а після гарту з температури 850...950°С (зазвичай з охолодженням в олії) та низької відпустки – HRC 60...62.

*Швидкорізальна сталь* широко використовується для різального інструменту, що працює зі зняттям стружки при високих швидкостях різання. Відмінною властивістю такої сталі є її висока стійкість до краси, тобто здатність зберігати високу твердість, міцність та зносостійкість при



температурі до 600 °С. Основними легуючими елементами швидкорізальних сталей марок Р18 і Р9 є Cr, W і V. Високу червоностійкість швидкорізальних сталей забезпечує вольфрам.

Для обробки сталей підвищеної міцності та жароміцних сплавів застосовують швидкорізальні сталі марок Р18К5Ф2 та Р10К5Ф5. Кобальт у цих сталях підвищує твердість та червоностійкість. Для обробки різанням пластмас застосовують сталь Р9Ф5. Ванадій у цій сталі підвищує її стійкість проти абразивного зношування.

Для надання швидкорізальної сталі високої твердості та червоностійкості її піддають термічній обробці: загартуванні з високих температур (1280...1290 °С) в маслі, обробці холодом при - 80 °С для повнішого розпаду залишкового аустеніту або високій відпустці. Висока температура нагріву під загартування необхідна для розчинення великої кількості легуваних карбідів в аустеніті, щоб при загартуванні отримати більш насичений легуючими елементами мартенсит, стійкий проти відпустки. Оскільки після гарту в структурі швидкорізальної сталі крім мартенситу і нерозчинених карбідів міститься приблизно 25...30% залишкового аустеніту, її обробляють холодом або відпусткою. В результаті зменшується вміст залишкового аустеніту і підвищується твердість сталі до HRC 65.

*Леговані сталі для вимірювального інструменту* (мікрометрів, калібрів, вимірювальних плиток і т.д.) повинні мати високу твердість, зносостійкість і зберігати розміри протягом тривалого часу експлуатації. Для цього застосовують хромисті (Х, 13Х) та хромовольфрам марганцевісти (ХВГ) сталі, що містять підвищену кількість вуглецю (1,0...1,4%). Для забезпечення стабільності розмірів ці сталі після гарту піддають обробці холодом, а потім низької відпустки при тривалій витримці (12...60 год). Після такої термічної обробки вимірювальний інструмент має твердість HRC 62...64. Інструмент з листової хромистої сталі (вимірювальні скоби, шайби, лінійки та інші плоскі інструменти) для збільшення твердості та зносостійкості робочої поверхні піддають цементації та загартування.

*Леговані сталі для штампового інструменту* використовують при холодному та гарячому деформуванні металу. Штампові сталі для деформування металу в холодному стані використовують для обрізних, висадних та витяжних штамів, пуансонів і т.д.

Ці сталі повинні мати високу твердість і зносостійкість, а також достатню в'язкість, щоб сприймати динамічні навантаження без руйнування. До таких сталей відносяться хромованадієві (Х12Ф1), хромомолібденові (Х12М) та хромовольфрам-кремністі (5ХВ2С) сталі з високим вмістом вуглецю (від 0,5...0,7 до 1,2...1,65%).

Штампви, виготовлені з цих сталей, загартовують у маслі при температурі 1000...1070 °С наступним низьким відпусткою при 150...180 °С. Твердість стали рівна HRC 61...63.

Штампові сталі для деформування металу в гарячому стані повинні зберігати високу твердість, зносостійкість і достатню в'язкість при підви-



щених температурах, а також мати термостійкість (здатність витримувати багаторазове нагрівання і охолодження без утворення тріщин).

Для молотових штамів застосовують хромонікелемолібденові сталі типу 5ХНМ або хромомарганцемолібденові типу 5ХГМ. Після термічної обробки (загартування в маслі та висока відпускання) отримують сталь з твердістю HRC 35...45 та підвищеною в'язкістю.

Робочі та опорні валки для прокатних станів виготовляються також із сталей цього класу (наприклад, 9Х2МФ, 45ХНМ, 60ХН та ін.).

**Сталі і метали з особливими якостями.** Ці сталі та сплави широко використовують у машино-, приладобудуванні, харчовій, хімічній, атомній, електротехнічній, нафтовій промисловості та ін.

До них відносяться сталі нержавіючі (корозійностійкі), жароміцні, жаростійкі, зносостійкі, з високим омичним опором, електротехнічні, магнітні та ін.

*Нержавіючі (корозійностійкі) сталі* стійкі проти корозії в агресивних середовищах. Розрізняють кілька видів цих сталей: хромисті (1Х13, Х28, Х28Т та ін), що мають після охолодження на повітрі феритну або мартенситну структуру; хромонікелеві, хромомарганцевисті (Х18Н10Т, Х18Н13М2Т, Х14Г14Н3Т та ін.), що мають при кімнатній температурі аустенітну або аустенітно-феритну структуру. Крім того, є сталі проміжного виду: аустенітно-мартенситні типу Х17Н7Ю та феритоаустенітні (0Х18Г8Н2Т, Х21Н5Т та ін.).

Опір корозії нержавіючих сталей обумовлений головним чином присутністю хрому. Вплив хрому (щонайменше 12...13%) підвищення корозійної стійкості пов'язані з його здатністю утворювати в окисних середовищах лежить на поверхні металу тонкий шар оксиду. Нікель – другий основний легуючий компонент нержавіючих сталей – не тільки підвищує корозійну стійкість, але й дозволяє отримати високі характеристики пластичності, в'язкості та міцності за високих температур.

Крім того, застосовують добавки інших елементів для спеціальних цілей. Так, молібден збільшує опір корозії у розчинах, що містять іони хлору; кремній підвищує стійкість проти окислення за дуже високих температур і т.д.

*Жароміцні сталі та сплави* стійкі в процесі експлуатації під напругою при високих температурах. До них відносяться сталі та сплави, здатні працювати під напругою при температурах понад 500 °С протягом певного часу і мати при цьому високу окалиностійкість. Ці сталі повинні мати тривалу міцність (здатність чинити опір руйнуванню під дією тривало докладеного постійного навантаження при високих температурах) і високу межу повзучості (здатність повільно і безперервно пластично деформуватися при тривалому навантаженні при високих температурах). Жароміцність сталей підвищують легуючі компоненти (наприклад, V, Mo, W та ін.).



До жароміцних сталей відносять хромомолібденові типу Х5М і хромомолібденвольфрамванадієві 15Х12ВМФ та інші, що працюють при температурах до 500...550 °С. Ці сталі використовують для труб котлів високого тиску, дисків та роторів газових турбін, кріпильних деталей тощо. До них відносяться також хромокремністі та хромокремніймолібденові сталі типу 4Х9С2 та 4Х10С2М, що працюють при температурах до 600...650 °С (клапани впуску та випуску автомобільних, тракторних та дизельних агрегатів та авіаційних моторів середньої потужності). Крім того, розрізняють жароміцні сплави на залізній та заліззонікелевій основі типу ХН35ВТ, ХН77ТЮР, ХН70ВМТЮ та інші, які застосовуються для деталей турбін, що працюють при 700...1000 °С.

До *жаростійких* відносять сталі і сплави, що володіють стійкістю проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах при температурі вище 550 °С і працюють у ненавантаженому або слабонавантаженому стані. Хімічний склад цих сталей відрізняється великою різноманітністю, і деякі з них правильно називати не сталлю, а сплавами. Ці сталі знаходять застосування у котлобудуванні для виготовлення паропроводів, паронагрівачів, кріпильних та інших деталей реактивних двигунів. Вони характеризуються підвищеним вмістом хрому та нікелю.

*Зносостійкі сталі* дуже стійкі при абразивному зносі, в той же час вони мають достатню в'язкість. До цих сталей відносяться марганцеві сталі типу Г13, які після гарту з 1000 ... 1100 °С у воді мають структуру аустеніту. Ці сталі застосовують виготовлення стрілок і хрестовин залізничних колій, траків гусениць, щік каменедробилок тощо.

*Сплави з високим омичним опором* призначені для виготовлення дроту та стрічок нагрівальних елементів (наприклад, для термічних печей). Для цього застосовують хромоалюмінієві (Х13Ю4, 0Х23Ю5) та хромонікелеві сплави (ніхроми) типу Х15Н60 та Х20Н80. Вони жаростійкі (окалиностійкі) до 1000...1200 °С.

*Магнітні сталі та сплави* розрізняють двох видів:

- магнітотверді;
- магнітом'які.

Магнітотверді сталі та сплави застосовують для виготовлення постійних магнітів. Вони мають високу коерцитивну силу і залишкову магнітну індукцію, а також малу магнітну проникність. До магнітотвердих сталей та сплавів відносять високовуглецеві (0,68...1,05% С), хромовольфрамкові (Е7В6), хромокобальтові (ЕХ5К5) та інші сталі (літера Е означає сталь для постійних магнітів).

Магнітом'які сталі застосовують для сердечників трансформаторів, якорів та полюсних наконечників електродвигунів, а також для вимірювальних приладів та деталей магнітопроводів. Магнітом'які сталі мають малу коерцитивну силу, високу магнітну проникність і мають незначні втрати на гістерезис.

В якості агнітом'якого матеріалу використовують технічно чисте за-



лізо, електротехнічну сталь, залізонікелеві сплави та ін.

До *електротехнічних сталей*, що використовуються в якості магнітом'якого матеріалу, відносять E11-E13, E41-E48, E320, E330A, E360A та ін. а третя – 0 – ставиться для вказівки, що ця сталь є холоднокатаною та текстурованою, літера А після цифр означає особливо низькі втрати). На магнітні властивості трансформаторної сталі вирішальний вплив має вміст у ній кремнію, який підвищує питомий електричний опір і знижує втрати на вихрові струми, а також сприяє утворенню великих зерен у структурі сталі, що покращує її магнітні властивості. Вуглець знижує магнітну індукцію і підвищує ватні втрати, тому його прагнуть позбутися при виплавці і в прокатних цехах при нагріванні металу інтенсивним зневуглецювання.

### **Запитання для самоперевірки**

1. За яким принципом розрізняються сталі та сплави для прокатки?
2. Як розділяються сталі за способом виробництва?
3. Як розрізняються сталі за хімічним складом?
4. Чим відрізняється конструкційна вуглецева сталь звичайної якості від якісної конструкційної вуглецевої сталі? Назвіть основні марки тієї та іншої.
5. З якої сталі виготовляють вимірювальні та ріжучі інструменти? Які стали належать до цього класу?
6. Що є конструкційні леговані сталі? У яких галузях промисловості вони використовують?
7. До якого класу сталей відноситься швидкорізальна сталь і що з неї виробляють?
8. Які стали відносяться до спеціальних та де вони застосовуються?
9. До якого класу сталей відносяться жароміцні та жаростійкі сталі і чим вони відрізняються одна від одної?
10. Що являють собою магнітотверді та магнітом'які сталі та сплави з високим омичним опором? Де вони використовуються?
11. Які вимоги пред'являються до електротехнічних сталей та де вони застосовуються?



