

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ДИСЦИПЛІНИ “ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З РОЗДІЛУ
“ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ,
ЧАСТИНА І (ОТРИМАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПРОФІЛІВ)”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол №13 від 16.06.11

Дніпропетровськ УДХТУ 2013

Методичні вказівки з дисципліни “ Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Обробка матеріалів тиском, частина I (отримання машинобудівних профілів)” для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання / Укл.: Трофименко В.В., Клименко О.П., Овчаренко В.І. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2012. – 24 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
О.П. Клименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання
Методичні вказівки
з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство”
до виконання лабораторного практикуму
з розділу “Обробка матеріалів тиском,
частина I (отримання машинобудівних профілів)”
для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО Віталій Васильович
КЛИМЕНКО Олександр Павлович
ОВЧАРЕНКО Володимир Іванович

Авторська редакція

Підписано до друку 01.02.13. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов.-друк. арк. 1,09. Облік.-вид. арк. 1,14. Тираж 80 прим. Замовлення №158.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Обробка матеріалів тиском (ОМТ) – це комплекс технологій, за допомогою яких отримують заготовки (а іноді й деталі) завдяки здібності багатьох матеріалів до пластичної деформації під впливом зовнішній сил без порушення його цілісності, яке супроводжується зміною структури та механічних властивостей матеріалу.

При ОМТ виготовлення заготовок та деталей досягається пластичним переміщенням часток металу. У цьому основана відмінність і перевага обробки тиском порівняно з обробкою різанням, при якій форма виробів досягається вилученням частини заготовки. Завдяки цьому ОМТ відзначається малими відходами матеріалу. Разом з тим вона є високопродуктивним процесом, оскільки зміна розмірів та форми заготовок досягається одноразовим прикладанням зовнішнього зусилля. Ці особливості зумовлюють зростання ролі ОМТ у машинобудуванні. Такій обробці піддається близько 90% сталі і більше 50% кольорових металів.

До основних видів обробки матеріалів тиском належать прокатка, пресування, волочіння, кування, об'ємне і листове штампування.

Прокаткою називають обтискання металу обертовими валками прокатного стану (рис. 1, а). При цьому отримують вироби з однаковою по довжині формою поперечного перерізу (прутки, дріт, балки, рейки, листи, труби) або з формою, що періодично змінюється по довжині (додаток А).

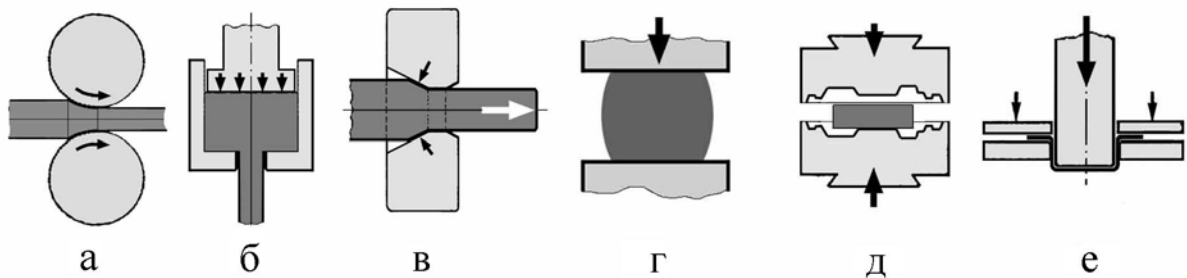


Рис. 1. Схеми основних видів обробки тиском:

а - прокатка; б - пресування; в - волочіння; г - вільне кування;
д - об'ємне штампування; е - листове штампування

Пресування полягає у витисканні нагрітого металу із замкненої порожнини (контейнера) крізь отвір у матриці (рис. 1, б). Форма та розміри поперечного перерізу пресованих виробів відповідають конфігурації та розмірам цього отвору (додаток Б).

Волочінням називають протягання заготовки крізь отвір (очко) у волочильній матриці – волоці (рис. 1, в). Волочінням отримують тонкі сорти дроту, калібровані прутки, тонкостінні труби (додаток В).

Вільне кування – процес деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса (рис. 1, г). Зміна форми та розмірів заготовки досягається послідовною дією бойків чи інструмента на різні ділянки заготовки.

Об'ємне штампування полягає в одночасному деформуванні всієї

заготовки в спеціальному інструменті - штампі на молотах, пресах або горизонтально-кувальних машинах (рис. 1, д). Форма та розміри внутрішньої порожнини штампа визначають конфігурацію і розміри поковок. Це процес серійного і масового виробництва поковок.

Листове штампування призначене для виготовлення плоских та об'ємних порожнистих деталей з листа або стрічки за допомогою штампів на холодноштампувальних пресах (рис. 1, е).

За призначенням процеси ОМТ групують наступним чином:

- для *отримання машинобудівних профілів* (прутків, таврів, кутників, швелерів, дроту, реєк, стрічок, листів, труб та ін.), які застосовуються у будівних конструкціях та заготовках для виготовлення деталей – **прокатка, пресування, волочіння**.
- для *отримання машинобудівних заготовок*, маючих форми та розміри, які вимагають механічну обробку для надання їм остаточних розмірів та заданої якості поверхні – **кування та штампування**.

ОТРИМАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПРОФІЛІВ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОКАТУВАННЯ

Мета роботи: вивчити процес поздовжнього прокатування; ознайомитися з методикою визначення параметрів пластичної деформації при поздовжній прокатці свинцевих зразків; закріпити набуті знання, виконавши перевірку умов незмінності об'єму матеріалу до і після деформації.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Теоретичні положення обробки тиском становлять основу раціональної побудови всіх технологічних процесів обробки металів тиском. Вони дають можливість обґрунтувати визначення умов деформації, які б забезпечили раціональний вибір і розрахунок заготовок, найвищу пластичність і обробку з найменшими зусиллями і витратами енергії.

1. ОСНОВНІ ЗАКОНИ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Ці закони є основою теорії обробки тиском:

- *закон незмінності об'єму металу до і після деформації* на основі якого роблять розрахунки заготовок, а також розрахунки переходів формоутворення при різних операціях обробки тиском;

- *закон подібності*, який стверджує, що при пластичному деформуванні в однакових умовах геометрично подібних тіл з однакового матеріалу відношення зусиль деформування дорівнює квадрату, а відношення витрачених робіт – кубу відношень відповідних лінійних розмірів. Цей принцип забезпечує

можливість моделювання процесів обробки тиском;

- *закон найменшого опору*, за яким кожна з точок деформованого тіла, що може переміщуватися в різних напрямках, переміщується в напрямі найменшого опору. Використання цього закону дає можливість для раціонального вибору форми перерізу заготовок для конкретних умов обробки.

Слід враховувати, що в реальних умовах деформування через вплив певних факторів (зокрема, контактної тертя між інструментом і заготовкою) може бути деяке відхилення від наведених вище закономірностей пластичного деформування.

2. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПЛАСТИЧНІСТЬ МЕТАЛУ

На пластичність металу впливають: температура, хімічний склад, структура, швидкість деформування та напружений стан.

Температура – найвпливовіший фактор, бо зі зміною температури змінюється фазовий склад, величина зерен, механізми пластичного деформування. Як правило, з підвищенням температури пластичність металу збільшується, а опір деформуванню зменшується. Проте для вуглецевих сталей в межах температур 100...300°C і температур фазових перетворень 727...900°C пластичність зменшується внаслідок виділення дрібних карбідів під час деформування в площинах ковзання і внаслідок появи нових фаз. Подальше істотне збільшення температури різко зменшує пластичність спочатку через надмірний ріст зерен (явище перегріву), а відтак у зв'язку з оксидацією границь зерен (явище перепалу).