## 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Сутність процесів обробки металів тиском полягає в тому, щоб змінити геометричну форму та розміри тіла, а також надати йому певних механічних та фізичних властивостей.

В основні промислові процеси обробки металів тиском входять:

- прокатка;
- кування;
- штампування;
- пресування;
- волочіння.

Технологічний процес одержання різних виробів обробкою металів тиском є завершальною стадією металургійного виробництва. Основою цього процесу є пластична деформація.

### 2.1 Загальне уявлення про механізми пружної та пластичної деформації

Тверді металеві тіла при дії на них зовнішніх сил змінюють свої розміри та форму. Така зміна зветься **деформації**.

Деформація являє собою сукупність трьох процесів, що взаємно накладаються і послідовно йдуть:

- пружної деформації,
- пластичної деформації
- руйнування.

Відомо, що між атомами металів діють внутрішні сили, що врівноважують. Якщо прикласти до металу зовнішню силу, то ця рівновага порушується. Атоми металу починають зміщуватися щодо один одного доки не буде досягнуто нової рівноваги між атомними силами тяжіння і відштовхування, з одного боку, і зовнішньою силою, з іншого. Це призводить до деформації кристалічних ґрат.

Якщо після припинення дії зовнішніх сил, викликана деформація зникає і атоми кристалічних ґрат повертаються у вихідний стан, то таку деформацію називають **пружною**.

Якщо після припинення дії зовнішніх сил тверде тіло не повністю відновлює свої вихідні форми та розміри, то таку деформацію називають **пластичною**.

Величина пластичної деформації не безмежна, при певних значеннях може початися руйнація тіла, що деформується, або окремих його ділянок.

Здатність металу змінювати свої форми та розміри без руйнування називають **пластичністю**. Ця властивість металу використовується при виробництві металевих виробів як у гарячому, так і холодному стані.

## 2.2 Основні способи обробки металів тиском

Перевагами обробки тиском перед іншими видами обробки металів є:

- можливість скорочення відходів металу в порівнянні з обробкою різанням;
- висока продуктивність праці, так як в результаті одноразового докладання зусилля можна значно змінити форму і розміри заготовки, що деформується;
- у процесі обробки тиском можна значно покращити фізико-механічні властивості виробів.

Основними видами обробки металів тиском, як зазначалося раніше, є: кування, штампування, пресування, волочіння та прокатка.

**Кування** полягає в обтисненні заготовки 2 (рис. 2.1 а) між верхнім 1 і нижнім 3 бойками молота із застосуванням різноманітного інструменту. Вільним куванням набувають поковки різних розмірів простої або складної форми на молотах або пресах.

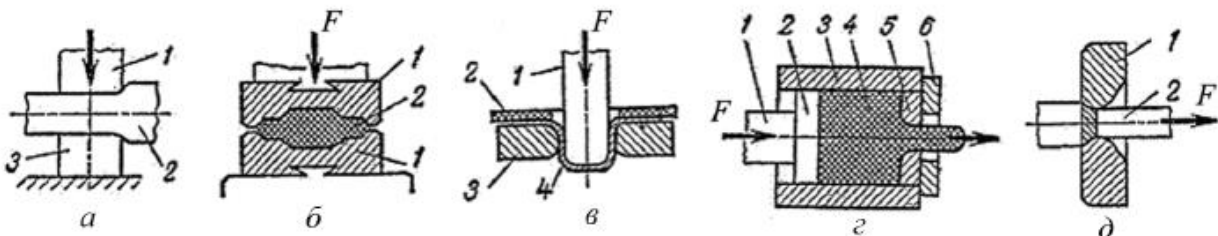


Рисунок 2.1 - Схема основних способів обробки металів тиском: а – кування; б - об'ємне штампування; в – листове штампування; г – пресування; д – волочіння

**Штампування** – процес деформації металу в штампах, форма та розміри внутрішньої порожнини яких визначають форму та розміри одержуваної поковки.

Розрізняють об'ємне та листове штампування. При об'ємному штампуванні (рис. 2.1 б) на гарячештампувальних молотах і пресах заготовка 2 деформується в штампі 1.

Листове штампування (рис. 2.1, в) здійснюється на холодноштампувальних пресах. За допомогою пуансона 1 притиску 2 і матриці 3 лис-

това заготовка 4 перетворюється на виріб.

**Пресування** являє собою процес видавлювання заготовки 4 (рис. 2.1 г), поміщеної в спеціальний циліндр-контейнер 3 через отвір матриці 5, утримуваної матрицедержателем 6; видавлювання проводять за допомогою прес-шайби 2 і пуансона 1. Залежно від форми та розмірів отвору матриці одержують різноманітні вироби.

**Волочення** – процес, при якому заготівля 2 (рис. 2.1, д) простягається на волочильному стані через отвір інструменту 1, званого волокою (фільерою); при цьому поперечний переріз заготовки зменшується, а довжина збільшується.

Під **прокаткою** розуміють процес формозміни матеріалу, що володіє запасом пластичності, при проходженні його між приводними валками, що обертаються, зазор між якими менше товщини заготовки (рис. 2.2). Прокатується матеріал (метал) зазвичай називають смугою незалежно від дійсної форми поперечного перерізу. У процесі прокатки відбувається зменшення товщини смуги та збільшення її ширини та довжини. При прокатці широких листів та смуг розширення смуги незначне, тому внаслідок зменшення площі поперечного перерізу смуги відбувається переважно її подовження.

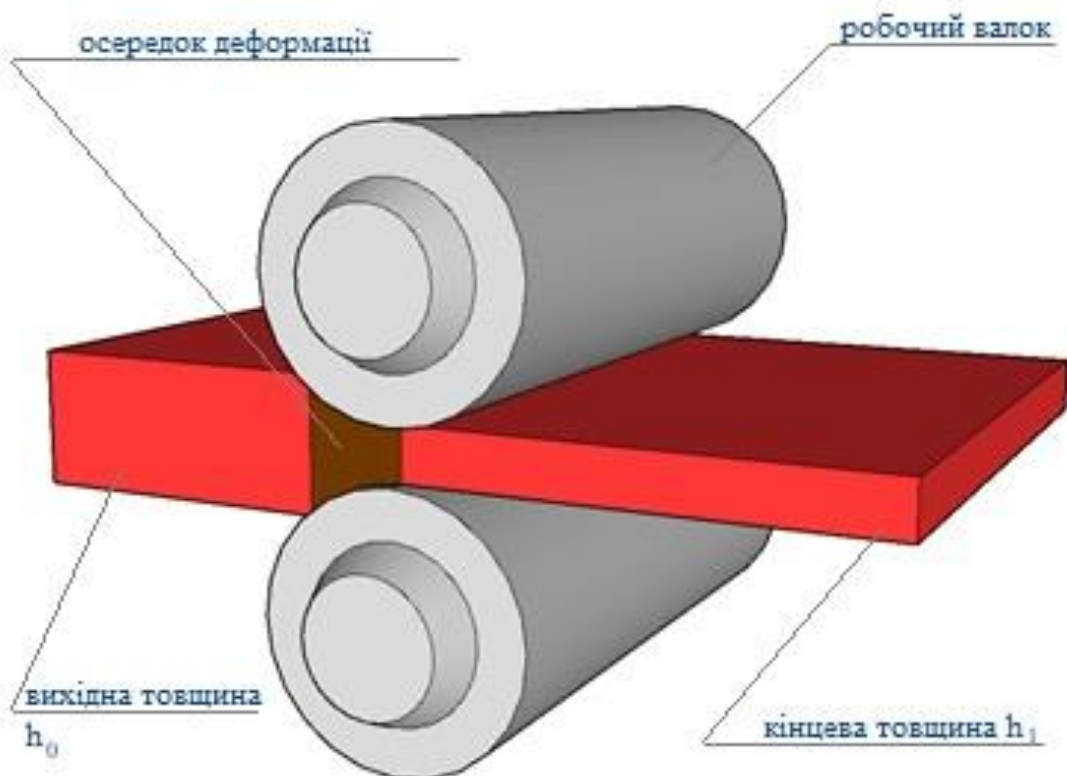


Рисунок 2.2 - Схема простого процесу прокатки

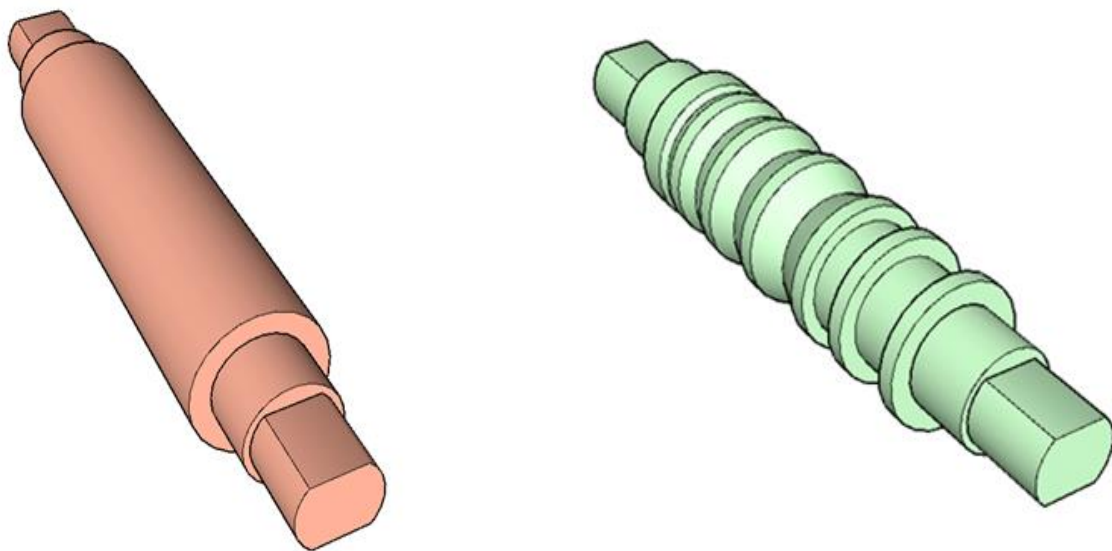
Специфічною особливістю процесу прокатки, порівняно з іншими процесами обробки тиском, є необхідність наявності сил тертя в місцях



контакту металу з валками (в осередку деформації). Тертя, з яким борються в інших процесах обробки тиском, при прокатуванні виконує активну роль. Потужність, необхідна для деформації металу, передається від енергоносія до металу, що деформується, силами тертя. Контактне тертя визначає величину сил, що втягують метал у зазор між валками.

Процес прокатки, на відміну, наприклад, від кування і штампування, є безперервним процесом, при якому кожен послідовно взятий момент часу в осередку деформації знаходяться безперервно оновлювані обсяги металу.

Методом прокатки отримують вироби найрізноманітнішої форми: тонкі та товсті листи, профілі квадратного та круглого перерізу, куточки, швелери, двотаврові балки, рейки, труби та багато іншого. При прокатуванні листів застосовуються валки, робоча частина (бочка) яких має форму круглого циліндра без будь-яких вирізів та виступів (рис. 2.3, а). Прокатку в таких валках часто називають прокаткою "**на гладкій бочці**".



а)

б)

Рисунок 2.3 - Валки з гладкою бочкою (а) та калібровані (б)

При виробництві рейок, швелерів, двотаврових балок та іншого прокату різної конфігурації застосовують калібровані валки, які мають вирізи за формою продукту, що прокатується. Така прокатка називається прокаткою в калібрах (рис. 2.3 б).

Залежно від температурних умов деформації розрізняють:

- холодну  $T < 0,3T_{пл}$ ,
- теплу  $T = (0,3 \dots 0,6)T_{пл}$
- гарячу  $T \approx (0,6 \dots 0,8)T_{пл}$  прокатку.

У виробництві прокатної продукції **гаряча прокатка** поширена ширше, ніж холодна. Нагрітий метал при високих температурах має зниже-



ний опір деформації і підвищену пластичність.

До кожного металу чи сплаву існує певна температура, коли він рухливість атомів стає такою, що метал із напруженого (нерівноважного) стану перетворюється на рівноважний, тобто. зароджуються нові центри кристалізації та утворюються нові зерна. Відбувається процес *рекристалізації*. У тілі, що деформується, зникають спотворення кристалічних ґратниць і залишкові напруги. Ця температура називається *температурою рекристалізації*.

Гаряча прокатка характеризується таким співвідношенням температурно-швидкісних умов деформування, за яких рекристалізація встигає відбутися у всьому обсязі металу і мікроструктура його після обробки тиском виявляється рівноважною, без слідів зміцнення. Однак при гарячій деформації дуже інтенсивно відбувається окислення металу (на поверхні утворюється шар окалини), що погіршує якість поверхні та точність одержуваних розмірів.

**Холодна прокатка** здійснюється за температури навколишнього середовища. Вона характеризується зміною форми зерен металу. Зерна витягуються у напрямі течії металу, що тягне зміну його фізико-механічних властивостей.

У міру збільшення деформації зростають характеристики міцності та знижуються характеристики пластичності, що пов'язано зі спотворенням кристалічних ґрат – відбувається накопичення дислокацій біля меж зерен. Це називається **зміцненням**, чи **наклепом**; воно протікає як за холодному, і при гарячому деформуванні. Однак при холодній прокатці наклеп має залишковий характер, а при гарячій зникає.

Холодна прокатка застосовується для отримання відносно тонких виробів з високоякісною поверхнею, наприклад, тонких листів і тонкостінних труб. Іноді знаходить застосування обробка у сфері проміжних температур – так звана **тепла прокатка**.

Слід зазначити, що прокатка служить як отримання виробів певної форми, а й у значною мірою сприяє зміні (підвищенню) механічних властивостей металу.

## 2.3 Основні закони обробки металів тиском

**Закон сталості обсягу** – обсяг тіла до деформації практично дорівнює його обсягу після деформації. Він використовується визначення розмірів заготовок, призначених для обробки тиском.



**Закон найменшого опору** – частини металу, що деформується, завжди переміщуються в напрямку найменшого опору. Цей закон дозволяє визначити розміри та форму поперечного перерізу, які отримає заготівля з тим чи іншим перерізом у процесі обробки металів тиском.

**Закон зсувних напружень** – пластична деформація може початися в тому випадку, якщо напруги, що зсувають, що виникають в деформованому тілі, досягнуть певної величини, що залежить від природи тіла та умов деформації. Цей закон дозволяє судити про міцнісні та пластичні характеристики оброблюваної заготівлі, а також правильно оцінити силові умови деформування.

### **Запитання для самоперевірки**

1. Що таке деформація?
2. Назвіть види деформацій та опишіть механізм їхньої дії.
3. Що таке холодна деформація металу та як вона впливає на його властивості?
4. Що таке гаряча деформація і чим вона відрізняється від холодної?
5. Назвіть основні види обробки металів тиском.
6. Які вироби одержують методом прокатки?
7. Назвіть основні закони обробки металів тиском. Як ці закони використовуються практично?
8. Що таке пластичність? Які фактори впливають на пластичність металу?

### 3 КЛАСИФІКАЦІЯ І ВЛАШТУВАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНОВ

Основні цехи сучасного металургійного заводу з виробництва чорних металів з повним металургійним циклом – доменний, сталеплавильний та прокатні. Схема їх розташування передбачає рух потоку металу лише одному напрямку, починаючи від доменного цеху і закінчуючи складами готової продукції прокатних цехів (рис. 3.1).

Через прокатні цехи проходить понад 75% сталі, що виплавляється в сталеплавильних цехах, і лише невелика її кількість – через ливарні та ковальські цехи. Технологічний процес отримання готового прокату та різних виробів обробкою металів тиском є *завершальною* стадією металургійного виробництва. Вся прокатна продукція виробляється на прокатних станах різної конструкції та призначення.

**Прокатний стан** являє собою комплекс машин і агрегатів, призначених для пластичної деформації металу в валках, що обертаються (власне прокатка), подальшої його обробки (різання, правка, зачистка і т.д.) і транспортування.

Обладнання стану поділяють на:

- основне;
- допоміжне.

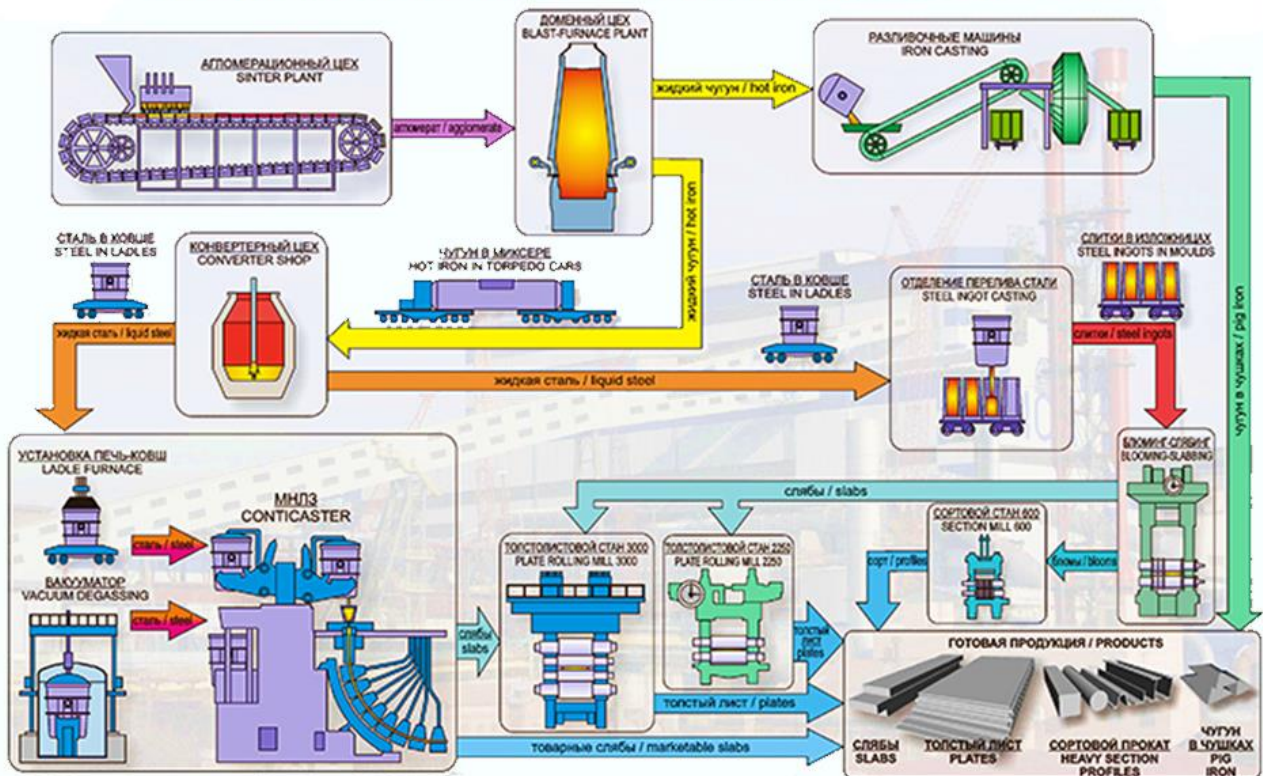
До **основного** відносять устаткування, безпосередньо пов'язані з виконанням основної операції – забезпеченням обертання валків і деформацією металу. Це обладнання розташоване на головній лінії табору (рис. 3.2).

До **допоміжного** обладнання відносять все інше механічне обладнання стану, призначене для виконання ряду допоміжних операцій: транспортування металу, переміщення його при прокатуванні від одного калібру до іншого, кантівки, різання прокатоного металу, правки, змотування бунти і рулони, охолодження і т.д.

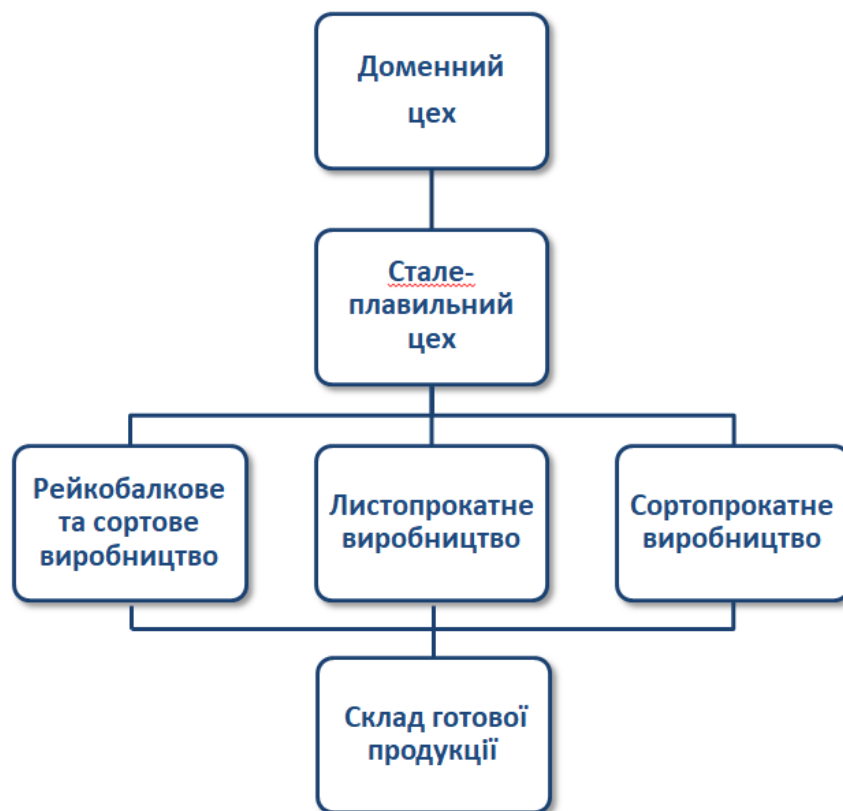
Найпростішим типом прокатного стану є *одноклітинний стан* (рис. 3.2). Такі стани мають робочу кліть і лінію приводу валків, що складається зі шпинделів, клітки шестеренної, редуктора (з маховиками або без них), головного електродвигуна і сполучних муфт. При індивідуальному приводі кожного валка шестеренна кліть та редуктор відсутні (блүмінги, слябінги, товстолистові стани тощо).