Хімічний склад і структура матеріалу. Найбільшу пластичність мають чисті метали, а меншу - їх сплави. Звичайно однофазові сплави зі структурою твердих розчинів пластичніші, ніж багатофазові, а тверді розчини пластичніші від хімічних сполук. Наприклад, відомо, що з підвищенням вмісту вуглецю в сталях збільшується масова частка дуже твердої фази - цементиту, внаслідок чого пластичність сталі поступово зменшується. Вуглецеві сталі, що містять понад 1,5% вуглецю, практично не обробляються тиском. Знижує пластичність вуглецевих сталей кремній і незначною мірою марганець. Більшість легувальних елементів, за винятком нікелю й ванадію, зменшують пластичність сталей. Істотно впливають на їх пластичність шкідливі домішки (сірка, фосфор, свинець), тверді неметалеві вкраплення й гази (кисень, водень, азот). Сталям з підвищеним змістом сірки властива *червоноламкість*, тобто схильність до крихкого руйнування під час гарячого деформування. Фосфор під час холодного деформування при низьких температурах спричиняє крихке руйнування (явище *холодноламкості*). Кисень утворює оксиди Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO , азот – нітриди Fe_2N і Fe_4N , а водень призводить до виникнення *флокенів*. Оксиди, нітриди й флокени знижують пластичність сталей.

З підвищенням *швидкості деформування* під час гарячої обробки тиском пластичність зменшується через відставання знеміцнення від зміцнення. Швидкість деформування - це зміна величини деформації за одиницю часу.

Вплив швидкості деформування на пластичність доцільно розглядати

разом з впливом температури.

Напружений стан у малому об'ємі заготовки визначають головні напруження, що діють у трьох взаємно перпендикулярних напрямках на гранях елементарного куба, на яких немає дотичних напружень. Метал стає пластичнішим зі збільшенням напружень стиску й зменшенням напружень розтягу.

3. ХОЛОДНА ТА ГАРЯЧА ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Зміцнення та рекристалізація металів. При деформації металів підвищується щільність дефектів кристалічної будови та зростає опір їх переміщенню. З підвищенням ступеня деформації границі міцності й текучості, а також твердість зростають, а пластичність і в'язкість зменшуються, зростають залишкові напруження. Зміцнення металів при пластичній деформації називається *наклепом*. Унаслідок зміцнення пластичні властивості металів можуть погіршитися настільки, що подальша деформація спричинить руйнування.

При зміцненні метал переходить до термодинамічно несталого стану з підвищеним рівнем внутрішньої енергії, тому він намагається самочинно перейти до більш сталого стану. При нагріванні зміцненого металу до температури, що становить 0,2...0,3 від температури плавлення $T_{пл}$ (поверненні), частково зменшуються спотворення кристалічної решітки та внутрішні напруження без істотної зміни мікроструктури та властивостей деформованого металу.

При нагріванні деформованих металів вище ніж $0,4 \cdot T_{пл}$ утворюються нові рівноважні зерна, і властивості металу відновлюються до їхніх вихідних значень перед деформацією. Процес утворення нових центрів кристалізації та нових рівноважних зерен у деформованому металі, що супроводжується зменшенням міцності, зростанням пластичності та відновленням інших властивостей, називається *рекристалізацією*. Найменша температура, при якій починаються рекристалізація та знеміцнювання металу, є температурою рекристалізації. Розмір зерна після рекристалізації залежить від ступеня та швидкості деформації, а також від температури та тривалості нагрівання.

Холодне та гаряче деформування. Залежно від температурно-швидкісних умов при деформуванні можуть відбуватися два протилежних процеси: зміцнення, спричинене деформацією, та знеміцнення, зумовлене рекристалізацією. Відповідно розрізняють холодне та гаряче деформування. *Холодне деформування* відбувається при температурах, нижчих від температури рекристалізації, і супроводжується зміцненням металу. *Гаряче деформування* проходить при температурах, вищих від температури рекристалізації. При гарячому деформуванні відбувається також зміцнення металу (гарячий наклеп), але воно повністю знімається в процесі рекристалізації. Під час рекристалізації пластичність металу вища, а опір деформуванню приблизно в 10 разів менший, ніж при холодному деформуванні. Деформування, після якого відбувається тільки часткове знеміцнювання, називається *неповним гарячим деформуванням*.

4. ВПЛИВ ОБРОБКИ ТИСКОМ НА СТРУКТУРУ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Зміна структури литого металу при деформуванні. Структура зливок, що є вихідними заготовками при обробці тиском, неоднорідна. Основу її складають зерна первинної кристалізації (дендрити) різних розмірів та форми, на границях яких накопичуються домішки та неметалеві включення. В будові зливка є також пори, газові раковини. Високий ступінь деформації при підвищеній температурі приводить до подрібнення зерен, а також до часткового заварювання пор.

Волокнистість. Зерна та міжкристалічні прошарки з підвищеним вмістом неметалевих включень витягуються у напрямі найбільших розтягувальних деформацій. У результаті структура металу набуває волокнистої (смугастої) будови. Волокнистість впливає на механічні властивості, спричинює їх анізотропію. В поперечному напрямі ударна в'язкість на 50...70%, відносно звуження – на 40%, відносно видовження – на 20% менше, ніж уздовж волокон. Наявність смугастої мікробудови та анізотропії властивостей у деформованому металі потрібно враховувати при проектуванні та виготовленні деталей. Треба намагатись отримати в них таке розташування волокон, щоб найбільші розтягувальні напруження діяли вздовж, а перерізні зусилля – поперек волокон, щоб вони не перерізувалися при обробці різанням. Бажано, щоб біля поверхні деталі волокна відповідали її обрису. Якщо потрібно підвищити пластичність металу в поперечному напрямі, то слід зробити обтискування заготовки вздовж волокон, тобто змінити механічну схему деформації. Найбільш рівномірна волокнистість досягається при схемі головних деформацій з розтягувальною деформацією в одному напрямі і з двома стискальними деформаціями.

5. СУТЬ ПРОЦЕСУ ПРОКАТУВАННЯ

5.1. ОСНОВНІ ВИДИ ПРОКАТУВАННЯ

Основні види прокатування. Розрізняють такі основні види прокатування: поздовжнє, поперечне, поперечне гвинтове.

При *поздовжньому прокатуванні* (рис. 2, а) заготовка переміщується перпендикулярно до осей валків, які обертаються в протилежних напрямках. До 90% всього прокату виготовляють поздовжнім прокатуванням (листи, стрічки, прутки).

При *поперечному прокатуванні* (рис. 2, б) валки, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, обертають заготовку, яка деформується при примусовому переміщенні вздовж валків.

Поперечне гвинтове прокатування (рис. 2, в) здійснюється при обертанні в одному напрямі валків, розміщених під кутом один до одного. Таке розташування валків забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовка переміщується вздовж осей валків.