Для прокатки металу в прокатних цехах металургійних заводів встановлюються стани різних типів та призначення. Тому прокатні стани класифікуються за призначенням, числом і розташуванням валків у робочих клітях, числом та розташуванням робочих клітей.

## DIAGRAM OF CAST IRON AND STEEL MAKING PROCESS

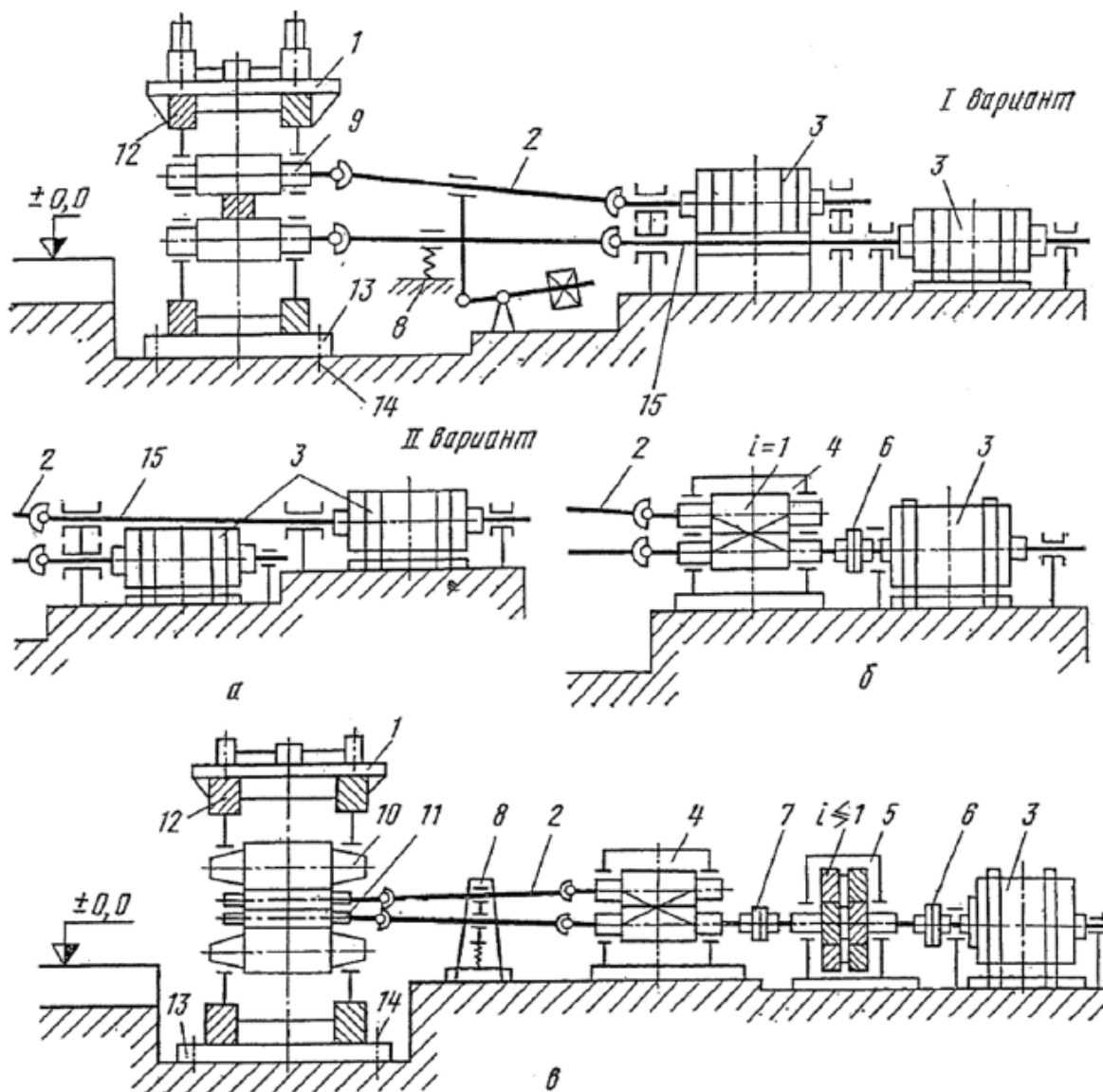


a)



b)

Рисунок 3.1 – Схема (a) та структура (б) металургійного заводу



1 – робоча кліть; 2 – універсальні шпинделі; 3 – основні електродвигуни; 4 - шестеренна кліть; 5 – редуктор; 6 – моторна муфта; 7 – корінна муфта; 8- пристрій для врівноваження шпинделів; 9 – валки двовалкової кліті; 10 - опорні валки чотиривалкової кліті; 11 – робочі валки чотиривалкової кліті; 12 – станини; 13 – плитовини; 14 – фундаментні болти (анкери); 15 – проміжний вал

**Рисунок 3.2 - Схема робочої лінії одноклітинного стану:**  
 а – індивідуальний привід валків від основних електродвигунів;  
 б – загальний привід валків від електродвигуна через шестеренну кліть;  
 в – загальний привід валків від електродвигуна через редуктор та шестеренну кліть.



За призначенням прокатні стани ділять на п'ять основних видів, які, у свою чергу, можна підрозділити на декілька типів:

- обтискні та заготівельні:
  - блюмінги,
  - слябінги,
  - заготівельні сортові,
  - трубозаготівельні,
- сортові:
  - рейкобалкові,
  - крупносортні,
  - середньосортні,
  - дрібносортні,
  - дротяні,
- листові – гарячої прокатки:
  - широкосмугові,
  - товстолистові,
  - тонколистові,
- листові - холодної прокатки:
  - листові,
  - стрічкопрокатні
  - фольгопрокатні,
  - плющильні,
- спеціальні:
  - колесопрокатні,
  - шаропрокатні
  - бандажепрокатні,
  - для зубчастих коліс та ін.

Обтискні, заготівельні та сортові прокатні стани характеризуються діаметром робочих валків, листові – довжиною бочки валків, трубопрокатні – зовнішнім діаметром труб.

**Обтискні стани** – блюмінги та слябінги з діаметром валків 800...1550 мм – призначені для прокатки злитків у заготівлі великих розмірів (блюми та сляби), які як напівпродукт надходять для наступної прокатки у заготівлі менших розмірів або для отримання готового прокату.

**Заготівельні стани**, що мають діаметр валків 450...750 мм, призначені для прокатки блюмів у заготівлі дрібніших розмірів (від 50x50 до 150x150 мм), які є вихідним матеріалом для подальшої прокатки на сортових станах.

Основні параметри сортових та листових прокатних станів, а також перелік продукції, що на них виробляється, наведено у табл. 3.1. та 3.2.

Таблиця 3.1 - Технічні дані типових сортових станів

Тип стану	Діаметр валків чисто-вої кліті, мм	Швидкість прокатки в чистовій кліті, м/с	Сторона вихідної квадратної заготовки, мм	Типовий сортамент, мм		
				коло, квадрат	куточок	швелер, двотаврова балка
Рейкобалкові	800... 850	3...6	350... 400	120... 350	150...200	200...600
Великосортні	500... 600	4...10	210... 340	70...150	100...250	120...400
Середньосортні	350... 450	6...15	150... 200	30...75	75...125	100 ... 180
Дрібносортні	250... 300	10...35	80 ... 125	8...40	20...60	—
Дротяні	150... 250	30...100	80 ... 125	5...10	—	—

**Смугові (штрипсові) стани** з валками діаметром 300...400 мм призначені для прокатки смуг шириною 65...500 мм та товщиною 1,5...10 мм.

**Універсальні стани** служать для прокатки універсальних смуг завширшки 200...1500 мм.

**Трубні стани** призначені для виробництва безшовних та зварних труб.

**Стани спеціального призначення** – служать для прокатки коліс, бандажів, куль та ін.

З табл. 3.2 видно, що основною характеристикою обтискних та сортових станів є діаметр робочих валків. Наприклад, слябінг 1300 означає, що діаметр його робочих валків 1300 мм. Основною характеристикою листових станів є довжина бочки валків. Наприклад, тонколистовий стан 1700 означає, що довжина бочки валків дорівнює 1700 мм і можна прокатувати листи шириною до 1500 мм.

Таблиця 3.2 - Технічні дані типових листових прокатних станів

Тип стану	Діаметр робочих валків, мм	Довжина бочки робочих валків, мм	Швидкість прокатки в чистовій кліті, м/с	Розміри листів та смуг, мм	
				товщина	ширина
<b>Стани гарячої прокатки</b>					
<b>Товстолистові типу 2800-5500</b>	1000 ... 1200	3000...5500	2...6	5... 200 до 500	1500 ... 5300
<b>Широкосмугові безперервні типу 1700-2000</b>	650... 800	1700 ... 2000	10...20	1,2...16	1000 ... 1850
<b>Стани холодної прокатки</b>					
<b>Широкосмуговий безперервний п'ятиклітинний 2000</b>	650	2000	33	0,35 ... 3,5	1000 ... 1850
<b>Жестепрокатний безперервний шестиклітинний 1400</b>	600	1400	33	0,1...0,6	700...1250
<b>Ленто- та фольгопрокатні 20-валкові</b>	3...17 0	60 ... 1700	0,4...1 0	0,002...0, 5	40 ... 1550

За кількістю та розташуванням валків у робочих клітках (за конструкцією) розрізняють (рис. 3.3):

– *двовалкові стани (дуо)*, що мають два робочі валка, розташовані горизонтально один над одним в одній вертикальній площині (рис. 3.3, а). Ці стани можуть мати як постійний напрямок руху валків (нереверсивні), так і змінний (реверсивні). В останньому випадку валки періодично змінюють напрямок обертання і злиток або смуга проходить між валками вперед і назад кілька разів; обидва валка зазвичай є приводними, тобто. кожен валок приводиться у обертання індивідуальним електродвигуном. До цього типу станів належать блюмінги, слябінги, товстолистові стани і т.д.;

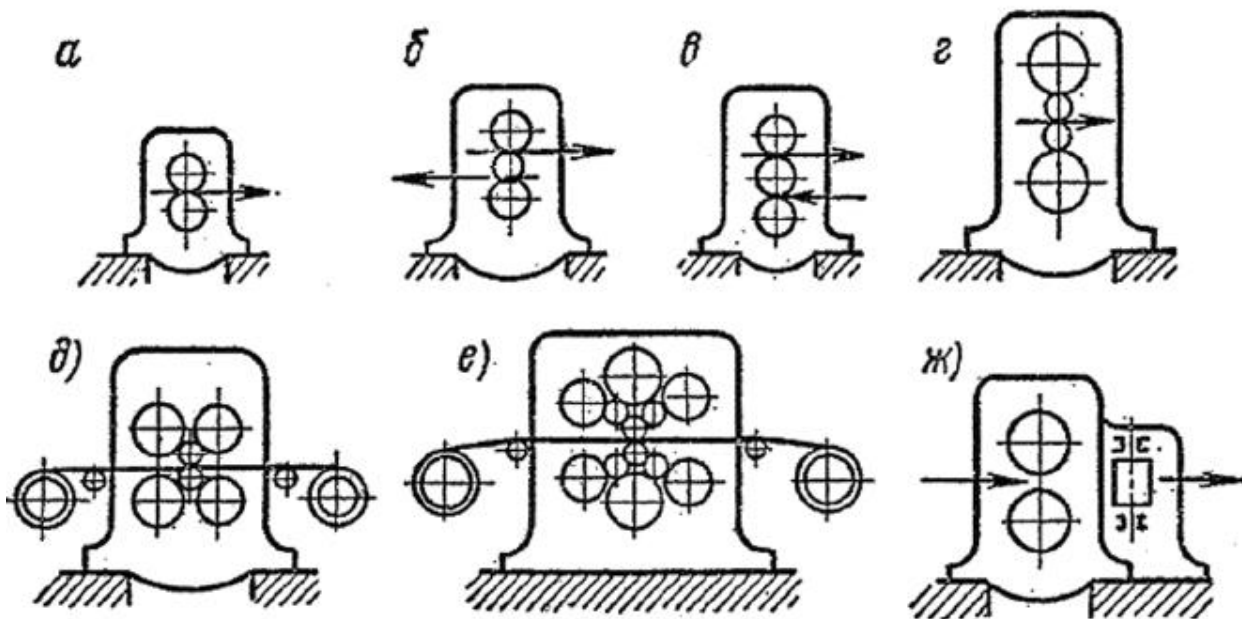


Рисунок 3.3 - Схеми робочих клітей прокатних станів з різним числом та розташуванням валків

– *тривалкові стани (тріо)*, у яких три валка розташовані горизонтально один над одним в одній вертикальній площині. Смуга прокочується спочатку між нижнім і середнім валками, а потім спеціальним пристосуванням (підйомно-хитним столом) піднімається на рівень розчину середнього і верхнього валків і при зворотному ході прокочується між середнім і верхнім валками. На станах тріо прокочують сортовий метал та листи. Листові стани тріо мають середній непривідний валок трохи меншого діаметра, ніж верхній та нижній валки (рис. 3.3 б); на сортових станах усі валки однакового діаметра (рис. 3.3, в);

– *чотиривалкові стани (кварто)*, які мають чотири валка, що вертикально розташовані один над одним (рис. 3.3, г); два валка меншого діаметра (середні) – робітники, а великі (верхній та нижній) – опорні. Опорні валки сприймають тиск при прокатці та зменшують прогин робочих валків. Стани кварто бувають реверсивні та неревверсивні; вони призначені для прокатки листів та смуг;

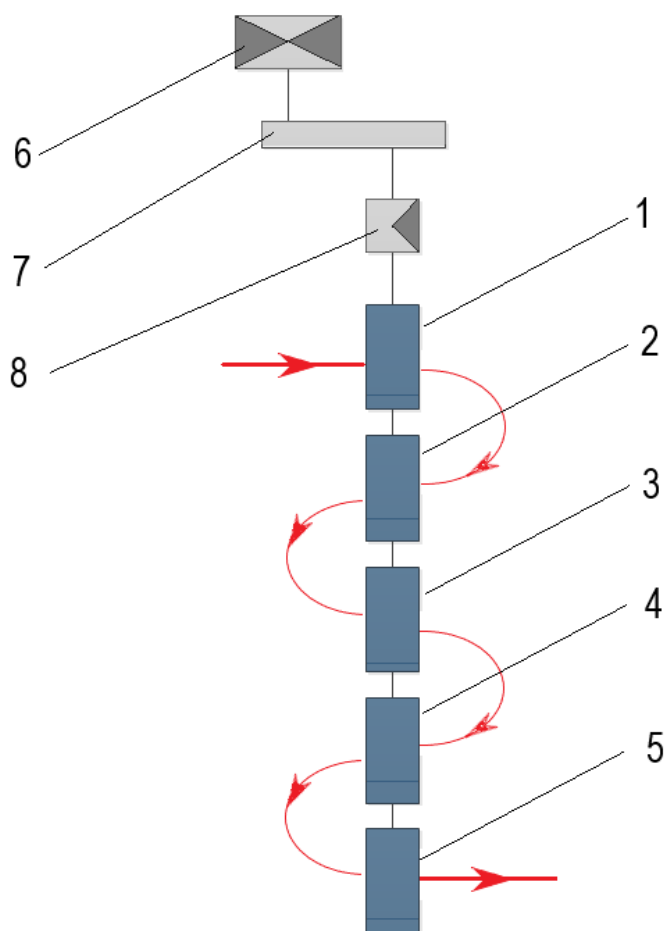
- *багатовалкові стани*, які бувають шестивалкові (рис. 3.3, б, в), дванадцятивалкові (рис. 3.3, е), двадцятивалкові і т.д. Ці стани мають два робочих валка малого діаметра (при числі валків більше 12 робочі валки непривідні), інші - опорні (валки і ролики). Зважаючи на малий прогин робочих валків ці стани застосовують для холодної прокатки тонких смуг і вузьких стрічок у рулонах з жорсткими допусками по товщині;

- *універсальні стани*, які мають в одній робочій кліті горизонтальні і вертикальні валки (рис. 3.3, ж). На цих станах метал стискається по висоті та ширині. Універсальні стани застосовують для прокатки смуг, які називаються універсальною сталлю.

За кількістю та розташуванням робочих клітей прокатні стани поділяють на одно- і багатоклітинні.

До одноклітинних станів (див. рис. 3.2) відносяться блюмінги, слябінги, товстолистові стани дуо і тріо, універсальні стани.

Багатоклітинні стани мають дві та більше робочі кліті; розташування клітей може бути лінійним, послідовним та безперервним. На рис. 3.4 наведена схема розташування робочих клітей 1-5 та приводу 6-8 валків багатоклітинного стану з лінійним розташуванням клітей. Валки всіх робочих клітин лінійних станів обертаються від одного двигуна 6 через загальну шестеренну кліть 4.



1–5 - робочі кліті; 6 - головний електродвигун;  
7 – редуктор; 8 – шестеренна кліть

Рисунок 3.4 - Схема розташування робочих клітей та приводу багатоклітьового стану.

Недоліком цих станів є неможливість збільшення швидкості прокатки у міру збільшення довжини смуги, а також втрати часу на поперечне переміщення металу під час передачі його з однієї кліті до іншої. Такі

стани зазвичай застосовуються для прокатки великої сортової сталі.

Найбільш досконалим типом сучасних багатоклітинних станів є безперервні (рис. 3.5), у яких кількість робочих клітей дорівнює необхідному числу проходів; прокатка ведеться за ринципом – у кожній кліті один прохід. Клітини розташовані послідовно одна за одною так, що смуга одночасно знаходиться у двох і більше клітях. Швидкість прокатки в кожній робочій кліті в міру зменшення перерізу смуги, що прокочується, збільшується, що досягається зміною числа обертів валків при індивідуальному приводі валків в кожній робочій кліті. Безперервні стани застосовують як заготівельні, сортові, дротяні, смугові (штрипсові), листові для холодної і гарячої прокатки.

**за розташуванням клітей:**

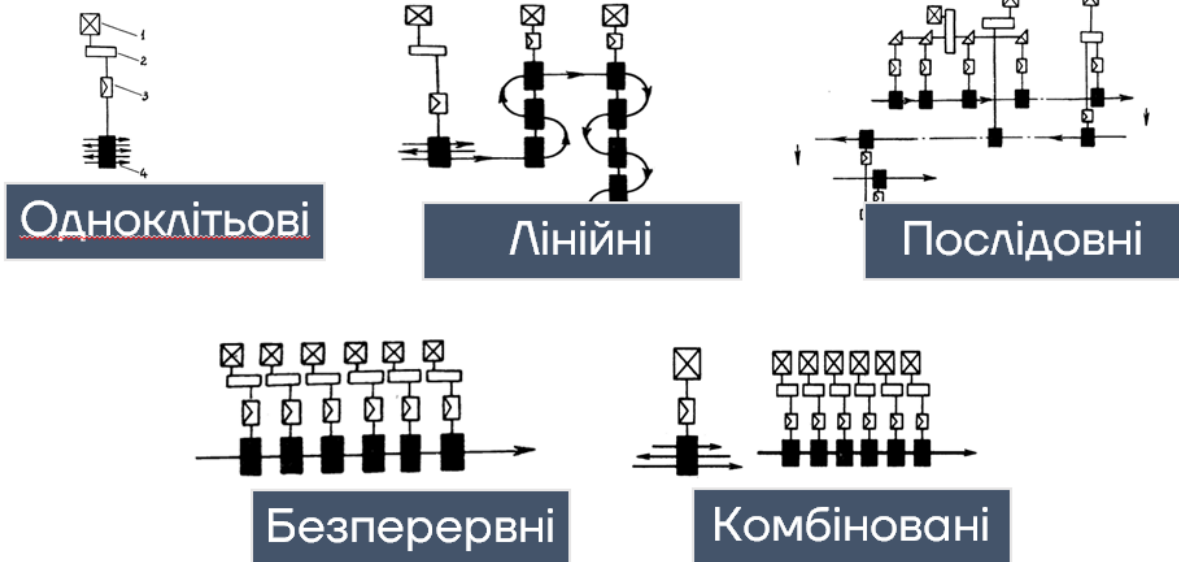


Рисунок 3.5 – Схеми розташування робочих клітей та приводу багатоклітьових станів

У напрямку обертання валків прокатні стани поділяються на:

- реверсивні
- неревверсивні.