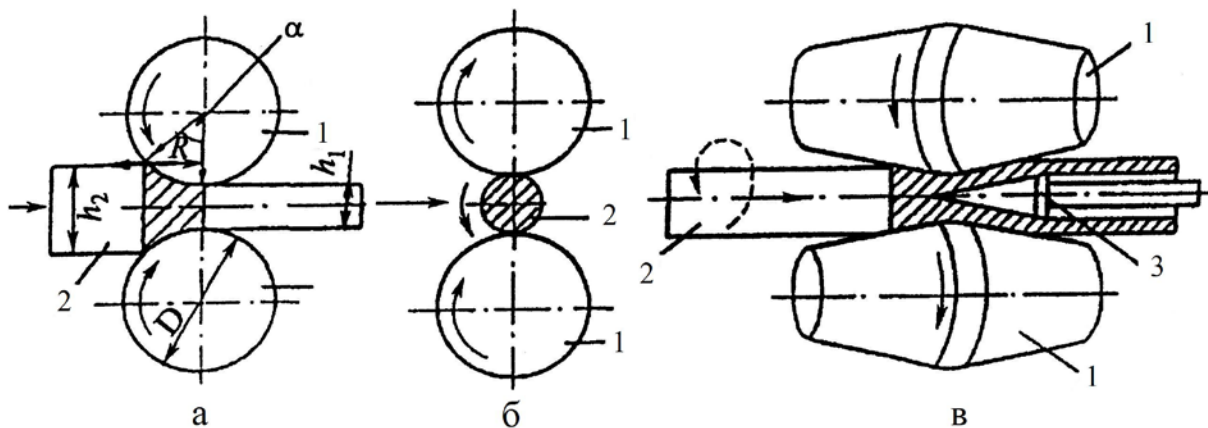


Рис. 2. Основні схеми прокатування:

а - повздовжнє; б - поперечне; в - поперечне гвинтове;

1 - валки; 2 - заготовка; 3 - дорн (голка)

Поперечне та гвинтове поперечне прокатування застосовують при виготовленні виробів із змінним по довжині перерізом. Принцип гвинтового поперечного прокатування використовують також при прошиванні трубних заготовок.

5.2. СОРТАМЕНТ ПРОКАТУ

Сортамент прокату визначається сукупністю профілів та розмірів прокатоного металу. *Профілем* прокатоного виробу називають форму його поперечного перерізу.

За сортаментом продукцію прокатного виробництва поділяють на такі групи: сортовий прокат, листовий прокат, труби, спеціальний та періодичний прокат. Профілі *сортвої* сталі можуть бути загального призначення – кругла, квадратна, кутова, стрічкова сталь, швелери, двотаврові балки та ін. (рис. 3, а) та спеціального призначення - рейки, профілі для автотракторобудування, суднобудування, транспортного машинобудування та інших галузей промисловості (рис. 3, б).

Листову сталь поділяють а тонколистову (завтовшки менше ніж 4 мм) і товстолистову. Деякі види листової сталі призначені для окремих галузей промисловості, серед них розрізняють сталь котлову, автотракторну, електротехнічну тощо.

Труби поділяють на дві групи: безшовні та зварні. Крім того, випускають труби фасонні та змінного перерізу.

До *спеціальних* видів прокату належать залізничні колеса (рис. 3, в), шестерні, кулі, підшипникові кільця, періодичний прокат (рис. 3, г), а також гнутий профіль (рис. 3, д).

До прогресивних видів прокату, що забезпечують зменшення матеріаломісткості металоконструкцій, належить прокат з низьколегованих сталей та термічно зміцнений, холоднокатаний лист, фасонні та високоточні профілі із зменшеними та мінусовими допусками.

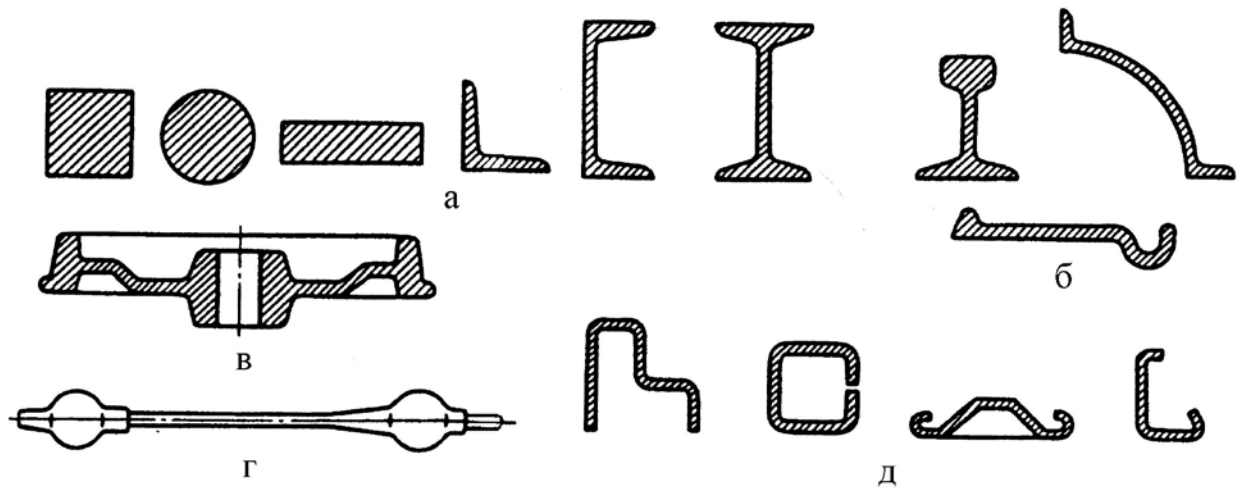


Рис. 3. Основні профілі прокату:
 а - профілі сортового; б - профілі спеціального призначення;
 в - залізничні колеса; г - періодичний прокат; д - гнутий профіль

Заготовки для сортового прокату – це **блюми** (перерізом від 150х150 до 450х450 мм), а для листового прокату – **сляби** (товсті плити завтовшки до 350 мм).

5.3. СУТЬ ПРОЦЕСУ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОКАТУВАННЯ

Поздовжнє прокатування є одним з найпоширеніших видів прокатування, під час якого заготовка деформується між двома валками, що обертаються в різних напрямках, і рухається перпендикулярно до осей валків (рис. 4).

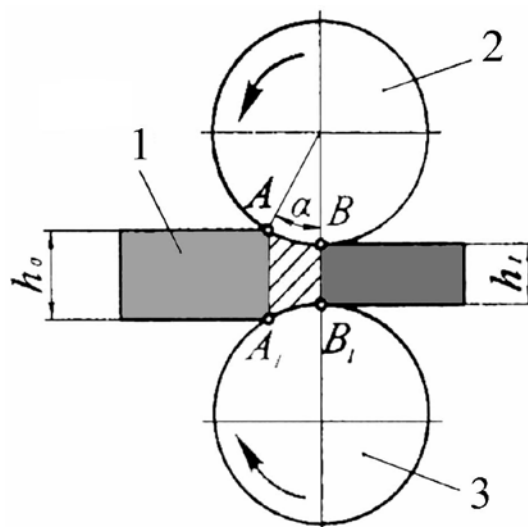


Рис. 4. Схема поздовжнього прокатування металу:
 1 - заготовка; 2, 3 - валки;
 h_0 - початкова і h_1 - кінцева висота заготовки;
 α - кут захвату; ABB_1A_1 - зона деформування

Метал деформується валками на невеликій ділянці - *зоні деформування*,

яка перебуває між площинами AA_1 і BB_1 , валками та бічними гранями заготовки. Центральний кут α , що відповідає дузі контакту АВ валка з заготовкою, називається *кутом захвату*. Фронт заштрихованої на рис. 4 зони деформування поступово переміщується вздовж заготовки справа наліво, внаслідок чого зменшується її висота від h_0 до h_k , збільшується довжина від l_0 до l_k і дещо зростає ширина від b_0 до b_k . Оскільки об'єм металу до і після прокатування не змінюється, то $b_0 \cdot h_0 \cdot l_0 = b_k \cdot h_k \cdot l_k$, звідси (1):

$$\frac{l_k}{l_0} = \frac{b_0 \cdot h_0}{b_k \cdot h_k} = \frac{S_0}{S_k}, \quad (1)$$

де S_0 - площа поперечного перерізу заготовки до прокатування;

S_k - площа поперечного перерізу заготовки після прокатування.

Ступень пластичної деформації під час прокатування можна виразити величинами коефіцієнта видовження або відносним стисненням.

Коефіцієнтом витягання μ називається відношення отриманої довжини заготовки після прокатування l_k до її початкової довжини l_0 (2):

$$\mu = \frac{l_k}{l_0} = \frac{S_0}{S_k} \quad (2)$$

Коефіцієнт видовження показує, у скільки разів збільшується довжина заготовки або зменшується площа поперечного перерізу за одноразове її пропускання між валками. Його величина змінюється від 1,1 до 2,5 залежно від природи матеріалу, його температури, товщини та інших факторів.

Відносним обтиском ε називають відносне зменшення висоти заготовки за одне пропускання між валками (3):

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_k}{h_0} \cdot 100\% \quad (3)$$

Максимальне значення ε для різних типів рекомендується витримувати в межах від 20 до 50%.

Щоб розпочати прокатування, необхідно створити умови для втягування заготовки в міжвалковий проміжок силами тертя. У початковий момент до заготовки з боку валка в точках А і A_1 (рис. 5) прикладено дві сили: нормальна до поверхні валка сила N і дотична сила тертя T . Визначимо горизонтальні складові цих сил (4), (5):

$$T_x = T \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

$$N_x = N \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

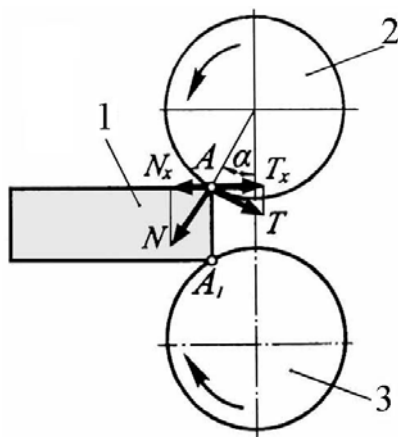


Рис. 5. Схема дії сил у момент захоплювання заготовки:
1 - заготовка; 2, 3 - валки; N_x - горизонтальна складова сили N ;
 T_x - горизонтальна складова сили T ; α - кут захвату.

Умова захвату заготовки валками така (6):

$$T_x > N_x, \quad (6)$$

або (7):

$$T \cdot \cos \alpha > N \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

Виразимо (8) силу тертя T через нормальну силу N і коефіцієнт тертя f як:

$$T = N \cdot f \quad (8)$$

і підставимо (8) у формулу (7):

$$N \cdot f \cdot \cos \alpha > N \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

тоді (10):

$$f > \tan \alpha \quad (10)$$

Звідси бачимо, що зі збільшенням коефіцієнту тертя f і зменшенням кута α зростає надійність захвату заготовки валками. Коефіцієнт тертя збільшується з ростом мікронерівностей поверхонь тертя; він залежить також від швидкості прокатування і температури. Кут α можна зменшити, зменшуючи $(h_0 - h_1)$ або збільшуючи діаметр валка. Під час гарячого прокатування гладкими валками кут $\alpha = 15 \dots 24^\circ$, а під час холодного – $\alpha = 3 \dots 8^\circ$

6. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Лабораторний прокатний стан (з діаметром валків 40 мм і довжиною діжки валків 100 мм) (рис. 6), кліщі, свинцеві зразки розміром 5*10*50 мм, штангенциркуль, лінійка.

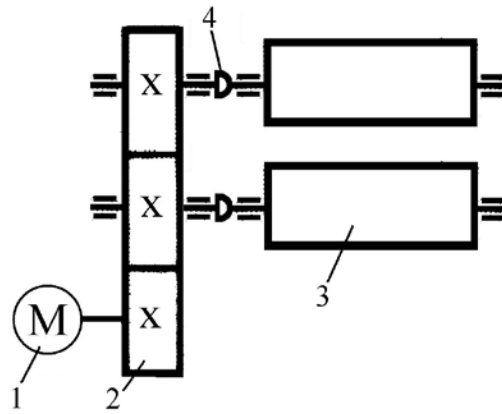


Рис. 6. Схема лабораторного прокатного стану:
1 - електродвигун; 2 - редуктор; 3 - валки; 4 - шарніри

7. ДЕФОРМАЦІЇ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОКАТУВАННЯ

При поздовжньому прокатуванні зазор між валками встановлюється менший за товщину заготовки. Поздовжня прокатка викликає у заготовки зменшення товщини h , збільшення довжини l і ширини b . Зміну початкових розмірів заготовки прийнято позначати через коефіцієнти деформації (11), (12) та (13):

$$\text{обтиснення} \quad \gamma = h_0/h_k, \quad (11)$$

$$\text{розширення} \quad \beta = b_k/b_0, \quad (12)$$

$$\text{витягання} \quad \mu = l_k/l_0 \quad (13)$$

Коефіцієнти деформації пов'язані між собою законом постійності об'єму металу при пластичній деформації. Із рівняння $b_0 \cdot h_0 \cdot l_0 = b_k \cdot h_k \cdot l_k$ випливає, що коефіцієнт обтиснення пропорційний коефіцієнтам витягання і розширення (14):

$$\gamma = h_0/h_k = b_k \cdot l_k / b_0 \cdot l_0 = \beta \cdot \mu; \quad (14)$$

коефіцієнт розширення пропорційний коефіцієнту обтиснення і зворотно пропорційний витягання (15):

$$\beta = b_k/b_0 = h_0 \cdot l_0 / h_k \cdot l_k = \gamma / \mu; \quad (15)$$

коефіцієнт витягання пропорційний коефіцієнту обтиснення і зворотно пропорційний коефіцієнту уширення і показує, у скільки разів зменшується переріз заготовки після її проходження через валки прокатного стану (16):

$$\mu = l_k/l_0 = h_0 \cdot b_0 / h_k \cdot b_k = \gamma / \beta \quad (16)$$

Для одержання максимального витягання прокатки треба проводити з великими обтисненнями і максимально обмежити розширення заготовок, яке реалізується прокатуванням металу в калібрах. При цьому μ складає 1,1-2 в

залежності від матеріалу, температури і швидкості прокатки.

В прокатці також використовуються відносні коефіцієнти деформації (17), (18) та (19):

$$\text{відносне обтиснення} \quad \varepsilon = (h_0 - h_k)/h_0, \quad (17)$$

$$\text{відносне розширення} \quad \delta = (b_k - b_0)/b_0, \quad (18)$$

$$\text{відносна витяжка} \quad \nu = (l_k - l_0)/l_0 \quad (19)$$

8. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитися з будовою, принципом роботи і правилами експлуатації лабораторного прокатного стану.

2. Визначити основні характеристики прокатного стану, тип стану, напрям обертання валків (нереверсійне, реверсійне), діаметр валків, довжина бочки валків, діаметр шийки валка, матеріал валків.

3. Визначити основні параметри свинцевих зразків перед прокатуванням ($h_0 b_0 l_0$).

4. Прокатати зразки один раз і встановити розміри прокатаних зразків.

5. Повторити прокатку зразків декілька разів, послідовно збільшуючи обтиснення і вимірюючи після кожного проходу розміри зразків.

6. Розрахувати коефіцієнти деформації при повздовжньому прокатуванні для кожного проходу.

7. Визначити кінцеві показники деформації, одержані в результаті декількох проходів, маючи на увазі, що заготовка одержала кінцеву деформацію ніби за один прохід.

8. Дослідні дані занести в таблицю 1.

Таблиця 1

Геометричні розміри зразка і результати розрахунків коефіцієнтів деформації

Параметри	Кількість проходів					Кінцеві показники деформації
	0	1	2	3	4	
h_i , мм						
b_i , мм						
l_i , мм						
$\Delta h_i = h_{i-1} - h_i$						
$\gamma_i = h_{i-1}/h_i$						
$\varepsilon = \Delta h_i/h_{i-1}$						
$\Delta b_i = b_i - b_{i-1}$						
$\beta_i = b_i/b_{i-1}$						
$\delta = \Delta b_i/b_{i-1}$						
$\Delta l_i = l_i - l_{i-1}$						
$\mu_i = l_i/l_{i-1}$						
$\nu_i = \Delta l_i/l_{i-1}$						

9. Для проведених експериментів навести відносну похибку вимірювань.

9. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи.
3. Стисло описати суть і особливості ОМТ.
4. Перелічити основні закони пластичного деформування.
5. Стисло описати суть поздовжнього прокатування, умови захвату заготовки валками та основні види прокатування.
6. Для проведених експериментів навести розрахунки параметрів деформації, одержаних за формулами 11-19.
7. Отримані дані занести в таблицю 1.
8. Зробити висновок про характер деформації при поздовжньому прокатуванні.

10. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які зміни відбуваються у структурі металу при пластичній деформації?
2. Назвати і охарактеризувати фактори, що впливають на пластичність металу при обробці його тиском.
3. Назвати складові деформації при обробці металу тиском.
4. Причини утворення наклепу.
5. Що являє собою явище рекристалізації і його використання при обробці металу тиском?
6. Різновиди основних видів прокатки.
7. Який інструмент застосовують при поздовжньому прокатуванні?
8. Основні способи обробки металів тиском.
9. Як формулюються умови захвату заготовки валками при прокатуванні?
10. Яким видам деформації підлягає заготовка при поздовжньому прокатуванні?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія конструкційних матеріалів. Практикум: Навч. посібник / В.М. Плескач, І.П. Волчок. - Запоріжжя: Дике Поле, 2007. - 168 с.
2. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др. - 5-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 2004. - 512 с.
3. Куприн М.Н., Куприна М.С. Основы теории прокатки. М.: Металлургия, 1978. - 184с.
4. Материаловедение и технология металлов: Учебник для студентов машиностроит. спец. Вузов /Г.П.Фетисов, М.Г.Карпман, В.М.Матюнин и др. - М.:Выш. шк, 2000. - 638с.
5. Технологія конструкційних матеріалів. Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. - К.: Вища школа, 2002. - 374с.

ДОДАТОК А

ПРОКАТНІ ВАЛКИ ТА СТАНИ

Валки є інструментом для прокатування, їх виготовляють з чавуну або сталі. Валки поділяють на гладкі, калібровані та спеціальні.

Гладкі валки (рис. 7, а) призначені для прокатування листів, стрічок або широких заготовок.

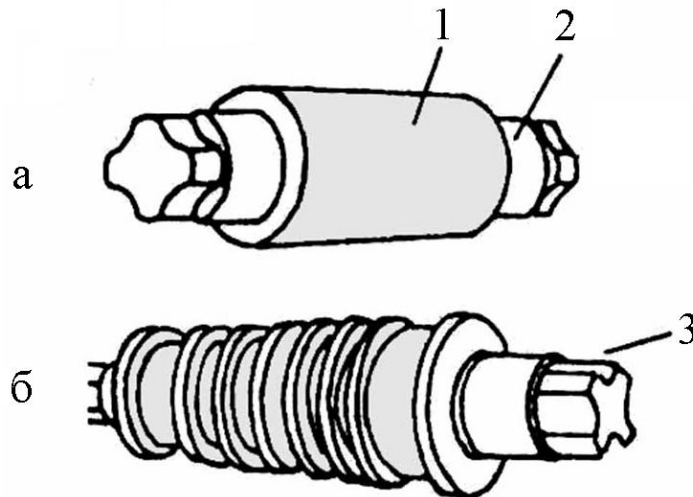


Рис. 7. Види валків для прокатування:
гладкий (а) і калібрований (б);
1 - бочка; 2 - шийка; 3 - тріф

Елементами валка є робоча частина – бочка 1, дві шийки 2 і два тріфи 3. Шийки використовують як опори для підшипників ковзання або кочення. Тріфи мають переважно хрестоподібну форму і служать для з'єднання валка з муфтою або шпинделем.

Калібровані валки (рис. 7, б) використовують для прокатування сортового металу. На бочці валків виточені кільцеві заглибини спеціального профілю – рівчаки. Контур, утворений сукупністю двох рівчаків пари валків, називають калібром. Контур калібру геометрично подібний до поперечного перерізу вальцьованого металу, що виходить з калібру. Пара валків здебільше має декілька калібрів. Щоб перейти від заготовки до кінцевої форми прокату, необхідно послідовно пропустити заготовку через низку спеціально підібраних калібрів, які поступово змінюють форму її поперечного перерізу від квадрата або прямокутника до форми готового прокату.

На рис. 8 показано, як заготовка (а) прямокутного перерізу внаслідок прокатування між каліброваними валками поступово перетворюється (б - и) у двотаврову балку (и).

Спеціальні валки застосовують, наприклад, для прокатування труб. Виготовлення труб тут не розглядається.

Прокатний стан, на якому деформують метал, складається з однієї або кількох робочих клітей А (рис. 9), шестеренної кліті Б, редуктора В і електродвигуна Д.

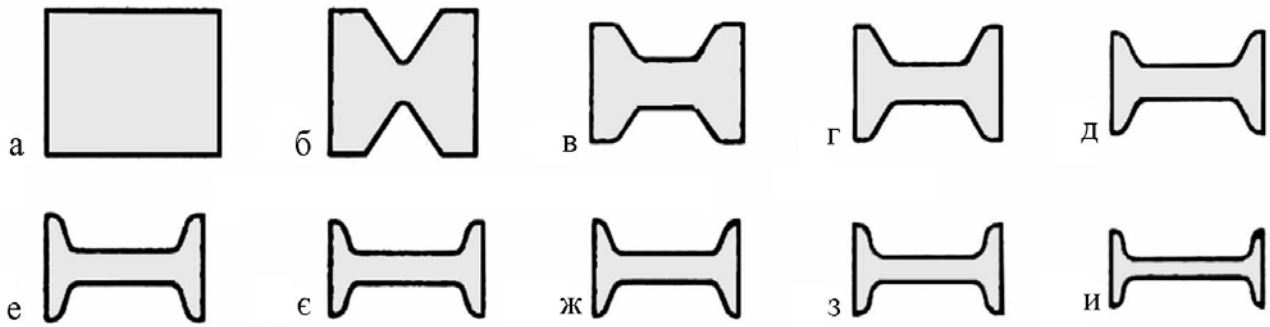


Рис. 8. Заготовка (а) і проміжні профілі (б - и) при прокатуванні двотаврової балки