## Запитання для самоперевірки

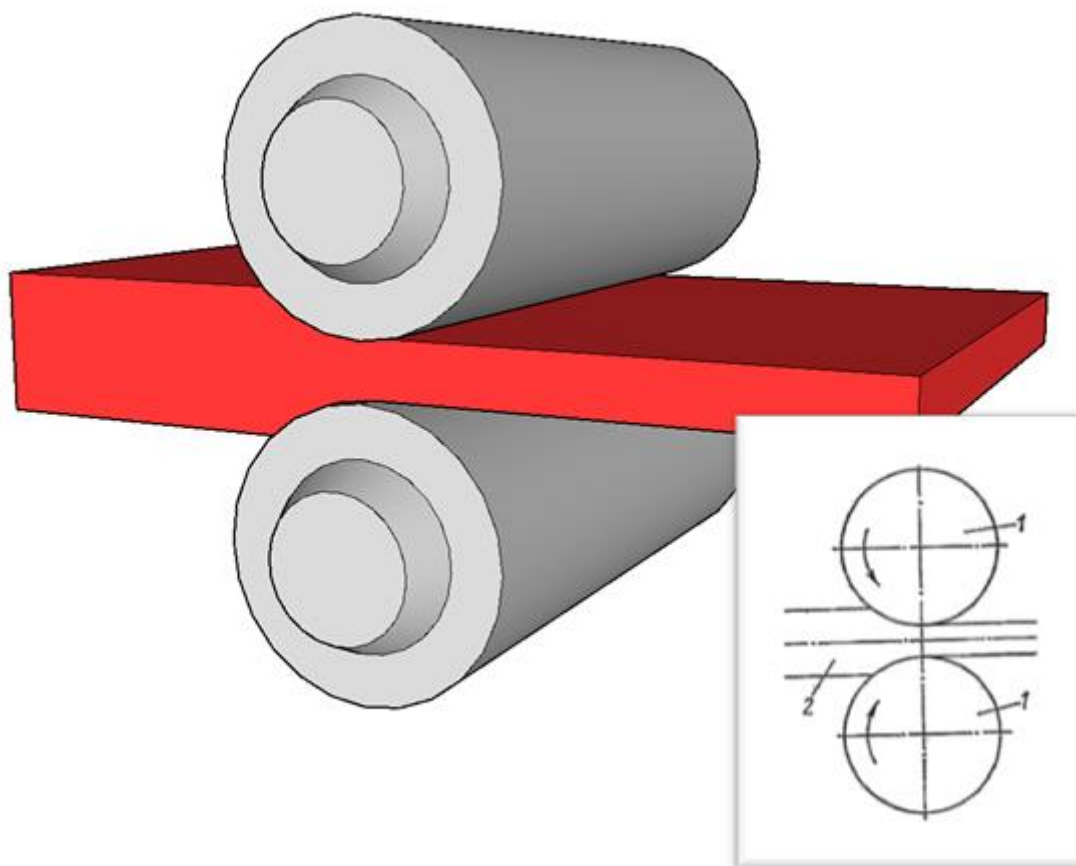
1. Що є прокатний стан і навіщо він призначений?
2. Яке обладнання входить до складу головної лінії табору?
3. Що включає допоміжне обладнання стану?
4. За якими ознаками класифікують прокатні стани?
5. Що таке напівпродукт та які стани його виробляють?
6. Які стани виготовляють готовий прокат.
7. Яка основна характеристика обтискних та сортових станів і чим вона відрізняється від листових?
8. Назвіть конструкційні особливості прокатних клітей.
9. Які стани відносяться до одноклітинних і чим вони відрізняються від багатоклітьових?
10. Що являє собою безперервний стан та як розташовані на цьому таборі прокатні кліті?
11. Яка основна особливість безперервних станів?

## 4 КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРОКАТКИ

Прокатка відноситься до основних способів обробки металів тиском. Цей процес різноманітний і поділяється на три групи:

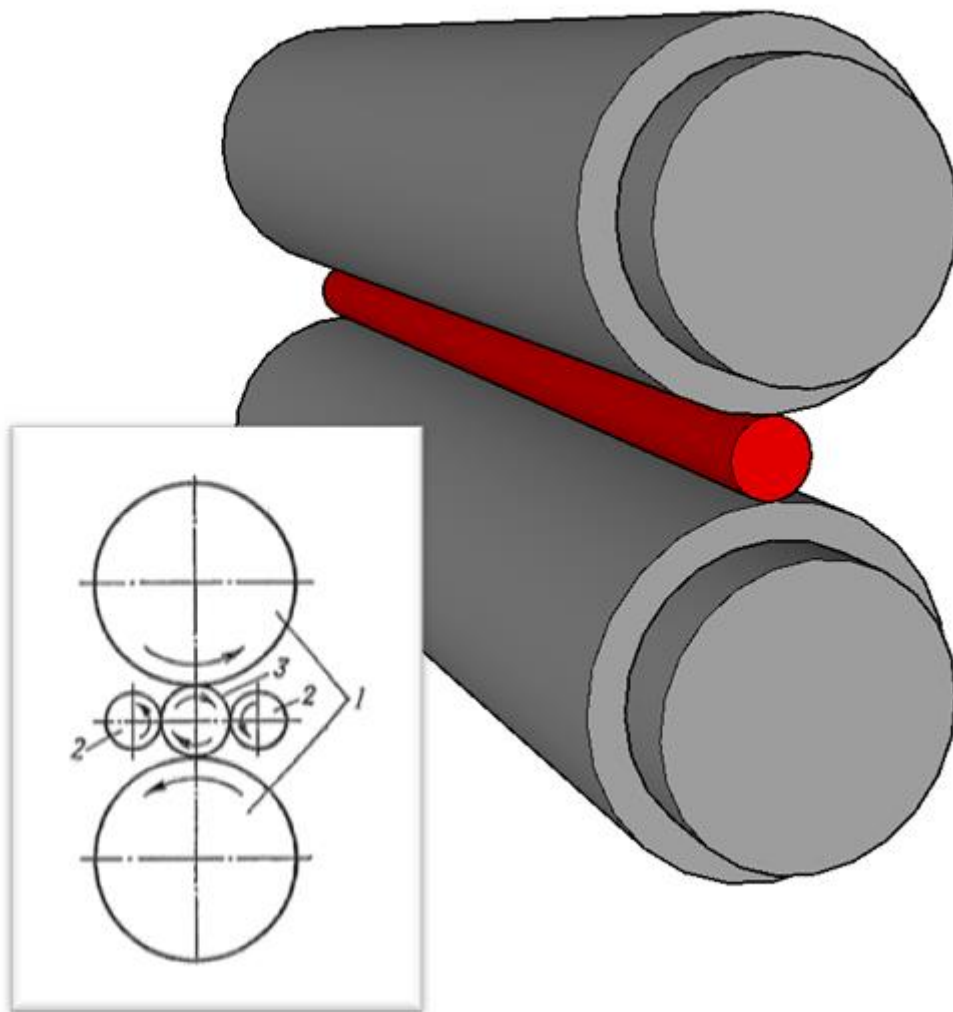
- поздовжню,
- поперечну та
- поперечно-гвинтову.

**Поздовжньою** називають прокатку, при якій смуга, що прокочується, здійснює тільки поздовжнє переміщення ерпендикулярно осям обертання валків (рис. 4.1). Поздовжня прокатка набула найбільшого поширення при виробництві сортових та фасонних профілів прокату (див. табл. 3.1) та листів різних розмірів (див. табл. 3.2).



1 – валки; 2 – смуга

Рисунок 4.1 - Схема поздовжньої прокатки



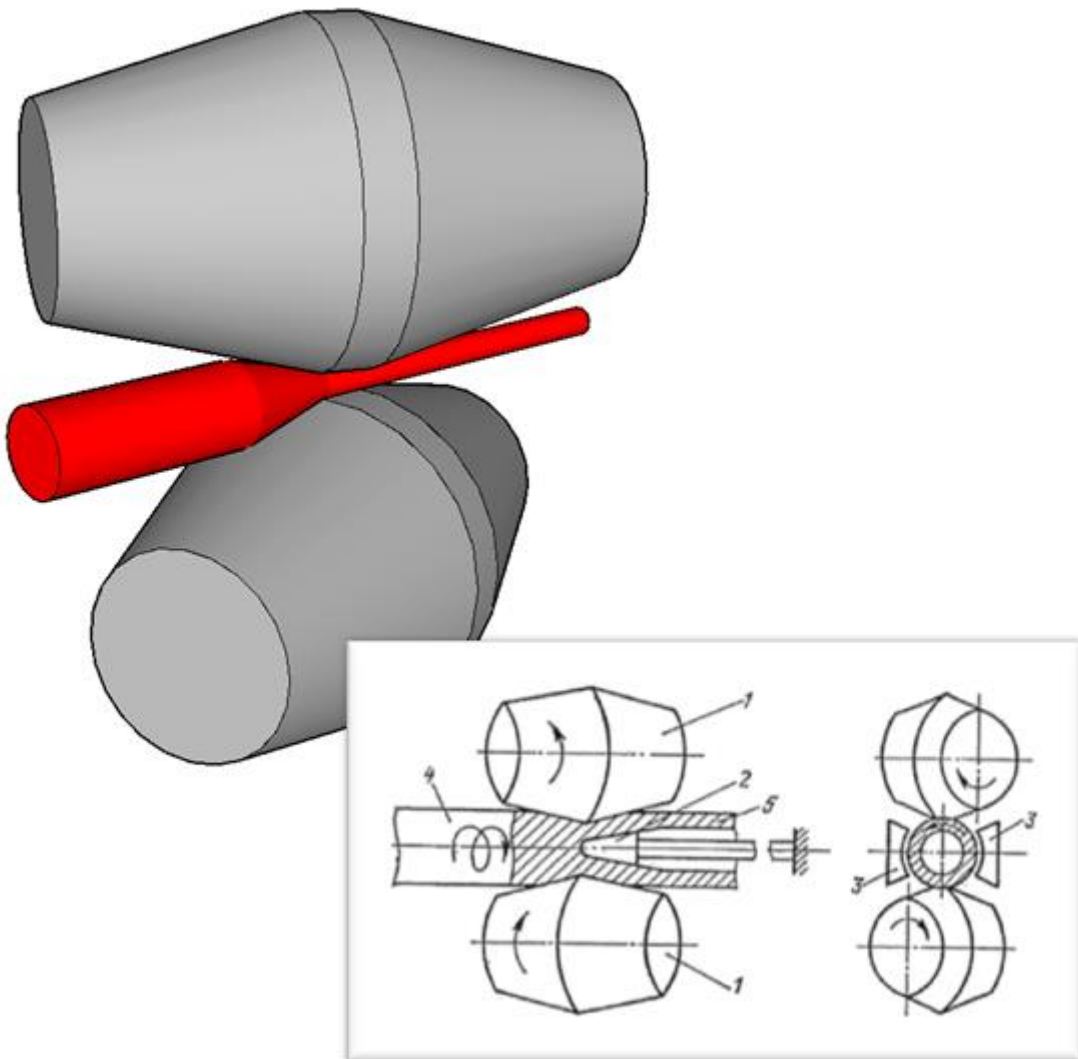
1 – валки; 2 – ролики; 3 – виріб  
 Рисунок 4.2 - Схема поперечної прокатки

**Поперечна** прокатка відрізняється від поздовжньої тим, що вісь тіла, що обробляється, паралельна осі валків (рис. 4.2). Обидва валка обертаються в той самий бік. Обтискання заготовки проводиться шляхом зближення валків по ходу прокатки. При зближенні валків зменшується діаметр виробу, який також обертається, але у бік, протилежний обертання валків. У поздовжньому напрямку тіло, що обробляється, не переміщується. Бічні ролики виконують допоміжну функцію: вони утримують виріб між валками.

Поперечну прокатку застосовують при виробництві осей залізничних вагонів, кілець, бандажів та іншої продукції у формі тіл обертання.

**Поперечно-гвинтова прокатка** займає проміжне положення - осі валків розташовуються під кутом один до одного і до осі круглої заготов-

ки, що прокатується (рис. 4.3).



1 - валки; 2 – оправлення; 3 – лінійки; 4 – заготівля;  
5 – чорнова труба (гільза)

Рисунок 4.3 - Схема поперечно-гвинтової (косої) прокатки на прошивному стані

Завдяки такому розташуванню валків заготівля у процесі прокатки здійснює як обертальний, а й поступальний рух. Точки на поверхні заготовки рухаються гвинтовою лінією. Такий тип прокатки широко застосовується при виробництві безшовних труб, на прошивних станах, де із суцільної круглої заготовки одержують чорнову трубу – гільзу. Для утворення заготовки отвору правильної форми між валками 1 встановлюється оправка 2, закріплена на стрижні. Лінійки 3 служать для утримання заготівлі у валках. Такий тип прокатки застосовують також при виробництві круглих прутків та заготовок для машинобудування.

Особливим видом прокатки є так звана **періодична прокатка**. Вона характерна тим, що в процесі деформації висота проміжку між валка-



ми періодично змінюється. Це досягається шляхом надання валкам спеціальної некруглої форми (рис. 4.4).

Таким способом одержують періодичні профілі прокату, форма перерізу яких періодично змінюється по довжині смуги.

При всьому різноманітті методів прокатки та конструкцій станів їх сутністю є процес деформації металу між двома робочими валками.

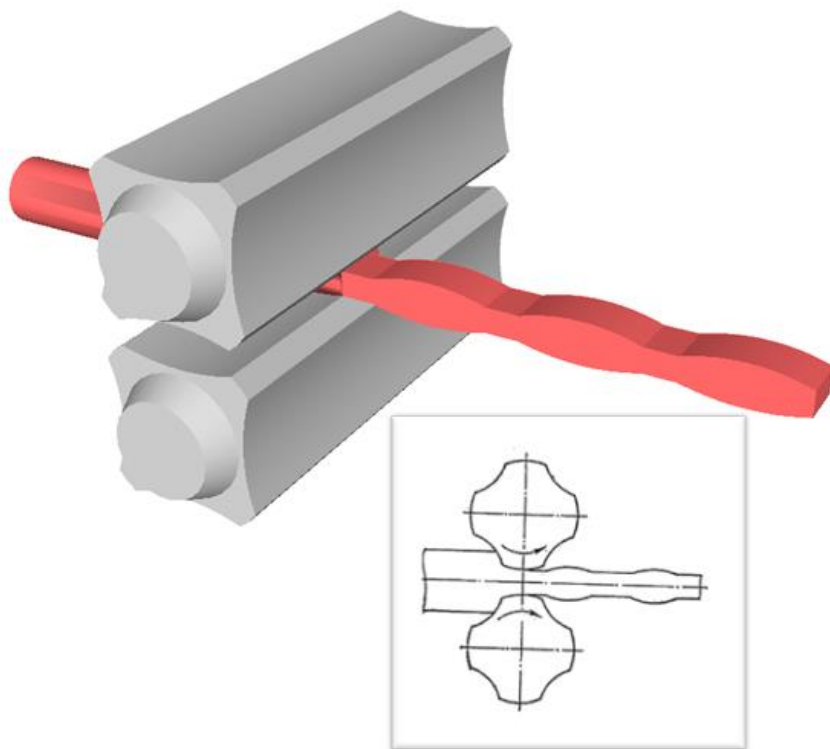
Крім того, процеси прокатки поділяються на симетричні та несиметричні.

Симетричною прокаткою називають такий процес, при якому вплив кожного з валків на тіло, що обробляється, є абсолютно однаковим, ідентичним. Якщо ця умова порушується, то прокатка є несиметричною. До таких процесів відносяться прокатка у валках нерівного діаметра з одним приводним валком при різних окружних швидкостях валків, за різних умов тертя на валках та ін.

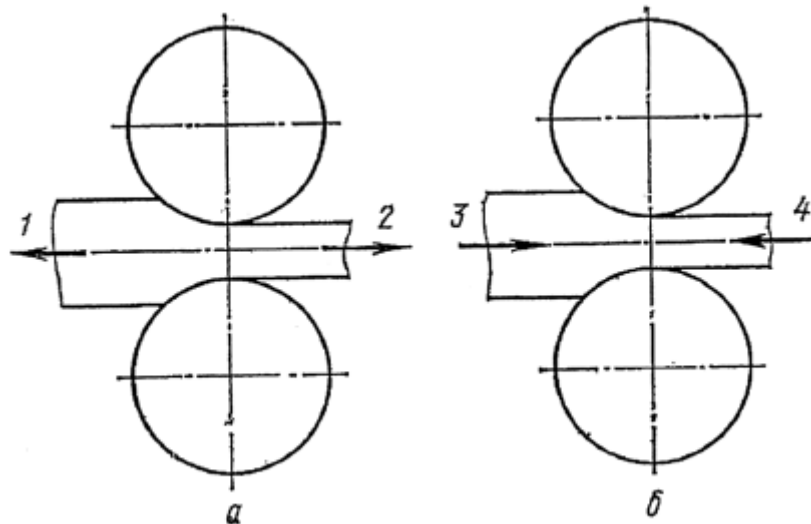
Важливою умовою процесу прокатки є наявність або відсутність зовнішніх сил, що додаються до кінців смуги. За цією ознакою розрізняють вільну та невільну прокатку.

Вільною називають прокатку, коли на смугу діють сили лише з боку валків.

Невільна прокатка здійснюється з натягом або підпором кінців смуги (рис. 4.5). Сили натягу або підпору створюються суміжними прокатними клітками, намоточно-натяжними барабанами або іншими пристроями.



*Рисунок 4.4 - Схема періодичної прокатки*



1 – заднє натяг; 2 – переднє натяг; 3 - задній підпір  
; 4 – передній підпір

Рисунок 4.5 - Схема натягу (а) та підпору (б) при прокатці

### Запитання для самоперевірки

1. Що таке прокатка?
2. За рахунок дії яких сил смуга втягується у прокатні валки?
3. Що означає термін "прокатка на гладкій бочці"?
4. Чи змінюються механічні властивості металу під час прокатки?
5. Чи зобразите схему поздовжньої прокатки?
6. Зобразіть схему поперечної прокатки. Для одержання яких виробів вона застосовується?
7. Зобразіть схему косої прокатки. У яких випадках вона застосовується?
8. Що таке періодична прокатка?
9. Наведіть приклади несиметричної прокатки.
10. Зобразіть схему прокатки із заднім та переднім натягом, із заднім та переднім підпором.

## 5 СОРТАМЕНТ ПРОКАТНИХ ВИРОБІВ

Продукція прокатного виробництва дуже різноманітна: від напівпродукту до сортового металу, листів, труб та різноманітних виробів.

До **напівпродукту** належать:

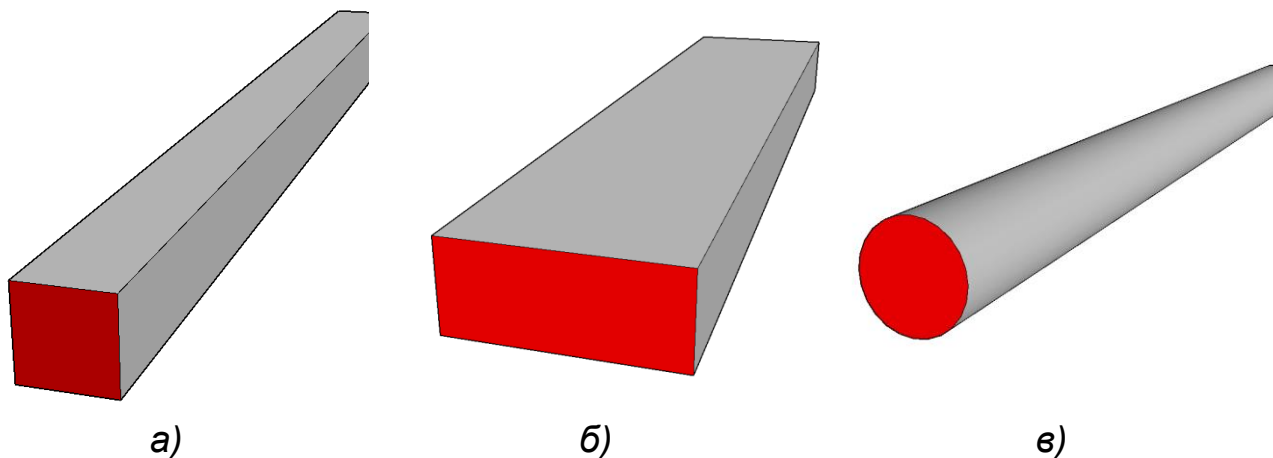
1) блюми - великі заготовки квадратного або близького до нього перерізу, що прокочуються на блюмінгах зі злитків. Вони мають розміри поперечного перерізу від 450x450 до 140x140 мм та довжину 4...6 м;

2) сляби – заготовки прямокутного перерізу, що прокочуються на слябінгах зі злитків. Сляби є вихідним матеріалом для прокатки аркушів. Розміри слябів коливаються не більше (100...250)x(300...2000); довжина їх 2...5 м. Освоєно отримання слябів на установках безперервного розливу сталі (УНРС) товщиною 150...350 мм та шириною 420...3000 мм;

3) брами – заготівля прямокутного перерізу, одержувані куванням або штампуванням зі злитків. Поперечний переріз брамів коливається не більше (300... 750) x (750...1500) мм;

4) заготовки квадратного або близького до нього перерізу, що одержуються на заготівельних станах;

5) зливки від 150x200 до 300x300 мм і більше, які одержують на УНРС.



*Рисунок – Найпоширеніші профілі заготовок*

Готову продукцію металургійних заводів складає прокат різного сортаменту та призначення, який широко застосовують у машинобудуванні, будівництві будівель, споруд, мостів, на залізничному транспорті та інших галузях. Ї

Форму поперечного перерізу прокату називають **профілем**, який за довжиною виробу може бути постійним або змінним (періодичним).



**Сукупність різних профілів та його розмірів називають сортаментом.**

Профілі класифікують:

- за формою перерізу:
  - квадрат,
  - коло,
  - двутавр,
  - швелер тощо;
- за складністю зміни перерізу:
  - простий,
  - фасонний та ін;
- за способом виготовлення:
  - гарячедеформований,
  - холоднодеформований,
  - пресований,
  - гнутий,
  - зварний,
  - катаний і т.д.;
- за точністю виготовлення:
  - звичайної точності,
  - високоточний та ін;
- за призначенням:
  - для турбінних лопаток,
  - для рейок,
  - для скріплень тощо;
- та за іншими ознаками.

Усі профілі в залежності від їх форми та призначення поділяють на чотири основні групи:

1) **сортний прокат** (рис. 5.1) поділяють на:

- простий:
  - коло,
  - квадрат,
  - овал,
  - шестикутник,
  - трикутник;
- фасонний:
  - куточок,
  - швелер,
  - двотаврова балка,
  - рейка тощо.