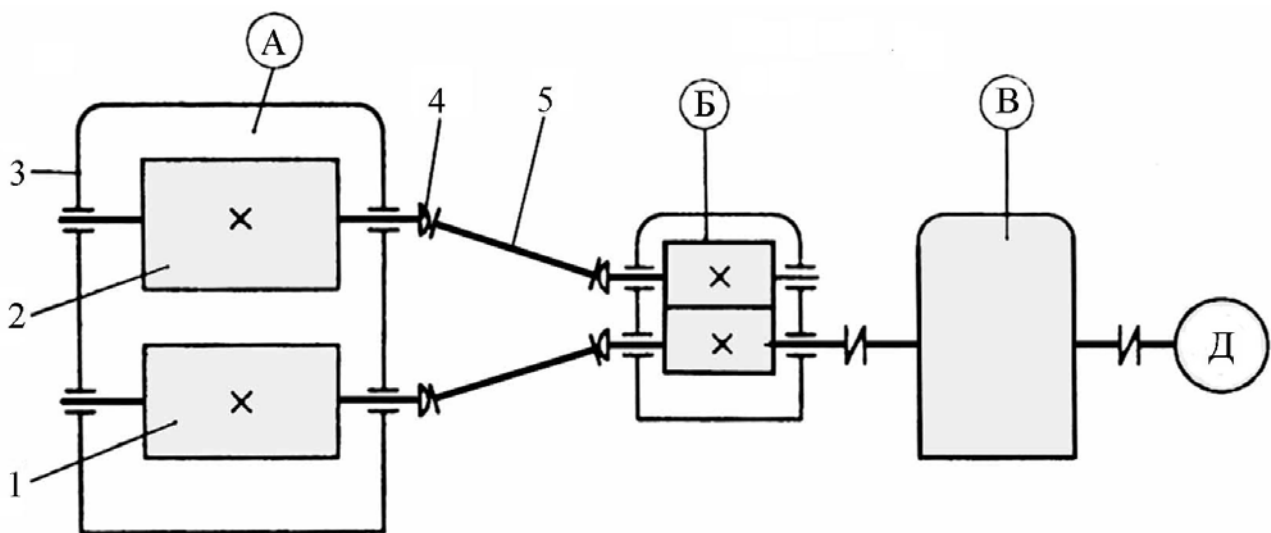


Рис. 9. Схема будови прокатного стану:

А - робоча кліть; Б - шестеренна кліть; В - редуктор; Д - електродвигун;
1, 2 - валок; 3 - станина; 4 - трєфова муфта; 5 - трєфовий шпиндель

Робоча кліть має станину 3, валки 1, 2 з підшипниками та механізм для зміни відстані між валками. Її можна змінювати, переміщаючи у вертикальному напрямку верхній валок, а іноді – обидва валки.

Шестеренна кліть має один вхідний вал і стільки вихідних валів, скільки валків у робочій кліті.

Оскільки частота обертання вала електродвигуна звичайно більша за потрібну частоту обертання валків, то між електродвигуном і шестеренною кліттю ставлять редуктор, вихідний вал якого має меншу частоту обертання, ніж вхідний. У прокатних станах застосовують електродвигуни змінного, а також постійного струму. Останні використовують, коли необхідно регулювати частоту обертання валків.

Обертальний рух передається до валків від електродвигуна через редуктор, шестеренну кліть, трєфові шпинделі 5 і трєфові муфти 4.

Трефові шпинделі та трєфові муфти застосовують тоді, коли осі робочих валків і відповідних валів шестеренної кліті не співпадають. Шпинделі з'єднують вали шестеренної кліті з робочими валками.

У деяких станах відсутні редуктор і шестеренна кліть, а кожен валок приводиться в рух окремим електродвигуном постійного струму.

Прокатні стани класифікують за трьома ознаками:

- за кількістю і розташуванням валків у робочій кліті;
- за призначенням;
- за кількістю і розташуванням робочих клітей.

За кількістю і розташуванням валків у робочій кліті прокатні стани поділяють на двохвалкові (рис. 10, а), тривалкові (рис. 10, б), багатовалкові (рис. 10, в) і універсальні (рис. 10, г)

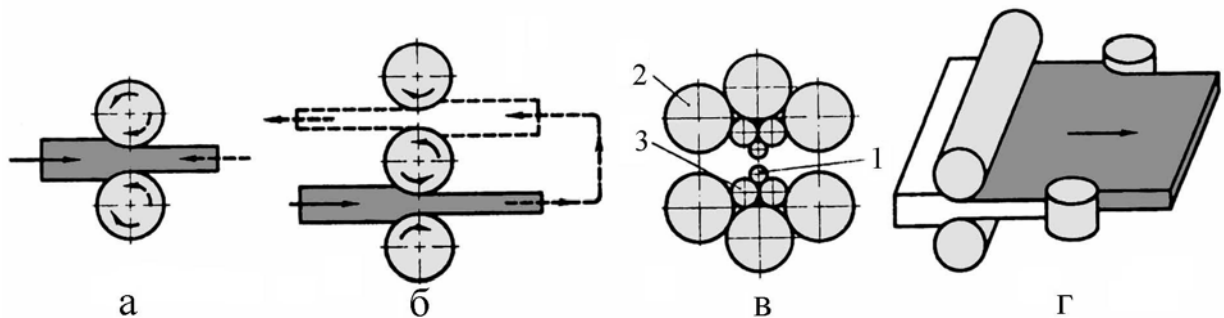


Рис. 10. Прокатні стани:

а - двохвалкові; б - тривалкові; в - багатовалкові; г - універсальні;
1 - робочий валок; 2 - опорний валок; 3 - тяговий валок

Двохвалкові стани (дуостани) (рис. 10, а) бувають *нереверсивні* (мають сталий напрям обертання валків) і *реверсивні* (можуть змінювати напрям обертання). У кожній кліті *нереверсивних* станів заготовку у вигляді сортового профілю або дроту пропускають між валками лише в одному напрямку. У *реверсивних* станах напрям обертання валків після кожного пропускання заготовки (блюда, сляба, грубого листа) і подальшого зменшення відстані між валками змінюється на протилежний, внаслідок чого заготовка також змінює свій напрям руху.

На *тривалкових станах* (тріостанах) (рис. 10, б) заготовка рухається в одному напрямку між нижнім і середнім валками, а в протилежному напрямку – між середнім і верхнім валками. Так вальцюють сортовий метал і листи. Тріостани в наш час не перспективні з огляду на низьку продуктивність і недостатню жорсткість.

Багатовалкові стани (шести-, дванадцяти- і двадцятивалкові) мають два робочі валки 1 (рис. 10, в) малого діаметра (0,10...50 мм), які опираються на тягові валки 3, а останні - на опорні валки 2. Така конструктивна схема забезпечує дуже високу жорсткість системи й точність виробів. Обертальний рух на робочі валки передається від тягових валків завдяки силам тертя. Застосування робочих валків малого діаметра дозволяє істотно зменшити зусилля деформування. Багатовалкові стани використовують для холодного прокатування тонких листів і фольги.

Універсальні стани (рис. 10, г) обтискають заготовку горизонтальними та вертикальними валками з чотирьох боків. Завдяки вертикальним валкам заготовка отримує гладкі бокові грані. Універсальні стани використовують для прокатування слябів, товстих листів, а також двотаврових балок великої висоти.

За *призначенням* прокатні стани поділяють на обтискні, заготівельні, сортові, листові, трубопрокатні та спеціальні.

До обтискних станів належать блюмінги і слябінги.

Блюмінг – великий обтискний реверсивний дуостан, на якому в гарячому стані зі злитків отримують напівфабрикати найчастіше квадратного перерізу розміром від 150х150 мм до 450х450 мм, які називають *блюмами*.

Слябінг – великий обтискний універсальний стан, призначений для прокатування зі злитків у гарячому стані напівфабриката - *сляба*, який має прямокутний переріз шириною до 2300 мм висотою в межах 75...300 мм. Зі слябів у подальшому виготовляють листові заготовки. На відміну від блюмінга слябінг, крім двох горизонтальних валків, має ще два вертикальні валки, що ними обтикають бічні поверхні злитка.

На *заготівельних станах* із блюмів вальцюють заготовки квадратного перерізу розміром від 60х60 мм до 150х150 мм, з яких згодом отримують сортові вироби та дріт.

На *сорткових станах* заготовки по чергово проходять через низку калібрів, що поступово формують заданий профіль. Сорткові стани працюють найпродуктивніше тоді, коли їх робочі кліті розташовані послідовно одна за одною. Відстань між клітями менша, ніж довжина виробу, отже, він вальцюється одночасно в кількох клітях. Швидкість прокатування зі збільшенням довжини матеріалу зростає і досягає в останній кліті 40 м/с і більше.

Грубі листи товщиною понад 4 мм вальцюють зі слябів після їх нагрівання до температури гарячої обробки тиском.

Тонкі листи виробляють і в гарячому, і в холодному стані із гарячопрокатаних листів, що знаходять у рулонах. Листи з кінцевою товщиною меншою за 2 мм прокатувати в гарячому стані складно. Після холодного прокатування листи відпалюють, щоб зняти наклеп.

СТАНИ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЇ ПРОКАТКИ

Такі стани побудовані на технологічних принципах поперечної та періодичної прокатки. Спеціалізовані для гарячої деформації машинобудівних марок сталей при багатосерійному та масовому виробництві.

Сталеву циліндричну заготовку заданих розмірів і маси, нагріту до температури 1100÷1150°C, поміщають між двома валками що обертаються в одному напрямі, зближуючись валки захоплюють заготовку вершинами клинових калібрів примушуючи її обертатись у протилежному валкам напрямі. Валки вдавлюючись у радіальному напрямку, одночасно розподіляють метал у напрямку осі заготовки. За кожний оберт валків відбувається повний технологічний цикл формування кінцевої заготовки.

Процес прокатки полягає в тому, що обробка відбувається внаслідок зосередженого обтиснення на невеликій ділянці виробу, що деформується. Метал деформується в радіальному напрямку з одночасним осьовим розтяганням спеціальними клиновими калібрами, нарізаними на поверхні валкового інструмента. Завдяки цьому створюються сприятливі умови для зсуву металу в напрямку осі виробу й усувається можливість утворення центральної порожнини та інших дефектів рис. 11, а.

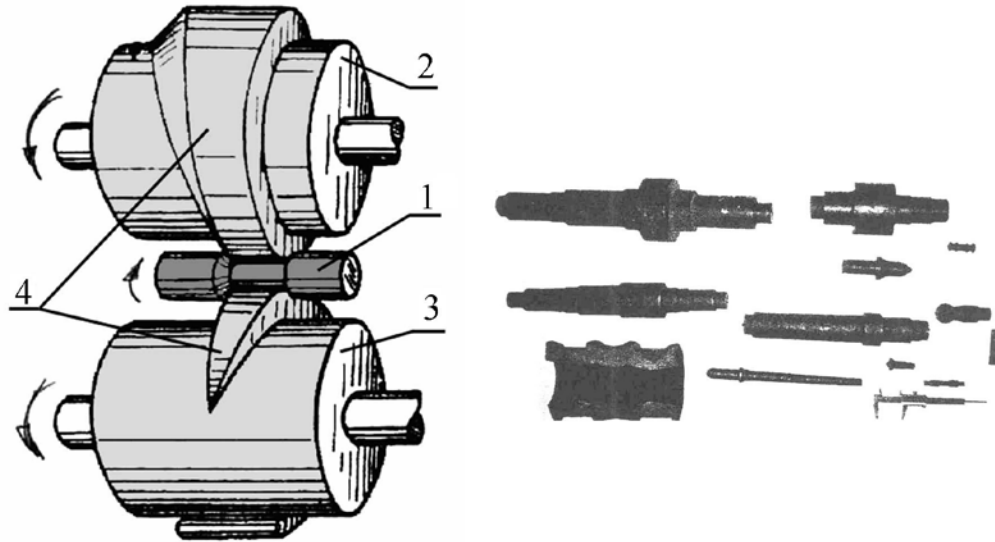


Рис. 11. Схема стану штучної поперечної прокатки радіально симетричних заготовок типу ступінчастий вал (а), та приклади його використання (б):
1 - первинна заготовка; 2, 3 - відповідно верхній та нижній профільний валок;
4- клинові калібри.

Процес прокатки на станах повністю механізований і автоматизований. Вони забезпечують вищий коефіцієнт використання металу в порівнянні із традиційними прокатними технологіями.

Як вхідний матеріал використовуються гарячекатані прутки.

Поперечна прокатка виключає чорнову токарську обробку та використання ковальського устаткування й забезпечує:

- високий коефіцієнт використання металу - до 0,95;
- високу продуктивність - від 240 до 2000 деталей у годину;
- точність прокатних виробів, достатню для чистової обробки ($\pm 1\%$ від діаметра прокатої заготовки).

Стани призначені для гарячої прокатки східчастих заготовок круглого перетину, з різкими переходами від одного діаметра до іншого, типу валів і осей, діаметром від 10 до 130 мм і довжиною до 700 мм рис. 10, б.

Заготовки деталей, отримані на станах поперечно-клинової прокатки, використовуються при виробництві електротехнічних машин, тракторів, автомобілів, гідроапаратури й в інших галузях промисловості.

Стани можуть також використатися в штампувальних лініях, забезпечуючи одержання заготовок підвищеної складності для наступного безоблойного штампування.

ДОДАТОК Б

ПРЕСУВАННЯ

Характеристики процесу. Пресування полягає у витісненні металу із закритого об'єму крізь отвір у матриці. Профіль пресованого виробу відповідає перерізу цього отвору. Пресування – високопродуктивний та економічний спосіб обробки металів і сплавів, яким можна отримати суцільні та порожнисті профілі (рис. 12, а). Пресовані вироби мають більшу точність, ніж катані.

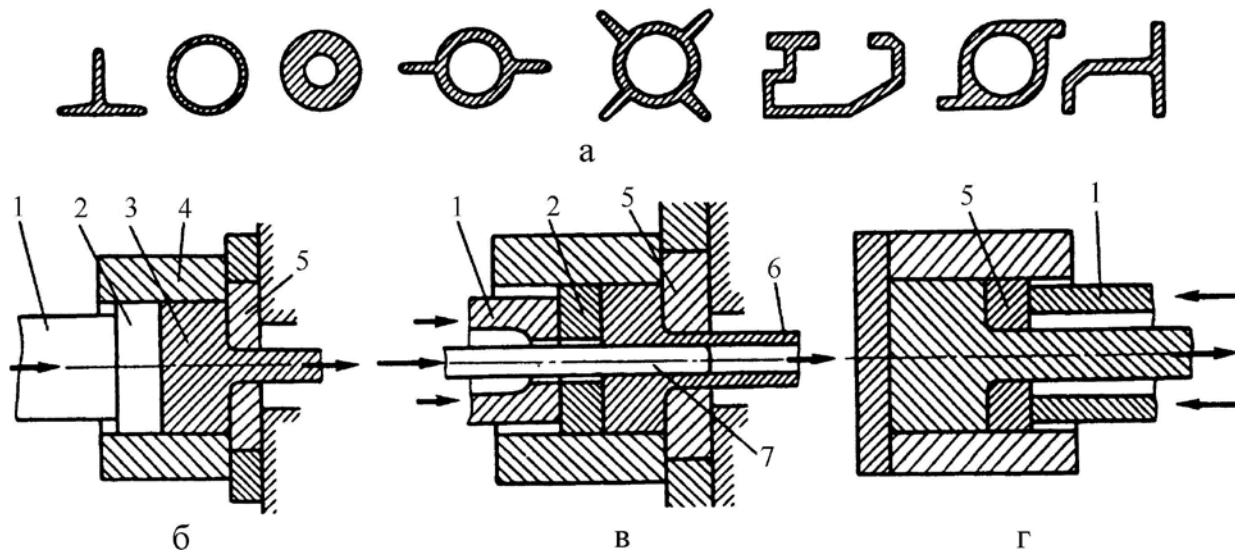


Рис. 12. Пресовані профілі (а) та схеми пресування : б - пряме пресування; в - пряме пресування з прошивкою; г - зворотне пресування

1 - пуансон; 2 - прес-шайба, 3 - заготовка;
4 - контейнер; 5 - матриця; 6 - труба; 7 - голка

Пресування відбувається в умовах всебічного стискання (рис. 12, б). При цій схемі деформування метал має найбільшу пластичність. Тому пресуванням можна обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави: мідні, алюмінієві, магнієві, титанові, вуглецеві і легovanі сталі тощо. До недоліків процесу належать значні (іноді до 40%) відходи металу та інтенсивне зношування інструменту.

Пресуванням виготовляють прутки діаметром 5...250 мм, дрід діаметром 5...10 мм, труби зовнішнім діаметром 20...400 мм із стінками завтовшки 1,5...12 мм а інші вироби. Завдяки гнучкості, простому переналагодженню на виготовлення іншого профілю пресуванням доцільніше, ніж прокатуванням виготовляти малі серії профілів.

Методи пресування. Вихідною заготовкою для пресування є зливки або круглий прокат. Розрізняють пряме і зворотне пресування.

При *прямому пресуванні* (рис. 12, б) напрям виходу металу крізь отвір у матриці 5 збігається з напрямом руху пуансона 1, тиск якого на заготовку 3 передається через прес-шайбу 2. Частина заготовки, що залишається в контейнері 4, називається *прес-залишком*. Маса його становить 8...12% від маси зливка.

При пресуванні труб заготовка спочатку прошивається голкою 7 (рис. 12, в), яка проходить крізь порожнистий пуансон 1. При подальшому переміщенні пуансона і прес-шайби 2 метал видавлюється у вигляді труби 6 крізь кільцевий зазор між стінками отвору матриці і голкою.

При *зворотному пресуванні* (рис. 12, г) матриця 5 розміщується в кінці порожнистого пуансона, і метал витискується в напрямі, зворотному переміщенню пуансона. Цей метод відзначається меншими відходами (маса прес-залишку становить 6...10% від маси заготовки) і меншим зусиллям пресування, але внаслідок складності обладнання і процесу він застосовується обмежено.

Обладнанням для пресування можуть бути горизонтальні чи вертикальні гідравлічні преси з зусиллям 3...250 МН, робочим тиском рідини до 40 МПа. Останнім часом все більше застосовується гідропресування – екструзія металів під безпосередньою дією тиску рідини до 2000 МПа. Особливо доцільне воно при виготовленні виробів з малопластичних сплавів.

Переваги:

- можливість обробки матеріалів, які через низьку пластичність іншими методами обробити неможливо;
- можливість отримання практично будь-якого профілю поперечного перетину;
- одержання широкого асортименту виробів на тому ж самому пресовому обладнанні з заміною тільки матриці;
- висока продуктивність (до 2...3 м/хв).

Недоліки:

- висока енергоємність;
- висока вартість та низька стійкість пресового інструменту;
- нерівномірність механічних властивостей за довжиною та поперечному перетину виробу;
- високі витрати металу на одиницю виробу через втрати у виді прес-залишку.

ДОДАТОК В

Волочіння

Характеристика процесу. Волочіння полягає в протягуванні (частіше в холодному стані) прокатаних або пресованих заготовок крізь отвір у матриці (волоці), переріз якого менший за переріз заготовки (рис. 13, б).

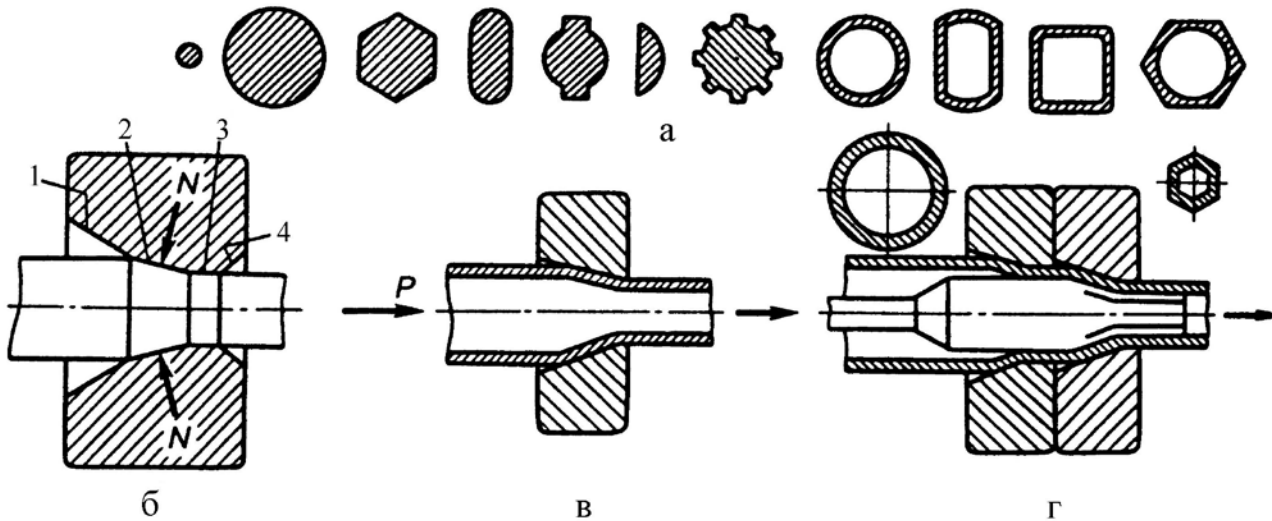


Рис. 13. Схеми волочіння і приклади виробів (а):

б - волочіння суцільного профілю; в - волочіння циліндричних труб;

г - волочіння фасонних труб;

1 - мастильна воронка; 2 - робочий конус; 3 - калібрувальний поясок;

4 - вихідний конус

При протягуванні прутка крізь отвір з зусиллям P виникають сили реакції N , які обтискують заготовку.

Обтискання (20) що допускається за один прохід, залежить від властивостей металу і становить для сталей 10...19%, для кольорових металів – до 36%:

$$q = \frac{F_0 - F_1}{F_0}, \quad (20)$$

де F_0 і F_1 – площини поперечного перерізу відповідно до і після волочіння.

Щоб запобігти обривам, напруження при волочінні не повинно перевищувати 0,6 границі міцності матеріалу заготовки. Для отримання профілів потрібних розмірів волочіння виконують за кілька проходів крізь ряд отворів, що поступово зменшуються. В результаті холодного пластичного деформування метал зміцнюється. Для усунення наклепу і підвищення пластичності метал піддають проміжному рекристалізаційному відпалюванню.

Із різних сортів сталі та кольорових металів волочінням виготовляють дріт діаметром 0,002...10 мм, різноманітні профілі (рис. 13, а), калібровані прутки діаметром 3...150 мм, холоднотягнені труби діаметром до 500 мм із

стінками завтовшки 0,1...10 мм з високою точністю і високоякісною зовнішньою поверхнею. Завдяки наклепу волочінням можна підвищити міцність і твердість металу.

Інструмент і обладнання для волочіння. Інструментом для волочіння є волочильна матриця (волока). Волоки можуть бути суцільними, складними і роликowymi. Суцільна волока має отвір (очко), який складається з чотирьох зон: мастильної воронки 1 (рис. 13, б), робочого конуса 2, калібрувального пояса 3 і вихідного конуса (або заокруглення) 4. Кут робочого конуса залежить від оброблюваного матеріалу і становить 6...12°. Ширина калібрувального пояса 2...10 мм. Робочу частину матриці виготовляють з інструментальних сталей, твердих сплавів, мінералокераміки і технічних алмазів.

Волочіння виконують на волочильних станах, в яких заготовки за допомогою тягового пристрою протягуються крізь отвір матриці. Розрізняють волочильні стани з прямолінійним рухом заготовки (найчастіше ланцюгові) і стани безперервної дії (барабанні).

Ланцюгові стани призначені для волочіння прутків і труб.

Барабанні стани з безперервною подачею заготовки призначені в основному для волочіння дроту.