*Прості профілі* - у яких дотична до будь-якої точки периметра їх



поперечного перерізу цей переріз не перетинає

*Фасонні профілі* - у яких дотична хоча б до однієї точки периметра поперечного перерізу перетинає цей переріз

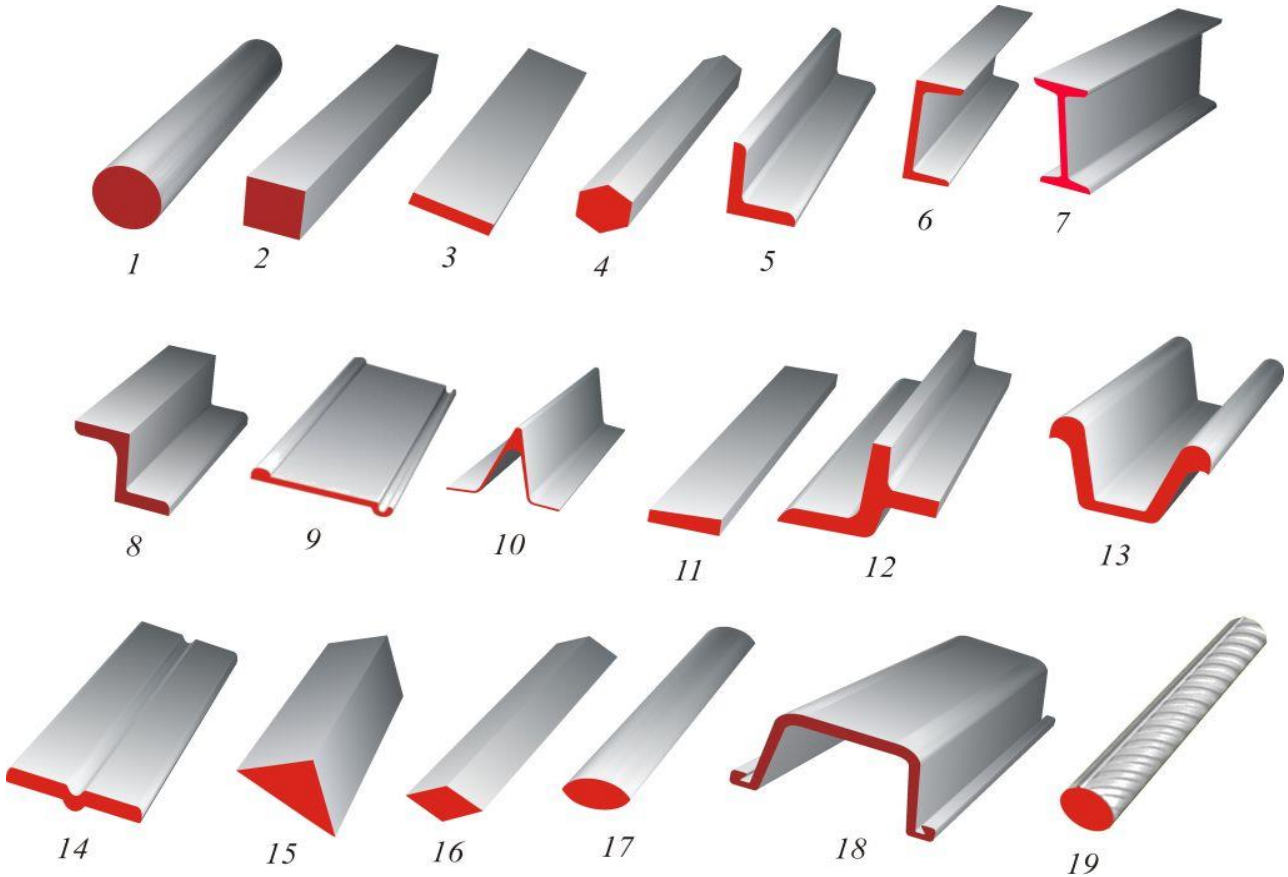
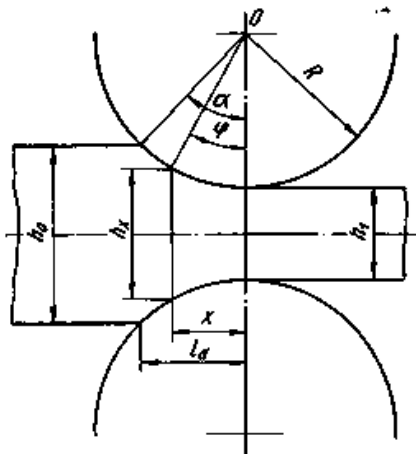


Рисунок 5.1 - Профілі сортового прокату: [(1-5) - простий; (6–12) – фасонний]: 1– квадрат із закругленими кутами; 2 – квадрат із гострими кутами; 3 – коло; 4 – смуга; 5 – шестигранник; 6 – труба; 7 – куточок; 8 – швелер; 9 – двотавр; 10 – тавр; 11 – рейка; 12 – зетова сталь

2) **листова сталь**, яка ділиться на товстолистову (товщиною 4...160 мм, шириною 600...5000 мм, плити товщиною понад 160 мм), тонколистову гарячекатану (товщиною 0,5...4 мм, шириною 600 мм). .2300 мм) та холоднокатану (товщиною 0,2...4 мм, шириною 600...2300 мм), стрічку тонше 0,2 мм та фольгу;



$l_c/h_c < 2,5 \dots 3$  – відносно товстий прокат;

$l_c/h_c \geq 2,5 \dots 3$  – відносно тонкий прокат

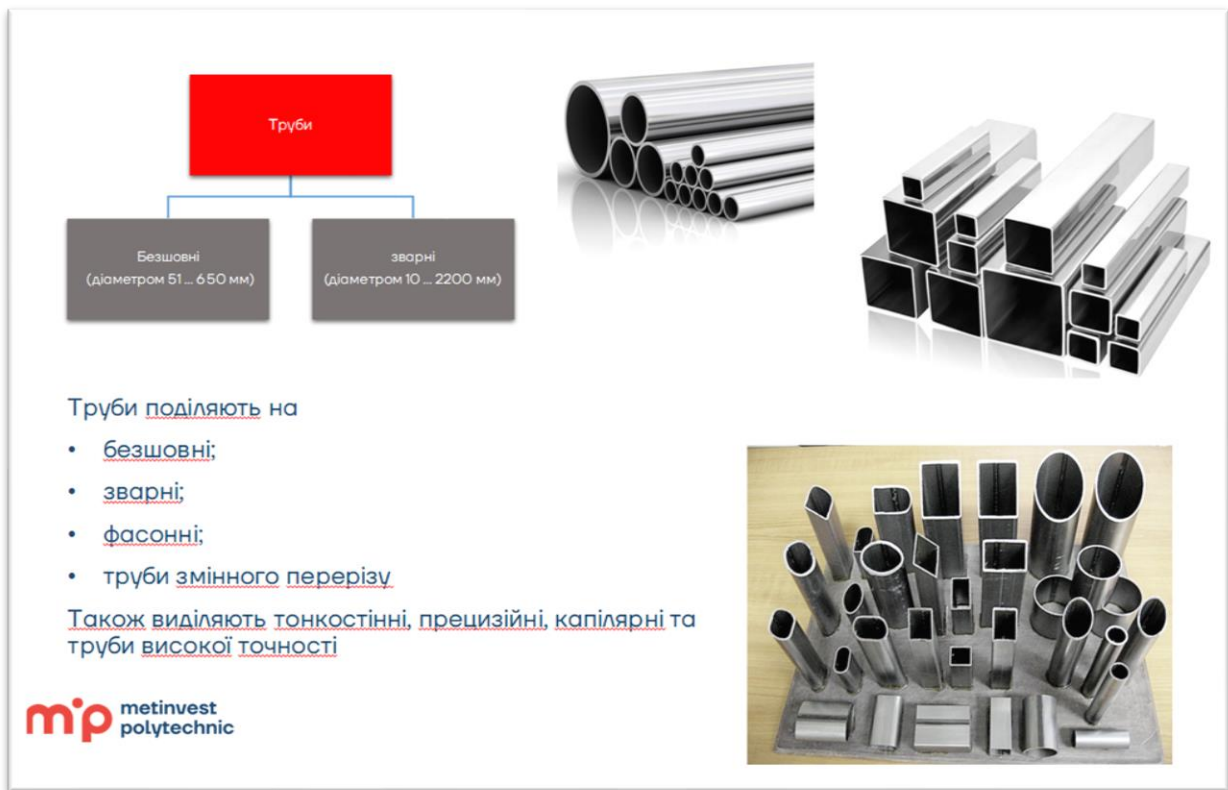
Рисунок 5.2 – Умовний поділ відносно товстий та відносно тонкий листовий прокат



Рисунок 5.3 – Діапазони товщин різних видів листового прокату

3) **труби** поділяють на:

- безшовні,
- зварені;



*Рисунок 5.4 – Види труб, що виготовляють прокаткою*

4) до **спеціальних профілів** відносяться:

- бандажі,
- колеса,
- кулі,
- періодичні профілі,
- зубчасті колеса
- та багато іншого.

У загальному обсязі прокатної продукції найбільшу частку (близько 50%) складає сортова сталь, близько 37% листи та 12% труби, решта – спеціальні профілі. Частка листової сталі та труб зростає за рахунок скорочення сортового прокату, що пов'язано з розширенням області застосування листів та труб як економічні конструкційні матеріали.



## **Запитання для самоперевірки**

1. Назвіть продукцію прокатного виробництва і як вона поділяється?
2. Що називають профілем та сортаментом?
3. За якими ознаками класифікуються профілі?
4. На які групи поділяються профілі та за яким принципом?



## ЛІТЕРАТУРА

1. Ginzburg V. B. Metallurgical Design of Flat Rolled Steels. CRC Press. 2019. 726 p.
2. Mazur V. L., Nogovitsyn O. V. Theory and Technology of Sheet Rolling. Numerical Analysis and Applications. CRC Press. 2020. 494 p.
3. Gupta N. K. Steel Rolling: Principle, Process & Application. CRC Press. 2021. 526 p.
4. Бережна О. В., Малигіна С. В., Грибков Е. П. Системи автоматизованого проектування : навч. посіб. Краматорськ : ДДМА, 2020. 96 с.
5. Кулік Т. О. Виробництво листового металопрокату з використанням режимів теплового деформування. Перспективи розвитку, розширення сфери використання та удосконалення технологій і обладнання : монографія. Краматорськ : ДДМА, 2020. 180 с.
6. Сучасні аспекти проектування станів холодної прокатки : методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Сучасні техніко-технологічні аспекти прокатного виробництва» (для студентів спеціальності 136 Металургія усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти) : Практична робота 1 Загальна характеристика безперервних процесів обробки металів тиском / уклад. Т. О. Кулік. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». 2023. 36 с. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/572>.



*Навчально-методичне видання*

**Кулік Тетяна Олександрівна**  
**Кулік Олександр Миколайович**

**СУЧАСНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ  
ПРОКАТНИХ СТАНІВ**  
методичні вказівки до самостійної  
роботи над темою:  
**«ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОКАТКУ»**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції