

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кафедра технології конструкційних матеріалів та
матеріалознавства

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ

МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ТИСКОМ

методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни
"Технологія конструкційних матеріалів" для студентів факультетів
конструювання та дизайну, механіко –технологічного,
лісогосподарського та навчально-наукового інституту енергетики,
автоматики і енергозбереження



Київ – 2020

УДК 621.91

У посібнику наведені: суть і призначення процесу обробки металів і сплавів тиском, фізико-технологічні основи деформації металів, схеми методів обробки металів тиском, закономірності та особливості прокатування та кування заготовок, пресування та волочіння металів і сплавів. Класифікація обладнання та інструментів; характеристики матеріалів і вимоги техніки безпеки при обробки металів і сплавів тиском.

Укладачі: Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко

Рецензенти: професор Ю. О. Ромасевич, доцент А. В. Новицький

Навчальне видання

Технологія обробки металів і сплавів тиском

Методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство" для студентів факультетів конструювання та дизайну, механіко –технологічного, лісогосподарського та навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження.

Укладачі: АФТАНДІЛЯНЦ Євгеній Григорович, ЗАЗИМКО Оксана Володимірівна, ПОХИЛЕНКО Геннадій Миколайович

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства Є.Г. Афтанділянц.

Зав. Видавничим центром НАУ А.П. Колесніков

Видавничий центр НУБіП.
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15.

Вступ

Методичний посібник складений відповідно до робочої програми навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів", діючих державних стандартів та існуючих методик проведення практичних занять з розділу "Обробка металів і сплавів тиском". Технічні терміни та інформаційні матеріали з літературних джерел подані в перекладі українською мовою з відповідними посиланнями.

У посібнику наведені: суть і призначення процесу обробки металів і сплавів тиском, фізико-технологічні основи деформації металів, схеми методів обробки металів тиском, закономірності та особливості прокатування та кування заготовок, пресування та волочіння металів і сплавів. Класифікація обладнання та інструментів; характеристики матеріалів і вимоги техніки безпеки при обробки металів і сплавів тиском. По завершенні практичних занять студент повинен:

- **знати** технологічний процес виготовлення заготовок шляхом обробки металів і сплавів тиском, класифікацію та методи виготовлення заготовок, основні способи виготовлення заготовок, класифікацію та маркування обладнання та інструменту; вимоги техніки безпеки при виготовленні заготовок.
- **уміти** розробляти технологію виготовлення заготовок по кресленню деталі, працювати на пристроях для визначення властивостей заготовок, вибирати вихідні матеріали у відповідності з умовами виконуваної роботи заготовок; виконувати основні операції обробки тиском.

Вимоги техніки безпеки при виконанні практичних занять

Перед початком роботи необхідно:

- виконати всі вимоги, що пов'язані з підготовкою виготовлення виливків;
- оглянути робоче місце та прибрати з нього все зайве, що заважає роботі;
- привести в порядок робочий одяг;
- перевірити наявність і справність запобіжних і захисних пристроїв.

Категорично забороняється пуск обладнання та пристроїв без дозволу навчального майстра!

1. При роботі на треба обов'язково користуватися захисними окулярами.
2. Забороняється стояти в площині обертання ріжучого інструменту, абразивного круга, патрона.
3. Не можна торкатись руками інструмента та заготовки в процесі обробки та проводити вимірювання під час роботи обладнання.
4. При роботі на верстатах оброблювана деталь повинна бути надійно закріплена. Тримати деталь руками забороняється.
5. Не можна видаляти окалину та облої руками.
6. При поразці електричним струмом необхідно негайно, не торкаючись постраждалого, виключити рубильником струм первинної мережі. Постраждалому зробити штучне дихання.
7. Не доторкатися голими руками до струмоведучих частин верстатів і обладнання.
8. Одяг і взуття повинно відповідати умовам виконуваних робіт.
9. Перед початком роботи в ковальській майстерні, очистити робочі частини ковалди від окалини, масла і води.
10. При роботі в ковальській майстерні набір інструменту заздалегідь підготувати і зручно розмістити на робочому місці.
11. Забороняється кувати і рубати перепалений метал.
12. Для запобігання ударам у живіт, груди або в обличчя ручки інструменту під час роботи повинні бути збоку, а не проти тулуба.
13. Стежити за тим, що під час кування і рубання металу ніхто не стояв близько, особливо в тому місці, куди може відлетіти відрубаний кусок.
14. Забороняється класти на робоче місце сторонні предмети,

торкатися або прибирати виливки руками без спеціального пристосування або інструмента.

15. Обслідувати всі місця, куди можуть відлетіти частки розігрітого металу і визвати горіння при розливанні металу.

16. Впевнитися, що після роботи не залишилося тліючих предметів (ганчір'я, підлоги, спецодягу та інше).

17. Прибрати робоче місце.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Фізико-технологічні основи деформації металів

Обробка тиском ґрунтується на здатності металу піддаватися пластичній деформації, тобто змінювати свою форму та розміри під дією зовнішніх сил без руйнування.

Метою обробки тиском є максимальне наближення форми та розмірів заготовки до форми й розмірів деталі.

Прутки круглого, квадратного, шестикутного профілів, фасонні профілі, труби, листи, дріт, кованки, штамповані деталі та інші отримують обробкою тиском.

Близько 90% сталей і 50% кольорових металів і сплавів піддаються обробці тиском.

Пружна та пластична деформація

Пружна, а потім **пластична деформація** виникають під впливом на матеріал зовнішніх сил. Обробка металів тиском можлива завдяки їх пластичності. **Ознакою пружної деформації** є її зворотність, тобто зникнення після зняття навантаження (рис. 1).

Фізична суть пружної деформації пояснюється незначним відносним зміщенням атомів у кристалічній ґратці, які після зняття навантаження повертаються на попередні місця (рис. 2 а).

Пластичною деформацією називають здатність металу пластично (незворотно) деформуватись під дією прикладених сил без руйнування. В основі пластичної деформації лежить явище зсуву за кристалічними площинами (рис. 2 б, в).

Пластична деформація ($\epsilon_{пл}$) залишається після зняття зовнішніх сил (рис. 2).

Тіло дістає задану форму та розміри завдяки пластичній деформації. **Сумарна пластична деформація** полікристалічного тіла складається з **внутрікристалічної** та **міжкристалічної деформацій**.

Вплив факторів на пластичність сплавів

Температура. Пластичність металу збільшується, а опір деформуванню зменшується при підвищенні температури. Пластичність зменшується у вуглецевих сталей при температурах 100 – 300°C і 727 – 900°C внаслідок виділення карбідів і утворення нових фаз під час деформування. Збільшення температури може зменшувати пластичність внаслідок надмірного росту зерен (перегрів) або окислення границь зерен (перепал).

Швидкість деформування (зміна деформації за одиницю часу).



Рис. 1. Діаграма розтягу металевому матеріалу

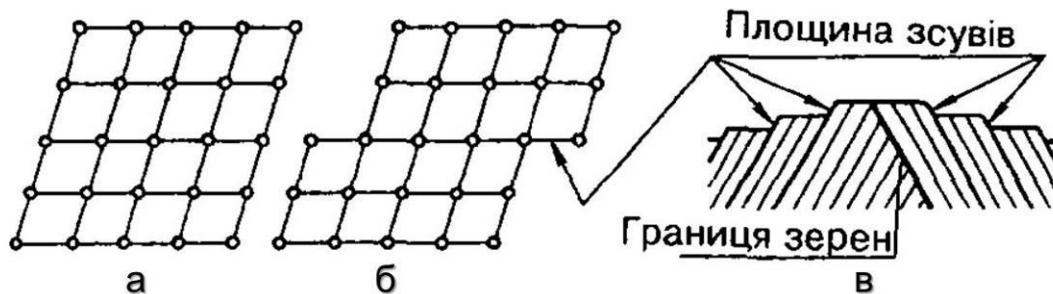


Рис. 2. Механізм пружної (а) та пластичної (б, в) деформації

Пластичність зменшується при підвищенні швидкості деформування під час гарячої обробки тиском внаслідок відставання знеміцнення від зміцнення.

Хімічний склад і структура матеріалу. Чисті метали мають найбільшу пластичність, а сплави мають меншу пластичність.

Однофазові сплави зі структурою твердих розчинів є більш пластичні, ніж **багатофазові**.

Пластичність сталі зменшується при підвищенні вмісту **вуглецю** в сталях. Вуглецеві сталі з вуглецем понад 1,5%, практично

не обробляються тиском. Пластичність вуглецевих сталей знижує **кремній і марганець**.

Сталям із підвищеним вмістом **сірки** властива червоноламкість (схильність до крихкого руйнування під час гарячого деформування). **Фосфор** спричиняє крихке руйнування (явище холодноламкості) під час холодного деформування при низьких температурах. **Оксиди** (Fe_3O_4 ; Fe_2O_3 і FeO), **нітриди** (Fe_2N і Fe_4N) й **флокени** (водень) знижують пластичність сталей.

Напружений стан. Метал стає пластичнішим зі збільшенням напружень стиску й зменшенням напружень розтягу.

Закони пластичного деформування

1. **Закон незмінності об'єму металу до і після деформації;**
2. **Закон подібності.** Відношення зусиль деформування (геометрично подібних тіл з однакового матеріалу) дорівнює квадрату, а відношення витрачених робіт – кубу відношень відповідних лінійних розмірів;
3. **Закон найменшого опору.** При деформації тіла кожна його точка переміщується в напрямі найменшого опору.

Зміна структури матеріалів при обробці тиском

Зерна подрібнюються та витягуються в напрямку пластичного деформування металу при зростанні ступеня деформації. Волокниста структура утворюється при значній деформації матеріалу. Структура матеріалу до і після деформації наведена на рис. 3.

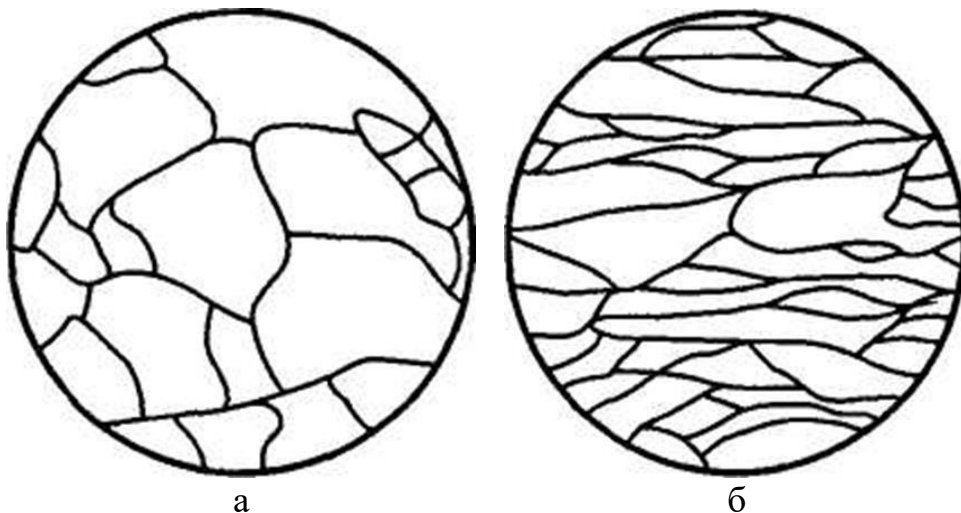


Рис. 3. Структура матеріалу до (а) і після (б) деформації

Структура зливків являє собою великі зерна первинної

кристалізації. Домішки та неметалеві включення розташовані на межах зерен (рис. 4 а).

Зерна подрібнюються і сплющуються при деформації металу, а неметалеві включення набувають форми волокон і витягуються у напрямі руху металу (рис. 4 б-е). Волокнистість впливає на механічні характеристики металу: у поздовжньому напрямку показники пластичності кращі, ніж у поперечному. Для забезпечення в деталей підвищених механічних властивостей треба, щоб волокна йшли за контуром деталі і не перерізувалися (рис. 4 г - е).

Наклепування

Наклепуванням (нагартуванням) називають зміцнення металу під дією пластичної деформації. Зміцнення металу в процесі пластичної деформації відбувається в наслідок зростання кількості дефектів кристалічної будови (дислокації, вакансії, міжвузлові атоми). Підвищення густоти дефектів ускладнює рух дислокацій, що підвищує опір деформації та знижує пластичність металу.

Викривлення кристалічних ґраток, **зростання** густоти дислокацій та вакансій, **зміна** макро- та мікроструктури під час пластичної деформації викликають **зміцнення** металу. При цьому характеристики міцності (σ_B , σ_T) і твердість зростають, а характеристики пластичності — знижуються.

Повернення

Деформований (наклепаний) метал є термодинамічно нестійким і тому намагається перейти у більш рівноважний стан з меншим рівнем вільної енергії. Цей перехід здійснюється шляхом дифузії атомів у металі.

При нагріванні деформованого металу в ньому відбуваються процеси **повернення**, **полігонізації** і **рекристалізації**, що зумовлюють повернення всіх властивостей до рівня властивостей металу до деформації.

Повернення – це процес зменшення густоти дефектів будови без помітних змін структури при нагріванні деформованого металу до температур нижче $(0,1 - 0,3) t_{пл}$.

Полігонізація

Полігонізація (від лат. polygon — багатокутник) – це подрібнення кристалів на субзерна (полігони) з малокутовими границями при нагріванні до температур більше $0,3 \cdot t_{пл}$. Субзерна зростають при підвищенні температури або тривалості нагріву.

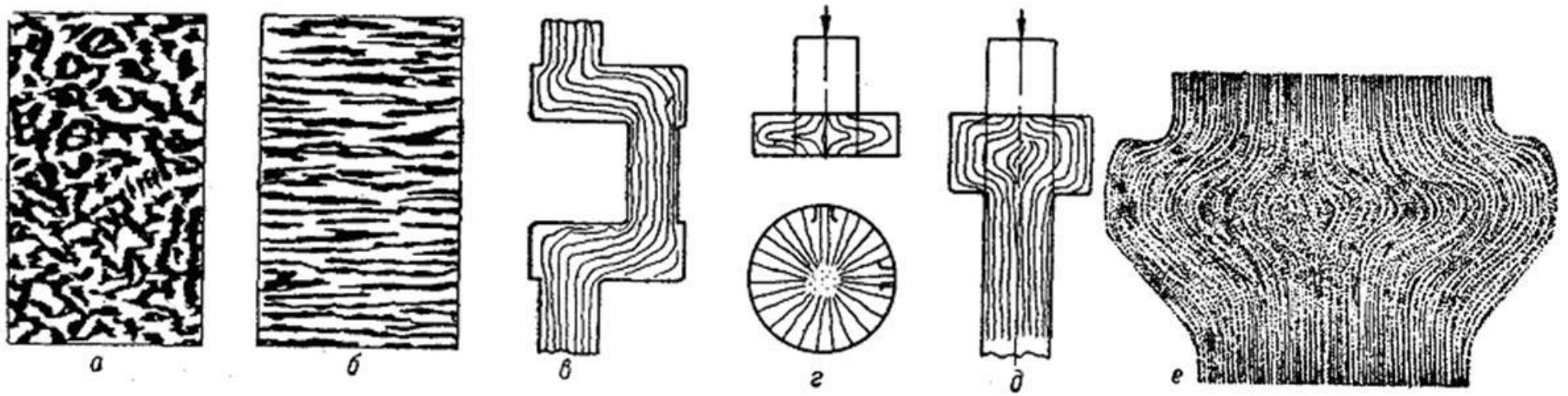


Рис. 4. Зміна структури матеріалів при обробці тиском.

Рекристалізація

Рекристалізація – це процес виникнення і росту нових недеформованих зерен при нагріванні деформованого металу. При рекристалізації наклепування знімається, і властивості металу наближаються до вихідних.

Температурним порогом рекристалізації (t_p) називається температура, за якої відбувається знеміцнення наклепаного металу до вихідного рівня. Температурний поріг рекристалізації залежить від ступеня деформації, тривалості нагріву та величини зерна до деформації. Для технічно чистих металів $t_p = 0,4 \cdot t_{пл}$, для сплавів (твердих розчинів) $t_p = (0,5 - 0,6) \cdot t_{пл}$.

У процесі подальшого нагріву відбувається **збиральна рекристалізація**. Це процес росту одних рекристалізованих зерен за рахунок інших (сусідніх) рекристалізованих зерен. Внаслідок збиральної рекристалізації зерна ростуть рівномірно, більш крупні ростуть за рахунок дрібних. Чим більший ступінь попередньої пластичної деформації, тим менший розмір рекристалізованого зерна.

Зміна властивостей деформованого матеріалу при нагріванні наведена на рис. 5.

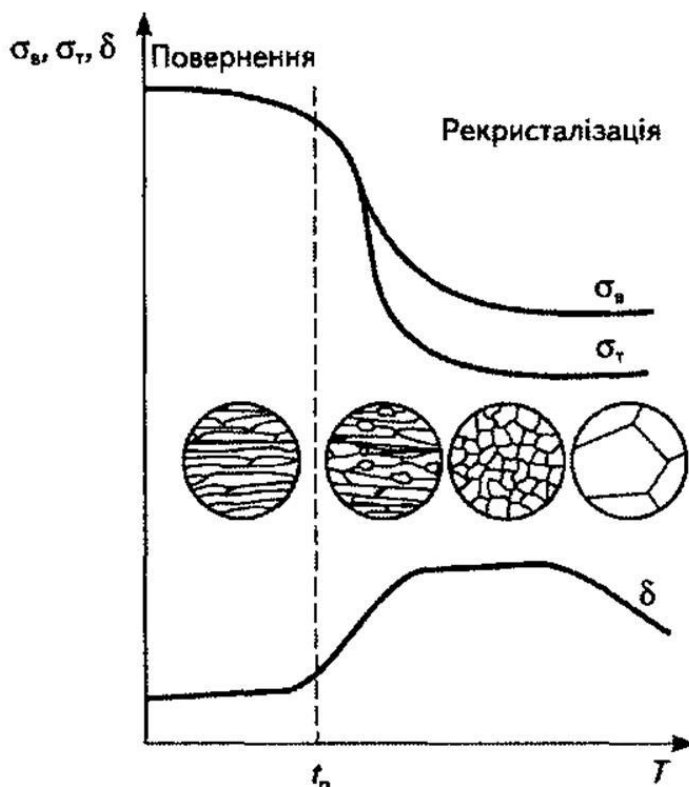


Рис. 5. Зміна міцності (σ_b, σ_T) та пластичності (δ) деформованого металу при нагріванні. t_p — температура початку рекристалізації.

Температура плавлення ($t_{пл}$), порога рекристалізації (t_p) та гарячої обробки тиском ($t_{го}$) металів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Температура плавлення ($t_{пл}$), порога рекристалізації (t_p) та гарячої обробки тиском ($t_{го}$) металів

Метал	Температура, °C		
	$t_{пл}$	t_p	$t_{го}$
Mo	2620	900	2000-1400
Ti	1672	500	1150-800
Fe	1539	450	1300-800
Cu	1083	270	800-600
Al	660	100	450-400
Pb	327	-30	20
Sn	232	-70	20

Холодне та гаряче деформування металів

Холодне деформування відбувається при температурах, **нижчих від температурного порогу рекристалізації**. Холодне деформування супроводжується видовженням зерен, збільшенням густини дефектів, що підвищує міцність та твердість металу й зменшує його пластичність (явище *наклепу*). Під час холодного деформування отримують точність розмірів, якість поверхні, також міцність металу підвищується.

Гаряче деформування відбувається при температурах, **вищих від температури порогу рекристалізації**. У цьому випадку у металі одночасно зі зміцненням відбувається знеміцнення (рекристалізація). Внаслідок цього механічні властивості металу після гарячої обробки змінюються незначно. Гаряче деформування доцільно застосовувати для обробки малопластичних і важкодеформованих сплавів, а також злитків.

Зміна міцності (а) та пластичності (б) деформованої маловуглецевої сталі при нагріванні наведена на рис. 6.

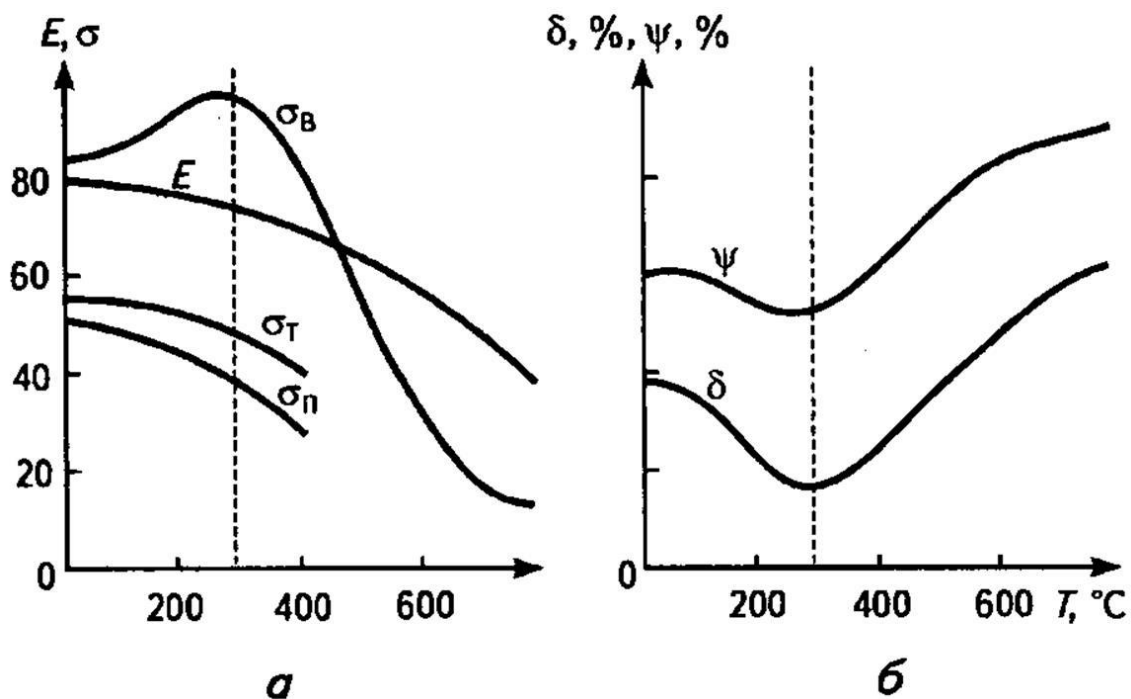


Рис. 6. Зміна міцності (а) та пластичності (б) деформованої маловуглецевої сталі при нагріванні

Окислення металу при нагріванні

Поверхневий шар окислюється при нагріванні сталі вище від температури 700°C з утворенням окалини. Окалина складається з трьох шарів: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 і FeO . Окалина утворюється при наявності в атмосфері печі O_2 , H_2O , CO_2 або SO_2 , а також у процесі кування або прокатування на повітрі. Кисень проникає всередину металу за рахунок дифузії.

Втрати на окалину за одне нагрівання в полуменевій печі дорівнюють 1,5—2,5%, а при електронагріванні — 0,4—0,7% від ваги заготовки.

Боротьба з окисленням металу полягає в застосуванні швидкісного нагрівання, захисного газового шару на поді печі, а також електронагрівання і нагрівання заготовок у захисній атмосфері.

Вуглець вигоряє у поверхневому шарі заготовки одночасно з окисленням заліза. Глибина знеуглецьованого шару становить від 0,2—0,5 мм до кількох міліметрів.

Перегрівання і перепалювання металу

Перегрів. При нагріванні сталі до температури гарячої обробки тиском відбувається безперервний ріст зерен. Чим вища температура нагрівання або чим довше метал перебуває при високих температурах, тим більший розмір мають зерна. Якщо сталь нагрівається вище від оптимальної температури приблизно на 100°C , то розмір зерна інтенсивно зростає. Округла форма зерна змінюється на багатокутну з кутом при вершинах близько 60° . Такий метал називається **перегрітим**. Перегріта сталь характеризується зниженням пластичності (відносне видовження, звуження і опір ударному навантаженню знижуються приблизно на 25%).

Перепал – це явище, при якому інтенсивне зростання зерен супроводжується частковим або повним розплавленням меж зерен. Перепал спостерігається при нагрівання сталі до температур біля солідусу.

Температурний інтервал обробки сталей тиском

Температурним інтервалом гарячої обробки тиском називають діапазон температур початку й кінця обробки, у межах якого метал чинить мінімальний опір деформації й не схильний до перегріву й перепалу. Верхня температура нагрівання t_b для вуглецевих сталей повинна бути на $100\text{...}200^{\circ}\text{C}$ нижча від лінії солідуса АНЖЕ (рис. 6).

$$t_b = t_{\text{АНЖЕ}} - (100 - 200), ^{\circ}\text{C}, \quad (1).$$

Аустеніт і ферит є пластичними структурами вуглецевих сталей. Закінчити деформування металу необхідно при температурі t_n , нижче якої його пластичність помітно зменшується. Температура закінчення деформування металу має бути вищою від температури рекристалізації й не нижчою від температури однофазного стану (аустеніт). Винятком можуть бути сталі, які при температурах існування двох фаз (аустеніт + ферит) між лініями GS і GP ще достатньо пластичні, а також заевтектоїдні сталі зі структурою аустеніт + вторинний цементит між лініями ES і SK.

Для доевтектоїдних сталей

$$t_n = t_{\text{GS}} + (50 - 70) = t_{\text{Ac3}} + (50 - 70), ^{\circ}\text{C}. \quad (2)$$

Для заевтектоїдних сталей

$$t_n = t_{\text{Ac1}} + (50 - 70) = 727 + (50 - 70) = 777 - 797 \approx 780 - 800, ^{\circ}\text{C}. \quad (3)$$

Оптимальні температури обробки сплавів тиском наведені в таблиці 2.

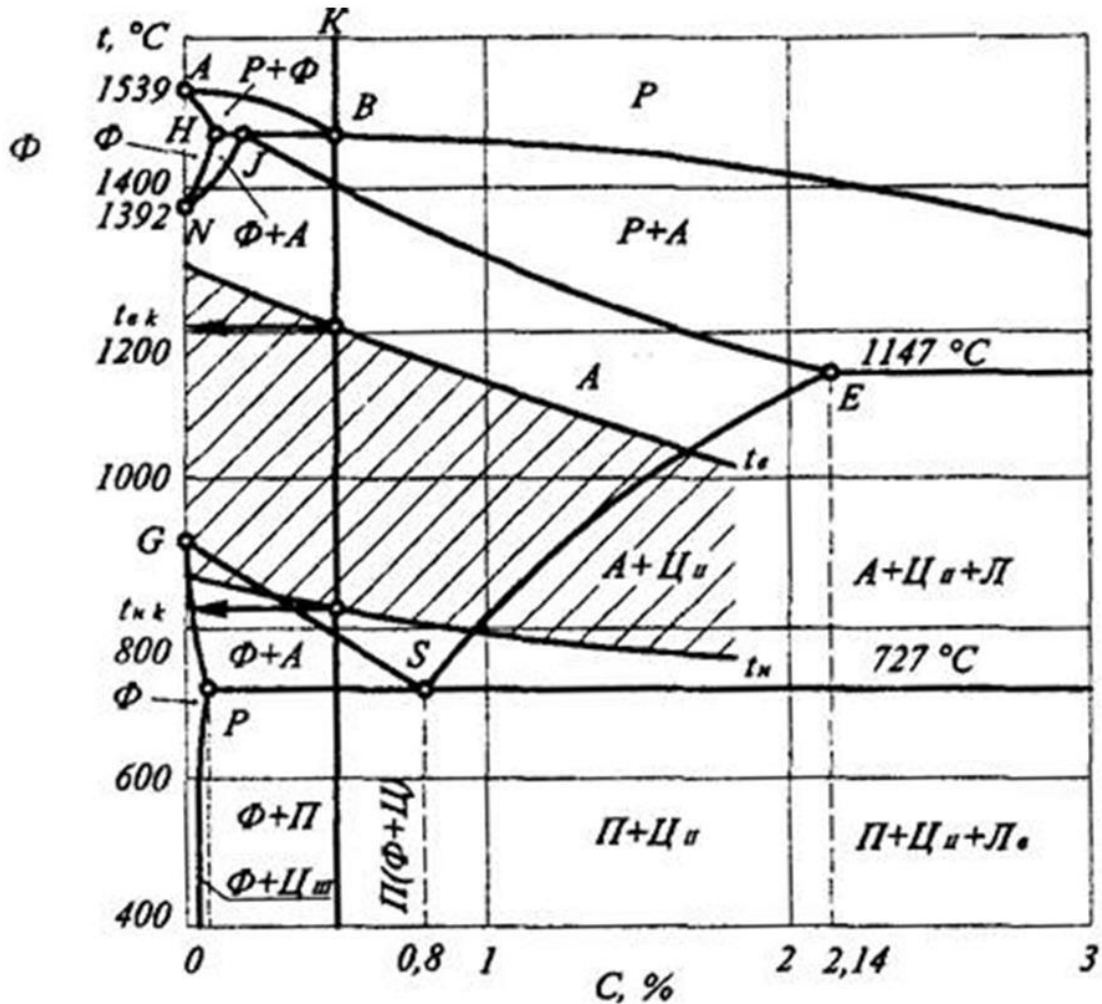


Рис. 6. Температурний інтервал обробки тиском вуглецевих сталей:

$t_{\text{в}}$ і $t_{\text{н}}$ – максимальні та мінімальні температури нагрівання; $t_{\text{вк}}$ і $t_{\text{нк}}$ – максимальна та мінімальна температури нагрівання сталі складу К

Швидкість нагрівання

Швидкістю нагрівання називають підвищення температури заготовки в градусах за одиницю часу. При надто швидкому нагріванні поверхневий шар, розширюючись, намагається відірватись від ще холодного осердя, внаслідок чого виникають термічні напруження, що можуть призвести до виникнення тріщин.

Швидке нагрівання небезпечне для металів з низькою

теплопровідністю (високовуглецеві й високолеговані сталі). Тому їх, а також великі заготовки, спочатку нагрівають повільно, а потім, коли метал стає достатньо пластичним і більш теплопровідним, – із максимально допустимою швидкістю до заданої температури $t_{вк}$.

Швидкість електронагрівання у 8 – 10 разів **вища**, а інтенсивність утворення окалини в 4 – 5 разів **менша**, ніж при нагріванні в печах.

Таблиця 2. Оптимальні температури обробки сплавів тиском

Сплав	Температурний інтервал гарячої обробки тиском, °С	
	Початок	Кінець
Сталь з 0,2—0,7 %С	1200	850
Сталі з 0,8—1,3 %С	1100	760
Кольорові метали і сплави нагрівають на 100—150°С нижче від температури початку плавлення (солідус).		
Мідь	950	700
Латунь (сплав міді з цинком)	840	650
Алюміній	500	350
Силумін (сплав алюмінію з кремнієм)	470	380
Магнієвий сплав	370	320

Тривалість нагрівання

Тривалість нагрівання (τ) залежить від температури печі, хімічного складу сплаву, форми й розмірів заготовок та відстані між ними.

Її визначають за формулою:

$$\tau = a \cdot k \cdot D^{3/2}, \text{ год, (4),}$$

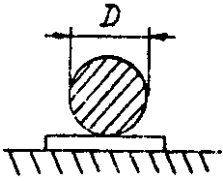
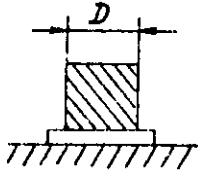
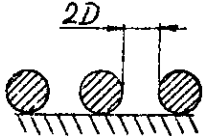
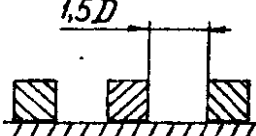
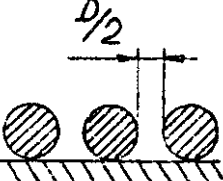
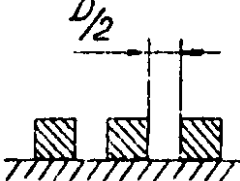


де **a** – коефіцієнт, що враховує спосіб укладання заготовок круглого й квадратного перерізів у печі;

k – коефіцієнт, що враховує масові частки вуглецю й легуючих елементів у сталі ($k = 10$ для низьковуглецевих та низьколегованих сталей; $k = 20$ для високовуглецевих та високолегованих сталей);

D – діаметр або сторона квадрата заготовки, м.

Залежність коефіцієнту α від способу укладання заготовок круглого й квадратного перерізів у печі наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Значення коефіцієнта α в залежності від способу розташування заготовок на поду печі

Розташування заготовок	Коефіцієнт α	Розташування заготовок	Коефіцієнт α
	1,0		1,0
	1,3		1,8
	1,4		2,2
	2,0		4,0

Камерна полуменева нагрівальна піч

Камерна полуменева піч являє собою металевий каркас, викладений зсередини вогнетривкою цеглою. Тепло передається до заготовок випромінюванням від внутрішніх поверхонь камери та конвекцією гарячих газів. Для нагрівання використовують газоподібне або рідке паливо.

Камеру печі утворюють під 1, бічні стінки 2 і склепіння 5 (рис. 7).

Через вікно 7, що закривається засувкою 6, завантажують і вивантажують заготовки 3. За допомогою пальників або форсунок 4 у камеру печі подають горючу суміш із повітря й газу або суміш із повітря й мазуту. Спалювання суміші створює в камері температуру до 1200 – 1300°C. Газовідвідний канал 8 розташовують у нижній частині печі для додаткового омивання заготовок гарячими газами.

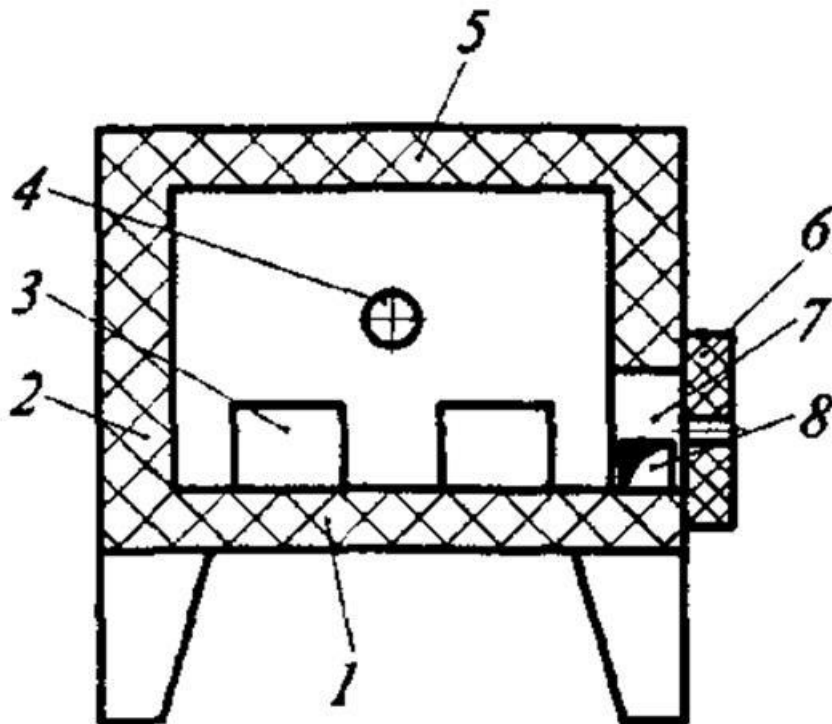


Рис. 7. Схема камерної полуменевої печі

Камерна нагрівальна електрична піч опору

Камерна електрична піч опору подібна до камерної полуменевої печі. Електричний струм використовується для нагрівання печі. Замість пальників або форсунок у стінках печі вмонтовують металеві або карборундові елементи електричного опору. Ці елементи створюють у печі температуру до 1000°C і вищу.

Відсутність в електричних печах полум'я зменшує втрати заготовок від окислення заліза й вигорання вуглецю. Щоб додатково захистити заготовки від таких втрат, у камеру печі вводять інертні або відновлювальні гази. Характерною особливістю камерних печей є практично однакова температура в усьому об'ємі камери.

Перевагою камерних печей є малі габарити й простота конструкції.

Недоліки: значні втрати металу від окислення внаслідок того, що заготовки потрапляють відразу в камеру з високою температурою; низький ККД полуменевої печей ($\approx 10\%$) внаслідок виходу високонагрітих пічних газів у атмосферу.

Напівметодична полуменева піч

Напівметодична полуменева піч складається з видовженої в

напрямку руху заготовок нагрівальної камери з вікном 3, двох водоохолоджуваних труб 4, пальників 2 і пневматичного штовхача 5, що пересуває заготовки 1, а через вікно 3 їх по чергово виймають (рис. 8).

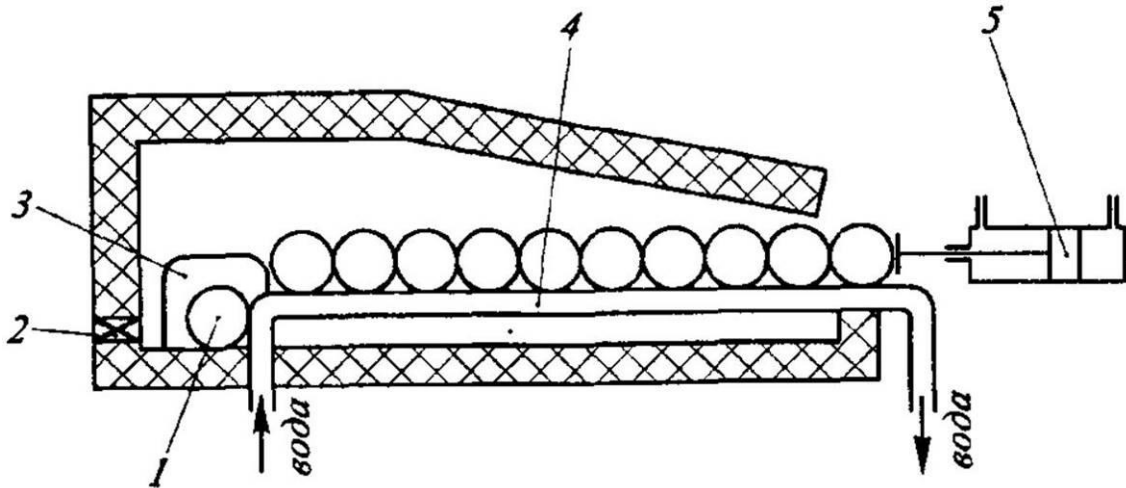


Рис. 8. Схема напівметодичної полуменевої печі

Нагрівальна камера поділяється на низькотемпературну (справа) й високотемпературну (зліва) зони. Заготовку кладуть на водоохолоджені труби напроти штовхача, і рухом поршня вліво її пересувають на один крок. Після цього поршень відходить вправо, і на труби кладуть наступну заготовку, що у визначений момент часу знову пересувають разом з попередньою заготовкою на один крок. На останній позиції заготовка скочується з труб і опиняється напроти вікна на поді печі, де вона вирівнює свою температуру.

Продукти спалювання рухаються назустріч заготовкам і поступово віддають їм своє тепло. Заготовки потрапляють спочатку в простір з температурою 600-800°C (низькотемпературна зона), а потім у високотемпературну зону з температурою 1250-1350°C. Особливістю нагрівання заготовок є плавне підвищення їх температури.

Переваги: втрати зменшуються на окислення та зневуглицьовування заготовок; повніше використовується тепло продуктів спалювання (ККД становить 40 % і більше).

Недолік: великі габарити й ускладнена конструкція печі.

Контактне електронагрівання

Кінці довгої заготовки 2 діаметром $\varnothing 15 - 75$ мм затискають мідними контактами 3, до яких від понижувального трансформатора 1

підводять струм силою до 5 000 А (рис. 9). Під час проходження електричного струму в заготовці виділяється тепло. Коефіцієнт корисної дії пристрою становить 75%.

Особливістю контактного електронагрівання є виділення тепла безпосередньо в заготовці.

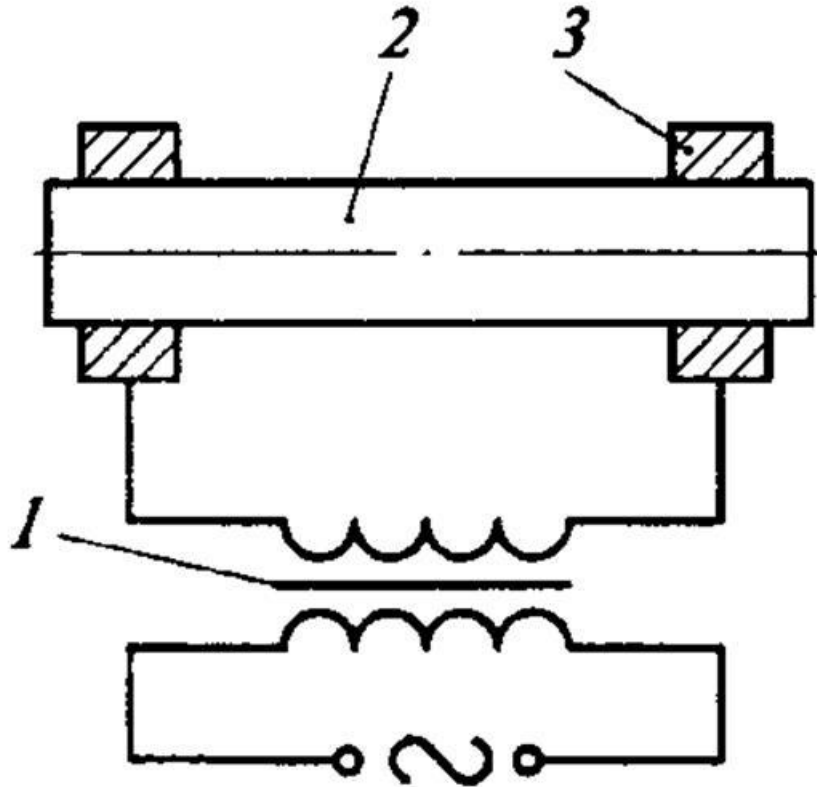


Рис. 9. Схема контактної електронагрівання

Переваги: простота конструкції; швидкість нагрівання збільшується у 8 – 10 разів; знижуються втрати на окалину й зневуглицювання.

Недоліки: висока вартість електричної енергії; низька стійкість затискних контактів.

Нагрівання струмами високої частоти

Пристрій для нагрівання струмами високої частоти складається з багатовиткового індуктора 1, виготовленого з мідної трубки, що охолоджується водою, напрямної трубки 3, в якій знаходиться заготовка 2, і генератора струму високої частоти (на рис. 10 не показаний).

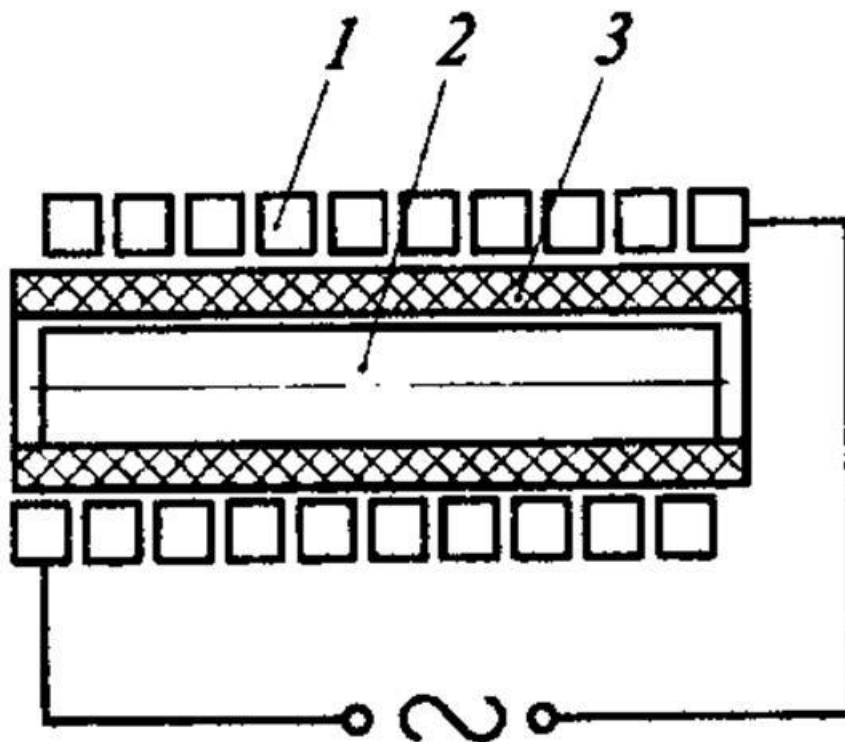


Рис. 10. Схема пристрою для нагрівання струмами високої частоти

Струм високої частоти (1000- 8000 Гц) збуджує змінне магнітне поле всередині індуктора, яке викликає у заготовці 2, що розміщена в індукторі, вихрові поверхневі струми, які її нагрівають. Час нагрівання малих заготовок становить 15-30 с, а великих - 3,0-3,5 хв. ККД становить 60-65%.

Переваги: висока швидкість нагрівання заготовок і мінімальні втрати металу на окалину.

Недоліки: висока вартість електричної енергії; велика вартість пристрою.

ПРОКАТУВАННЯ ТА КУВАННЯ ЗАГОТОВОК

Основні види прокатування

Прокатування (вальцювання) – це вид обробки, при якому заготовка обтискується обертовими валками прокатного стану.

Поздовжнє прокатування (рис. 11 а): заготовка переміщується перпендикулярно до осей валків, які обертаються в протилежних напрямках. До 90% усього прокату виготовляють поздовжнім прокатуванням (листи, стрічки, прутки).

Поперечне прокатування (рис. 11 б): валки, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, обертають заготовку, яка деформується при примусовому переміщенні вздовж валків.

Поперечне гвинтове прокатування (рис. 11 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.

Поздовжнє прокатування

Метал при прокатуванні деформується на невеликій ділянці ABB_1A_1 , що називається зоною деформації (рис. 12). Дуга AB називається дугою захвату, а центральний кут α , що відповідає цій дузі – кутом захвату. При прокатуванні збільшується довжина й ширина заготовки і зменшується її товщина.

Відносне зменшення товщини заготовки в процесі прокатування $\varepsilon = (h_0 - h_1) / h_0$ називається **відносним обтиском**, або **ступенем деформації**. Максимальне значення відносного обтиску дорівнює 0,2...0,5. Розширення заготовки в процесі прокатування становить 5...10 % від значення обтиску.

Відношення довжини заготовки після прокатування l_1 до вихідної l_0 дорівнює відношенню площин поперечного перерізу початкового F_0 до отриманого F_1 і називається **коефіцієнтом витягання μ** : $\mu = l_1 / l_0 = F_0 / F_1$. За одне пропускання заготовки між валками $\mu = 1,1-1,6$.

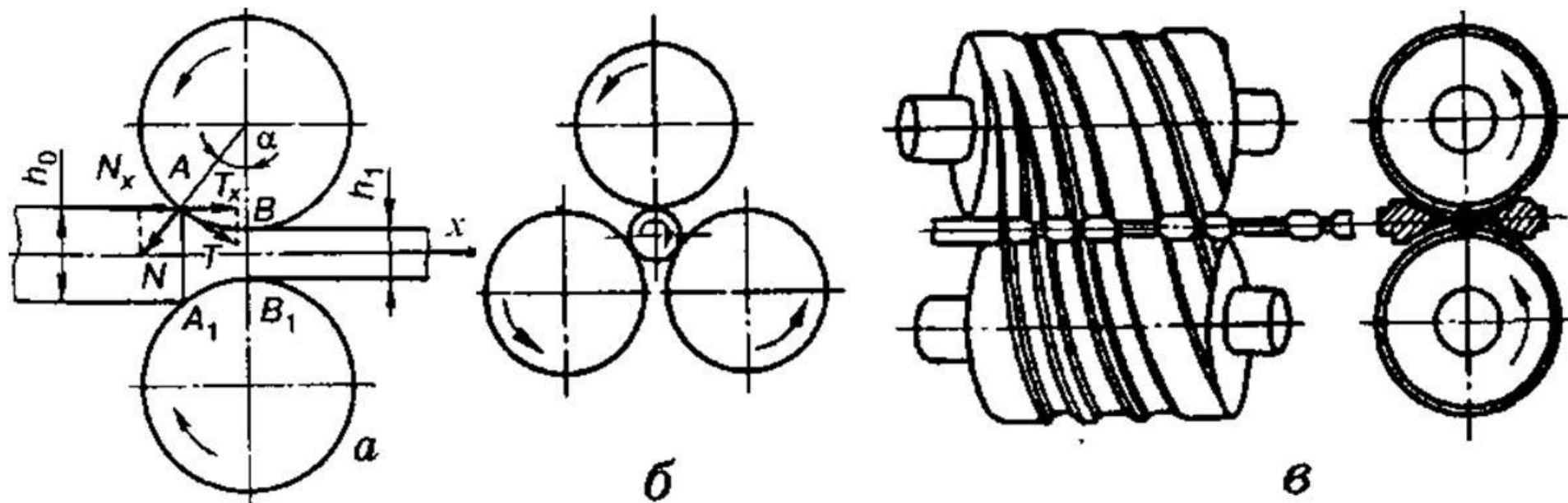


Рис. 11. Основні види прокатування:
 а – поздовжнє, б – поперечне, в - гвинтове

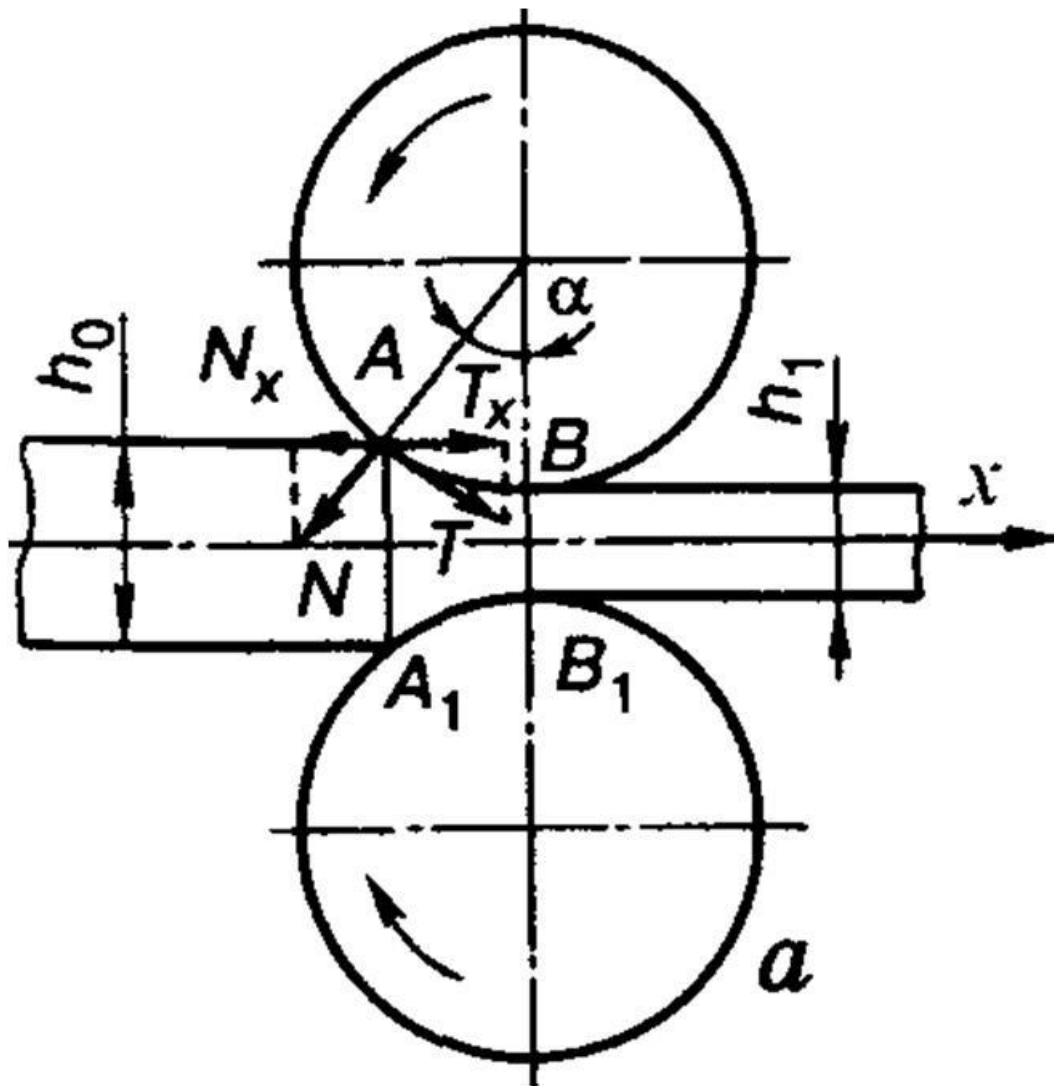


Рис. 12. Схема поздовжнього прокатування:

Метал втягується в зазор між валками силами тертя між заготовкою і валками. У точці А (а також А₁) діють сили тиску валків на метал N і сили тертя T, проекції яких на вісь x відповідно $N_x = N \cdot \sin \alpha$, $T_x = T \cdot \cos \alpha$ (рис.12 а). Захват валками заготовки відбувається при $T_x > N_x$. **Кут захвату становить 15-24° при гарячому прокатуванні на гладеньких валках і 32-33° на валках із вирізами (ривчаками). При холодному прокатуванні $\alpha = 3-10^\circ$.**

Сортамент прокату

Сортамент прокату визначається сукупністю профілів та розмірів прокатоного металу. **Профілем прокатоного виробу**

називають форму його поперечного перерізу.

Продукцію прокатного виробництва поділяють за сортаментом на **сортний** прокат, **листовий** прокат, **труби**, **спеціальний** та **періодичний** прокат

Сортний прокат загального призначення – кругла, квадратна, кутова, стрічкова сталь, швелери, двотаврові балки та інші (рис. 13 а).

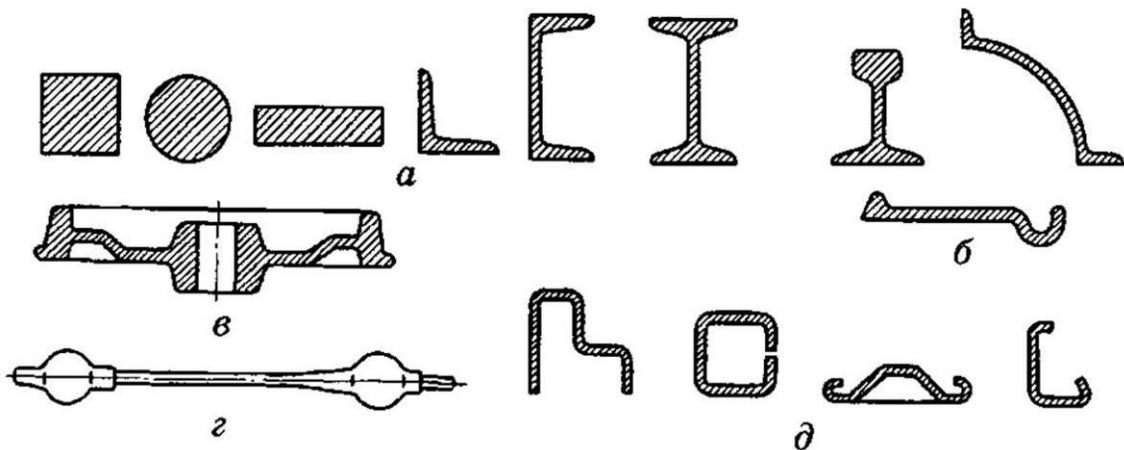


Рис. 13. Основні профілі прокату

Сортний прокат спеціального призначення – рейки, профілі для автотракторобудування, суднобудування, транспортного машинобудування та інших галузей промисловості (рис. 13 б).

Заготовки для сортового прокату називають **блюмами** (переріз від 150 x 150 до 450 x 450 мм).

Листовий прокат поділяють на тонколистовий (товщина менша від 4 мм) і товстолистовий (товщина більша від 4 мм).

Заготовки для листового прокату називають **слябами** (товсті плити товщиною до 350 мм).

Труби. Труби поділяють на безшовні та зварні. Труби випускають фасонні та змінного перерізу.

Спеціальний прокат. До спеціальних видів прокату належать залізничні колеса (рис. 13 в), шестерні, кулі, підшипникові кільця.

Періодичний прокат показано на рис. 13 г.

Гнутий профіль показано на рис. 13 д.

Валки

Валки є інструментом для вальцювання. Валки виготовляють із чавуну або сталі та поділяють на **гладкі** та **калібровані**.

Гладкі валки призначені для вальцювання листів і стрічок.

Елементами валка є **робоча частина** – бочка 1, дві шийки 2 і два трефи 3 (рис. 14).

Шийки 2 використовують як опори для підшипників.

Трефи 3 мають переважно хрестовинну форму і служать для з'єднання валка з муфтою або шпинделем.

Калібровані валки

Калібровані валки використовують для вальцювання сортового металу. Кільцеві заглибини спеціального профілю (**рівчаки**) виточені на бочці валків (Рис. 15). **Калібром** називають контур, утворений сукупністю двох рівчаків пари валків. **Калібровані** валки мають декілька калібрів.

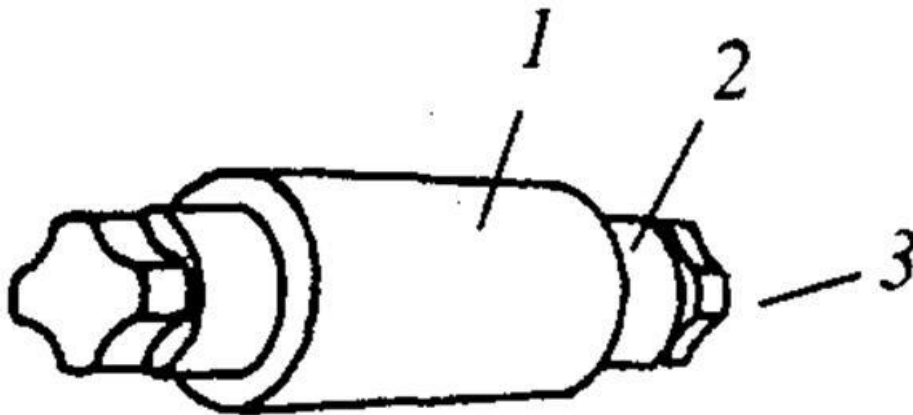


Рис. 14. Гладкий валок:
1 – бочка; 2 – шийка; 3 – треф.

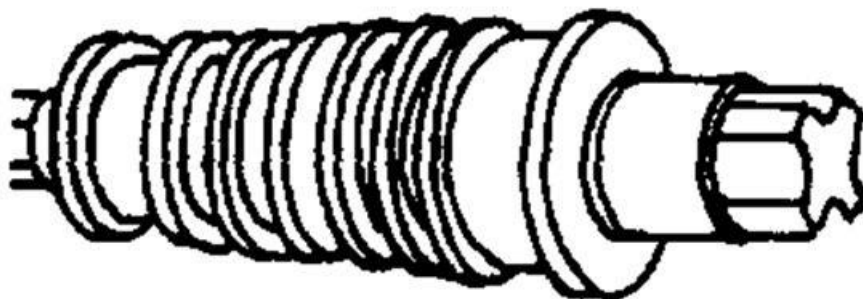


Рис. 15. Калібрований валок:

Заготовку послідовно пропускають крізь низку калібрів, які поступово змінюють вихідну форму поперечного перерізу до форми готового прокату.

Приклад перетворення, внаслідок прокатування (вальцювання) каліброваними валками, заготовці прямокутного перерізу (а) у двотаврову балку (и) наведено на рис. 16.

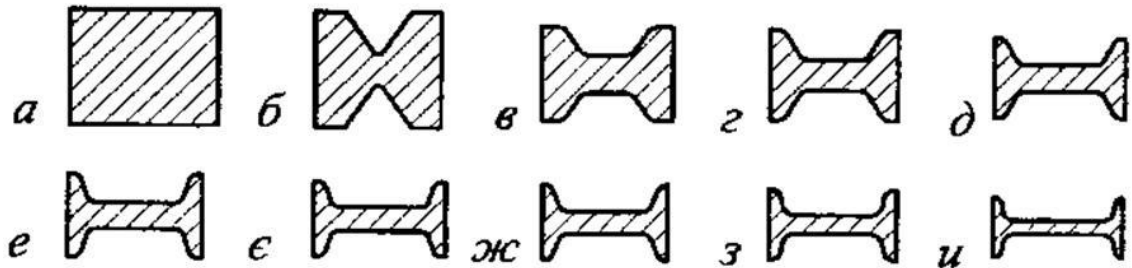


Рис. 16. Послідовність перетворення заготовки прямокутного перерізу (а) у двотаврову балку (и), внаслідок прокатування (вальцювання) каліброваними валками:

Будова прокатного (вальцювального) стану

Прокатний стан складається з однієї або кількох робочих клітей А, шестеренної кліті Б, редуктора В і електродвигуна Д (рис.17).

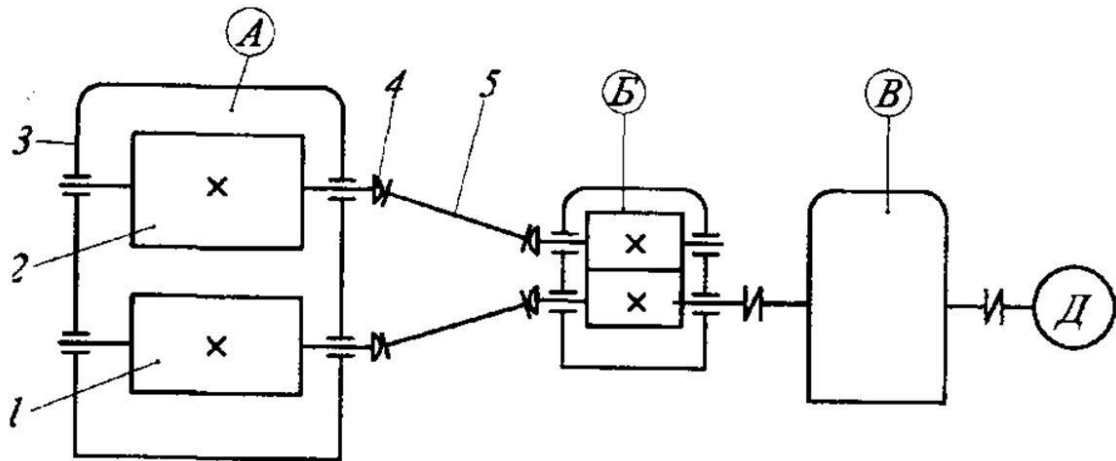


Рис. 17. Схема прокатного (вальцювального) стану

Робоча кліть має станину 3, валки 1, 2 з підшипниками та механізм для зміни відстані між валками.

Обертальний рух передається від електродвигуна Д через

редуктор В, шестеренну кліть Б, тріфові шпинделі 5 і муфти 4 до валків.

Класифікація прокатних станів за кількістю і розташуванням валків у робочій кліті

Прокатні стани поділяють на **двовалкові, тривалкові, багатовалкові та універсальні**

Двовалкові стани (дуостани) можуть бути *нереверсивні* (мають сталий напрям обертання валків) і *реверсивні* (можуть змінювати напрям обертання) (рис. 18).

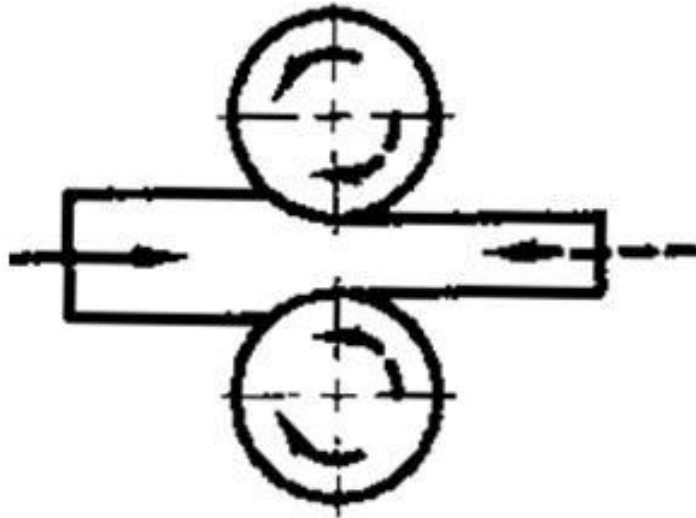


Рис. 18. Схема двовалкового (дуостану) стану

На *тривалкових станах (тріостанах)* заготовка рухається в одному напрямку між нижнім і середнім валками та в протилежному напрямку – між середнім і верхнім валками (рис. 19).

Класифікація прокатних станів за кількістю й розташуванням валків у робочій кліті

Багатовалкові стани (шести-, дванадцяти- і двадцятивалкові) мають два робочі валки 1 малого діаметра (\varnothing 10-50 мм), які опираються на тягові валки 3, що опираються на опорні валки 2 (рис. 20).

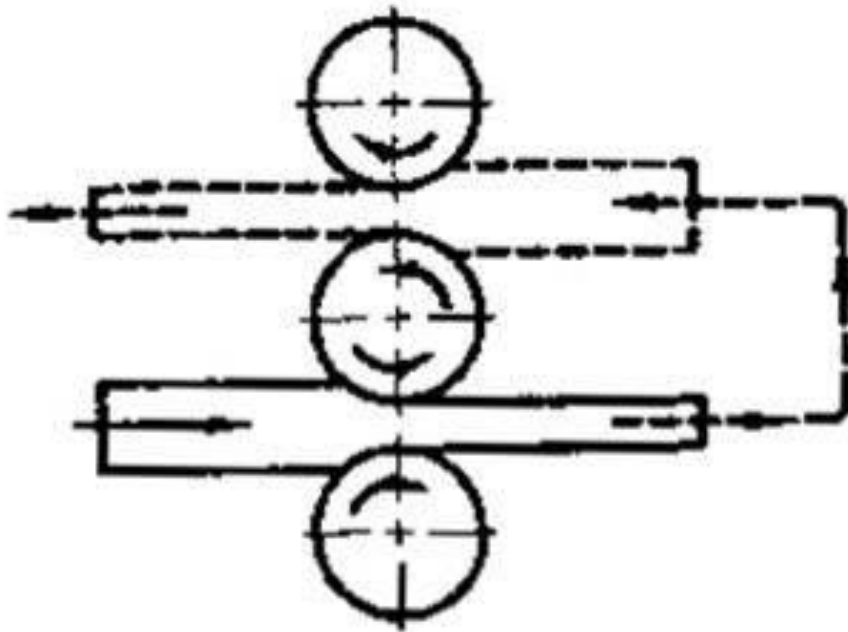


Рис. 19. Схема тривалкового (тріостану) стану

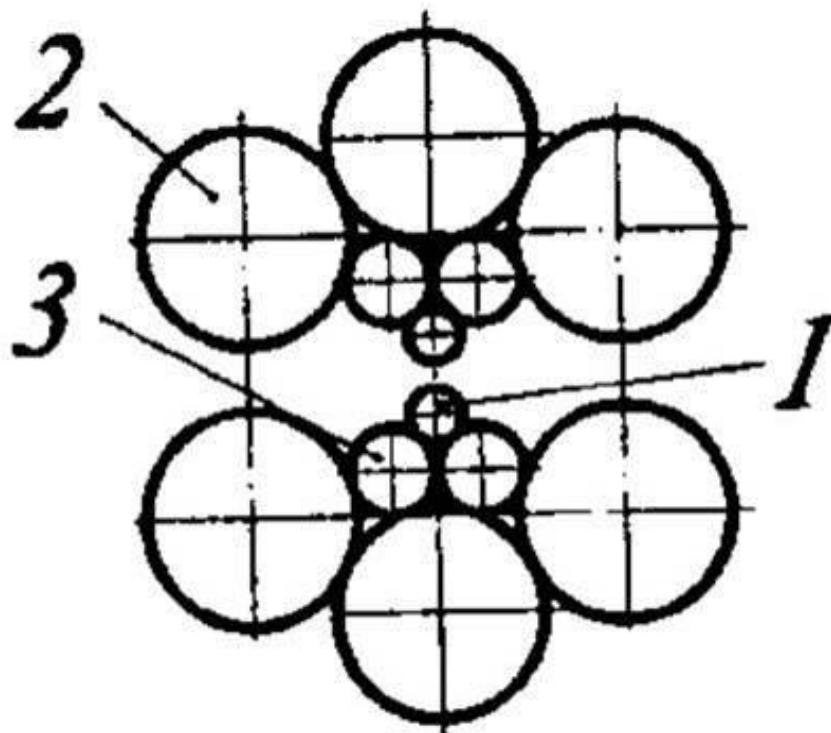


Рис. 20. Схема шестівалкового стану

Тягові валки 3 передають обертальний рух на робочі валки 1 завдяки силам тертя. Багатовалкові стани використовують для вальцювання тонких листів і фольги в холодному стані.

Універсальні стани обтискають заготовку горизонтальними та вертикальними валками з чотирьох боків. Універсальні стани використовують для прокатування товстих листів і двотаврових балок великої висоти (рис. 21).

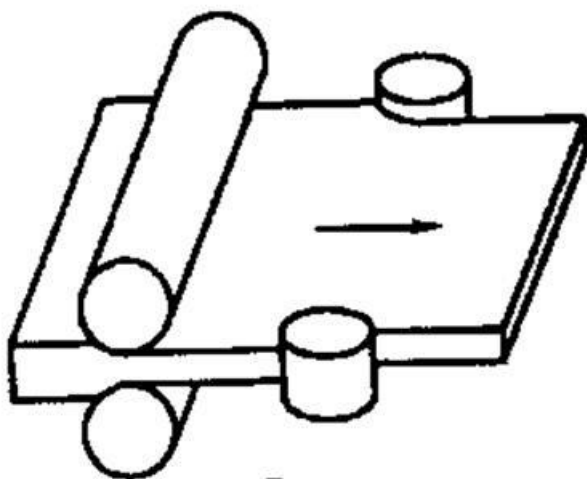


Рис. 21. Схема універсального стану

Класифікація прокатних станів за призначенням

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

До *обтискних станів* належать **блюмінги і слябінги**.

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

Слябінг – великий обтискний універсальний стан, призначений для прокатування **сляба**, що має прямокутний переріз шириною до 2300 мм і висотою від 75 до 300 мм. Зі слябів у подальшому виготовляють листи. Слябінг має два горизонтальних і два вертикальні валки, що ними обтикаються бічні поверхні злитка.

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

Заготовки проходять через низку калібрів на *сортових станах*, де формується заданий профіль. Сортіві 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 вальцювання зі збільшенням довжини матеріалу зростає і досягає в останній кліті більше від 40 м/с.

На *листових прокатних станах* отримують *грубі листи* (товщиною понад 4 мм) зі слябів після їх нагрівання до температури гарячої обробки тиском.

Тонкі листи виробляють у гарячому й холодному стані з гарячовальцьованих листів. Після холодного вальцювання листи відпалюють, щоб зняти наклеп.

Технологія прокатування

Технологічний процес виробництва сортового і листового прокату з блюмів і слябів полягає в **обрізанні кінців, розрізанні на частини, охолодженні та зачищенні заготовок, нагріванні їх у печах, прокатуванні на сортових і листопрокатних станах, охолодженні й опорядження** готового прокату.

При **холодному прокатуванні** тонколистової сталі для усунення наклепу застосовують проміжне відпалювання. Листи для наступного листового штампування після відпалювання додатково прокатують з обтиском 0,5...3,0 % і піддають травленню для зняття окалини. Такі листи називають *декапірованими*.

Виробництво безшовних труб. Заготовками є зливки або катані круглі заготовки діаметром від 120 до 320 мм. Виробництво безшовних труб складається з **прошивання отвору** в заготовці й одержання товстостінної гільзи, **прокатування** з гільзи труби, **обробки для поліпшення зовнішньої і внутрішньої поверхонь, усунення овальності та різностінності** труби.

Кування

Куванням називають спосіб обробки металів тиском, при якому деформація нагрітого металу в певних напрямках не обмежується робочою поверхнею інструменту. *Кованкою* називається виріб, виготовлений куванням зі сталі або сплавів кольорових металів і призначений для подальшої механічної обробки. Куванням виготовляють вали гідротурбін і електрогенераторів, диски парових і газових турбін, колінчасті вали дизельних двигунів, валки прокатних станів та ін.

Кованки для вала, диска, кільця, скоби, зубчастого колеса, шатуна, фланця і двоколінчастого вала наведені на рис. 22.

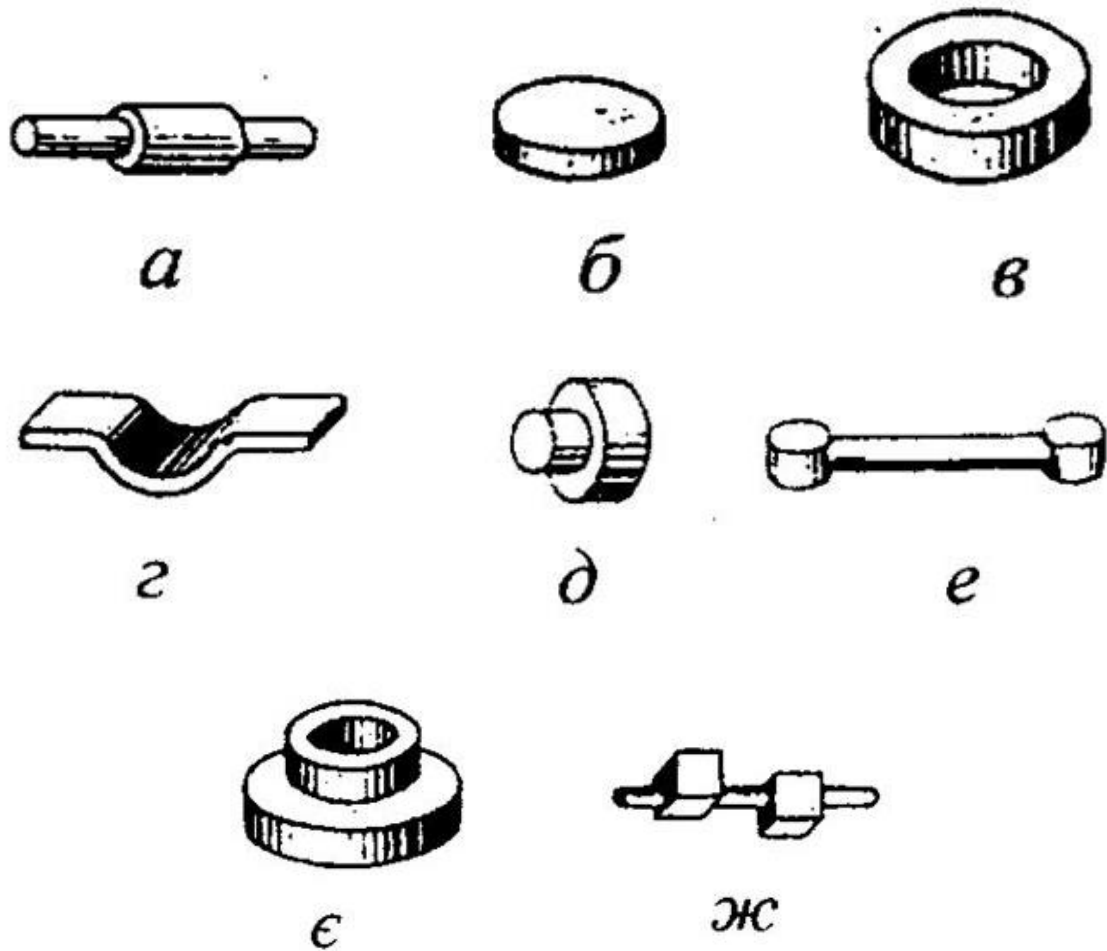


Рис. 22. Кованки для вала (а), диска (б), кільця (в), скоби (г), зубчастого колеса (д), шатуна (є), фланця (є) і двоколінчастого вала (ж)

Основні операції кування

Основні операції кування наведені на рис. 23.

Видовження застосовується для збільшення довжини кованки й зменшення її поперечного перерізу. Заготовку 2 (рис. 23 а) кладуть на нижній нерухомий ударник 1 і верхнім ударником 3 наносять удари. Кованки валів, штоків, шатунів і тяг виготовляють **видовженням**.

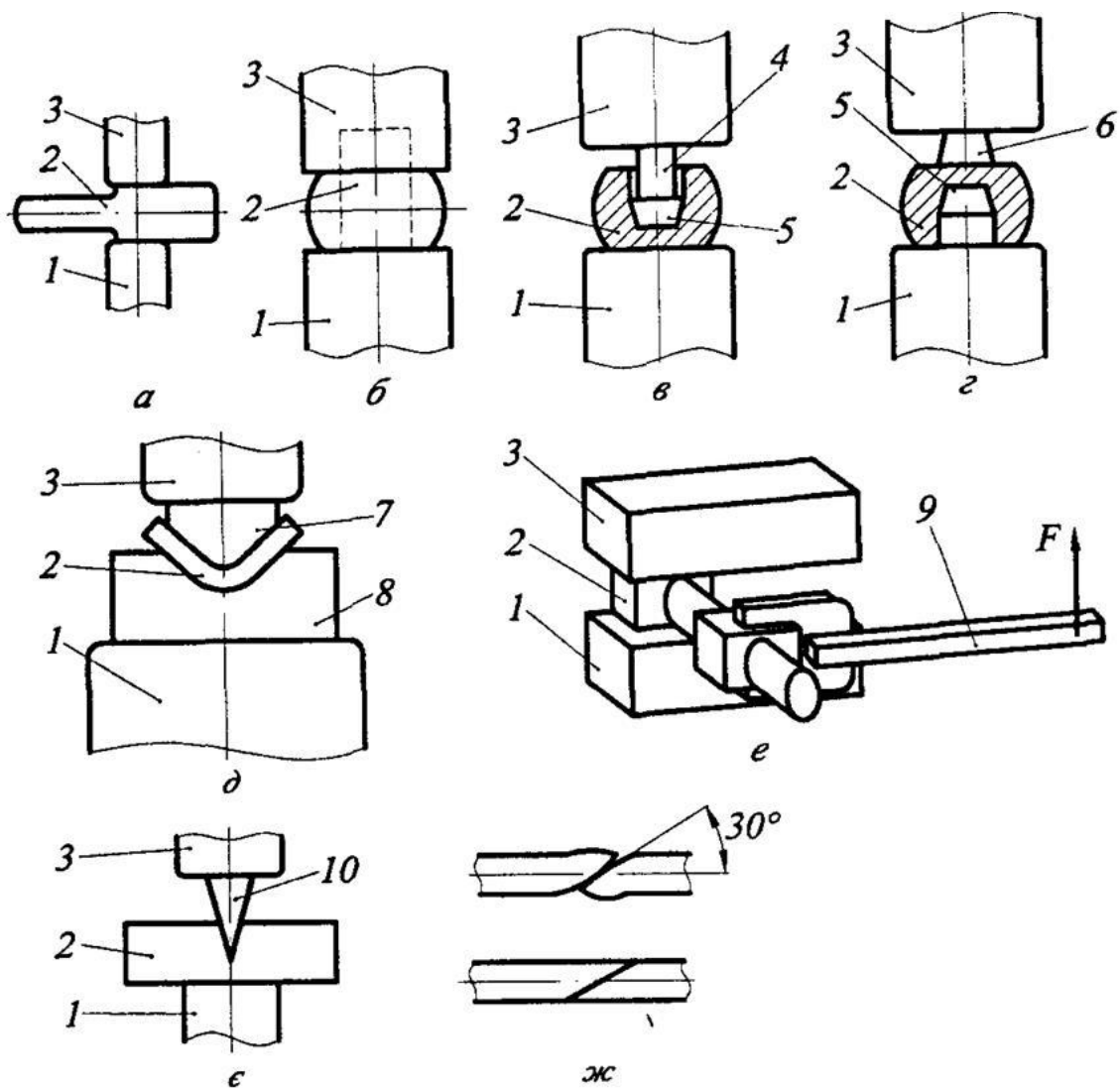


Рис. 23. Видовження (а); сплющування (б); пробивання (в, г); гнуття (д); кручення (е); рубання (е); ковальське зварювання (ж): 1, 3 – нижній і верхній ударник; 2 – заготовка; 4 – надставка; 5, 6 – прошивень; 7, 8 – половини штампа; 9 – вилка; 10 – сокира; F – сила.

Сплющування застосовують для зменшення висоти та збільшення поперечного перерізу кованки. Заготовку 2 (рис. 23 б) кладуть вертикально на плоский нижній ударник 1 і деформують верхнім ударником 3. **Сплющуванням** виготовляють кованки деталей, що мають великі поперечні розміри й малу висоту (зубчасті колеса, диски, фланці). **Висадка** – це місцеве потовщення при нагріві частини заготовки.

Кручення – це повертання однієї частини заготовки відносно

іншої на заданий кут відносно спільної осі. Одну частину заготовки 2 (рис. 23 є) затискають між ударниками 1 і 3, а другу частину повертають із зусиллям F за допомогою вилки 9. Заготовки колінчастих валів і великих свердел отримують крученням.

Пробивання використовують для утворення заглиблення або наскрізного отвору в кованці. Заготовку 2 (рис. 23 в) кладуть на нижній ударник 1 і верхнім ударником 3 втискають у неї прошивень 5 у вигляді зрізаного конуса. Після цього на прошивень накладають надставку 4 й продовжують його заглиблювати. Якщо потрібен наскрізний отвір, то надставку знімають, заготовку повертають на 180° і отвір прошивають остаточно іншим прошивнем 6 (рис. 23 г).

Гнуття – це викривлення заготовки за заданим контуром. Операцію здійснюють ударниками 1 і 3 (рис. 23 д) з використанням спеціальних пристроїв. Гнуття в підкладних штампах застосовують для виготовлення значної кількості однакових виробів 2. Штампи складаються з верхньої 7 і нижньої 8 половин. Скоби, кутники, кронштейни, гаки отримують гнуттям.

Рубання – це розділення заготовки на дві частини. **Рубання** застосовують для отримання з довгої заготовки певної кількості коротких або для відокремлення зайвого металу. Інструментом для рубання є прямі або фасонні сокири. Заготовку 2 (рис. 23 є) кладуть на нижній ударник 1, і ударом верхнього ударника 3 заглиблюють сокиру 10 в метал. Коли залишився невеликий перешийок, заготовку повертають на 180° і призматичною відсічкою закінчують операцію.

Ковальське зварювання – це з'єднання двох нагрітих заготовок під шаром флюсу. Цим способом з'єднують низьковуглецеві сталі при температурі $\approx 1350^\circ\text{C}$ у випадках, коли відсутні сучасні способи зварювання.

Вільне кування

Вільним куванням називається процес деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса (рис. 24).

Нагрітий метал вільно переміщається від центра заготовки в сторони. **Вільним куванням** виготовляють поковки простої форми.

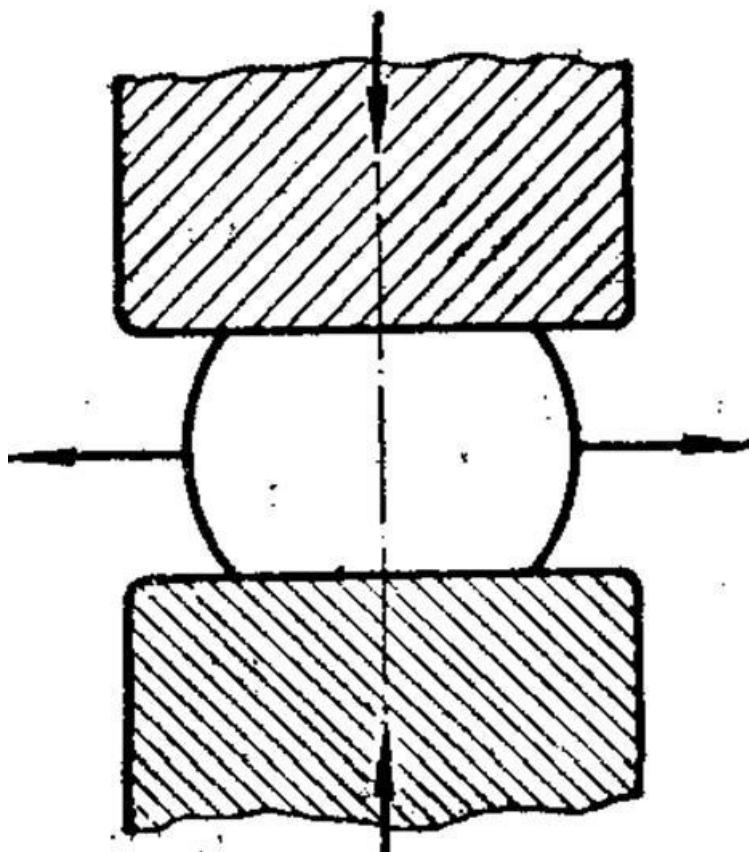


Рис. 24. Схема вільного кування

Розробка технологічного процесу кування

Розробка технологічного процесу кування складається з розробки креслення, визначення розмірів вихідної заготовки, вибору й послідовності операцій кування.

Креслення поковки складають на основі креслення деталі з урахуванням допусків на поковку, припусків на механічну обробку й напусків (рис. 25 а). Для деталей складної форми (з фланцями, виступами, заглибленнями) форма поковки спрощується. Збільшений у такому разі припуск називається **напуском**.

Розміри вихідної заготовки передбачають з урахуванням відходів на вигар, додаток, обрубкування та уковування.

Вибір і послідовність операцій кування. Для суцільних деталей круглого та прямокутного перерізів (осі, вали, колони, бруски, пластини та ін.) операціями кування є протягування, осадка, прошивання, рубання. Для валів і гаків потрібні згинання і закручування додатково. Для порожнистих деталей (бандажі, диски, кільця) застосовують осадку, протягування, прошивання, рубання.

Креслення поковки шестерні (а) і схеми технологічного процесу кування важеля з вилкою (б-ж) наведені на рис. 25.

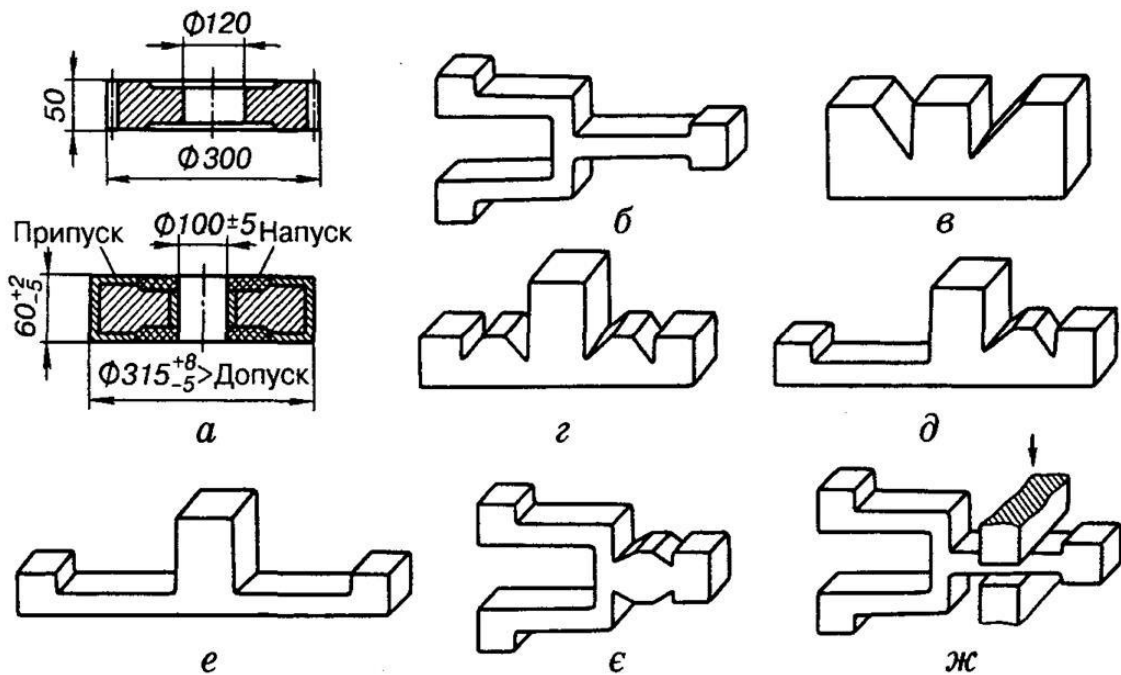


Рис. 25. Операції протягування (г, д, е, ж), надрубання (в, г, є), згинання (є).

Приклад послідовності операцій і переходів вільного кування приведена технологічна карта при виготовленні шестерні наведено на в табл. 4.

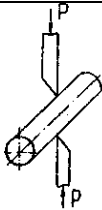
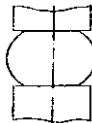
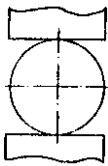
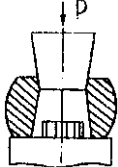
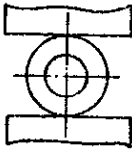
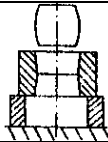
Кувальний молот

Кувальні молоти – це машини динамічної (ударної) дії, на яких деформування за один удар триває тисячні частки секунди. Кінетичну енергію рухомих частин до моменту удару використовують для деформації заготовки. **Основна характеристика кувального молота** – маса рухомих частин.

Схема пароповітряного кувального молоту наведено на рис. 26.

Пароповітряний кувальний молот приводиться в дію парою (0,7...0,9 МПа) або стисненим повітрям (до 0,7 МПа). **Молот** складається зі станини 8, на якій змонтовано робочий циліндр 1. Поршень 2 зі штоком 3 переміщається в циліндрі 1. До нижнього кінця штока закріплюється баба 4, у нижній частині якої змонтований верхній ударник 5.

Таблиця 4. Технологічна карта виготовлення шестерні

№ операції	Назва операцій і переходів	Ескізи операцій і переходів	Обладнання	Інструмент	Температурний інтервал кування, °С	Температура термічної обробки поковки, °С
1	Рубка заготовки		Механічні ножиці	Ножі (верхні, нижній)		
2	Нагрів заготовки		Піч		1200... 1250	
3	Осадка заготовки		Молот	Бойки, кронциркуль	1250... 850	
4	Обкатка бочкоподібної поверхні		Молот	Той самий інструмент	1000... 850	
5	Підігрів		Піч		1200... 1250	
6	Пробивка отвору		Молот	Бойки, прошивки, оправка	1250... 1000	
7	Обкатка по периметру		Молот	Бойки, кронциркуль	1000... 850	
8	Підігрів		Піч		1100	
9	Калібрівка отвору		Молот	Калібр, бойки, оправка	1100... 850	
10	Відпал		Піч			650... 700

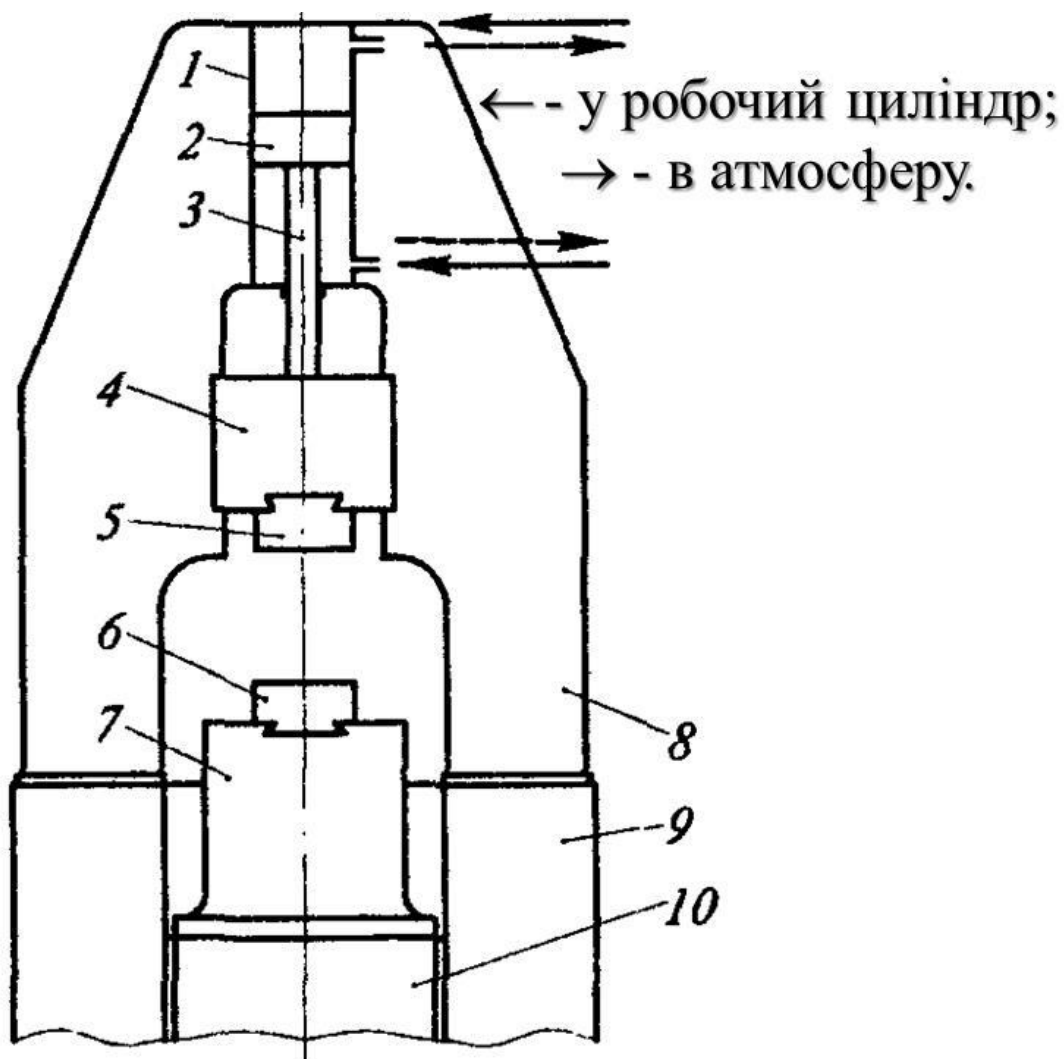


Рис. 26. Схема пароповітряного кувального молоту
 1 – робочий циліндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – баба;
 5, 6 – верхній і нижній ударники; 7 – шабот; 8 – станина;
 9 – фундамент молота; 10 – фундамент шабота.

Баба пересувається у вертикальних напрямках станини. Нижній ударник 6 закріплений на масивному шаботі 7. Станина та шабот встановлені на окремих фундаментах 9 і 10. Кувальна спроможність молота визначається масою рухомих частин: баби, верхнього ударника, штока і поршня. У сучасних пароповітряних молотах маса рухомих частин становить 0,5...5 т, а маса оброблюваних на них кованок – до 2...2,5 т.

Рухомі частини переміщуються вгору парю або стисненим

повітрям і падають униз під дією власної маси, ударяючи по заготовці. Більша маса шабота передає більшу частину кінетичної енергії рухомих частин на роботу деформації заготовки. Маса шабота приблизно у 15 разів перевищує масу рухомих частин.

Вибір інструменту і обладнання для виготовлення поковки

Вибір інструменту залежить від розмірів і конфігурації поковки, для отримання якої потрібно виконання зумовлених операцій: Наприклад, при куванні кільцевих поковок необхідні операції: осадка, прошивка, витяжка на оправці до діаметру. При виготовленні поковок типу валів основними операціями кування будуть витяжка і правка. В зв'язку з цим при виборі інструменту в кожному конкретному випадку студенту необхідно користуватись плакатами вільного кування заготовок.

Вибір обладнання проводиться за масою падаючих частин ковальських молотів в залежності від розмірів заготовки і виду операцій вільного кування, для виконання яких необхідно затратити максимальне зусилля (табл. 4).

Таблиця 4. Дані для вибору маси падаючих частин ковальського молота

Маса падаючих частин молота, кг	Максимальний переріз заготовки (сторона квадрата або діаметр заготовки), мм	
	Осадка	Витяжка
100	50	90
200	70	120
300	85	140
400	100	160
500	115	180
750	135	200
1000	160	230
2000	225	280
3000	270	330
5000	350	400

Гідравлічний кувальний прес

Гідравлічний кувальний прес – це машина, що статично деформує заготовку за допомогою тиску рідини. Основна характеристика гідравлічного кувального преса – максимальне зусилля, яке він може розвивати.

Схема гідравлічного кувального преса наведено на рис. 27.

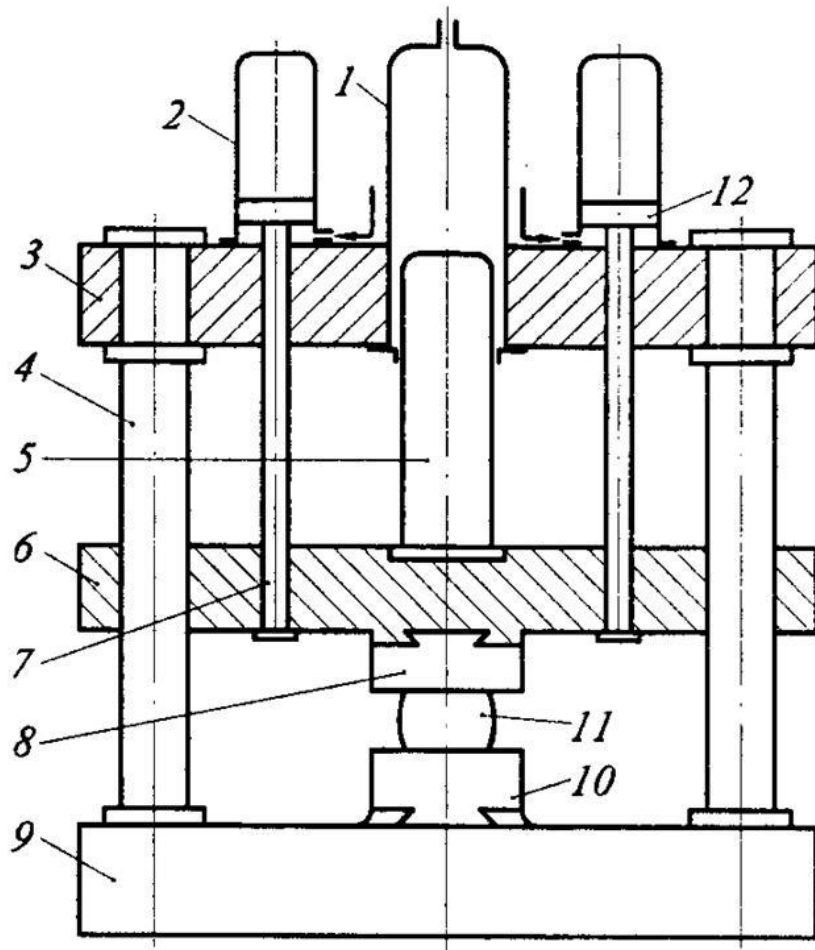


Рис. 27. Схема гідравлічного кувального преса:
1 – робочий циліндр; 2 – циліндр; 3 – поперечка;
4 – напрямна колона; 5 – плунжер; 6 – траверса;
7 – тяга; 8, 10 – верхній і нижній ударник;
9 – нижня плита; 11 – заготовка; 12 – поршень.

ПРЕСУВАННЯ ТА ВОЛОЧІННЯ МЕТАЛІВ

Пресування

Пресуванням називають такий вид обробки тиском, коли метал витискується із замкнутої порожнини крізь отвір, що відповідає перерізу отриманого виробу.

Пресуванням виготовляють суцільні й порожнисті вироби простого і складного профілів з алюмінію, міді, титану, магнію, цинку та їх сплавів, а також з вуглецевих і легованих сталей.

Профілі виробів, що отримують пресуванням наведено на рис. 29

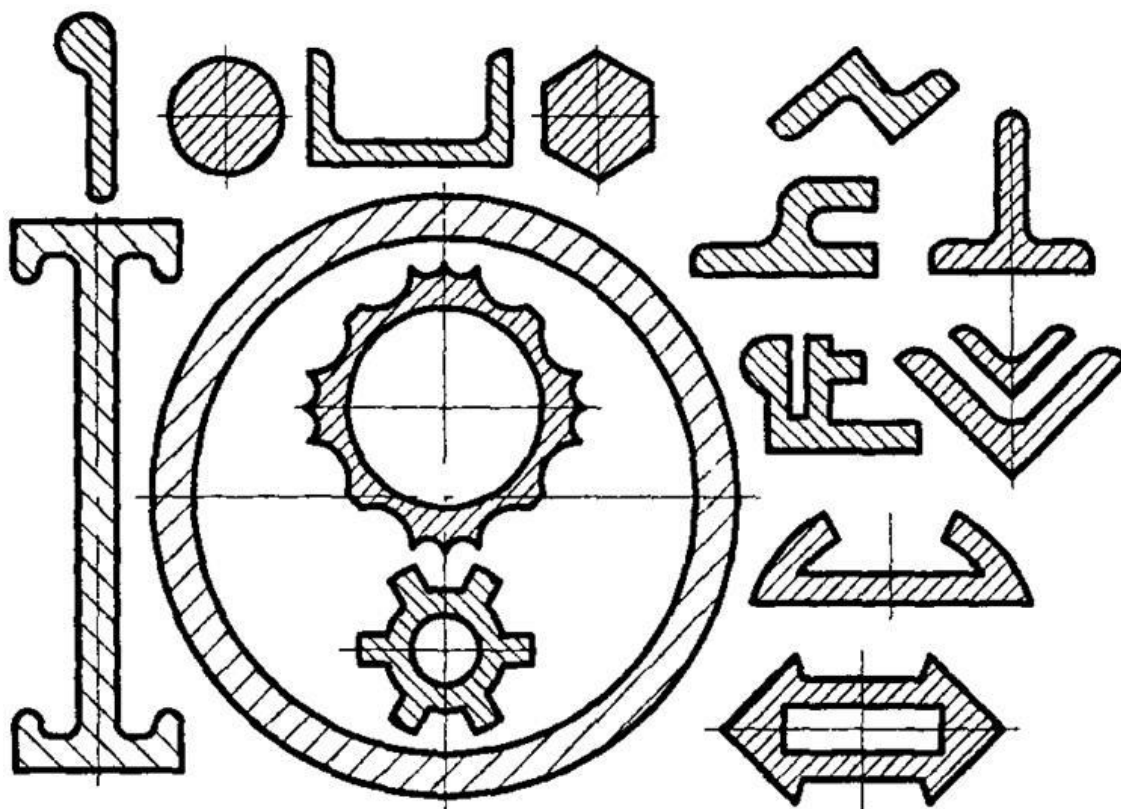


Рис. 28. Профілі виробів, що отримують пресуванням

Пресування виконують двома методами – **прямим і зворотним**

Пряме пресування

Пресування суцільних виробів. Напрямок виходу з матриці 3 виробу 1 (стрілка А) співпадає з напрямком руху пуансона 5 (стрілка Б) (рис. 29).

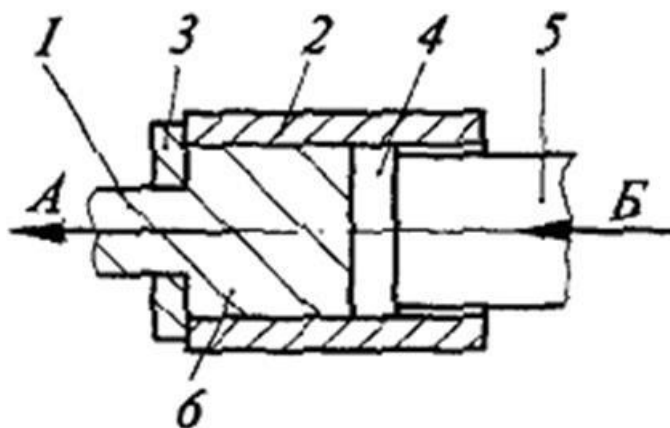


Рис. 29. Схема прямого пресування суцільних виробів

Заготовку 6 вставляють у порожнину контейнера 2, на лівому торці якого закріплена матриця 3, що має отвір заданого профілю. З правого боку в контейнер вводять пуансон із закріпленою на ньому прес-шайбою 4. Під тиском прес-шайби метал заготовки витісняється назовні крізь отвір матриці, набуваючи його профілю і розмірів.

Пряме пресування порожнистих виробів

Схема прямого пресування труб (1) наведено на рис. 30.

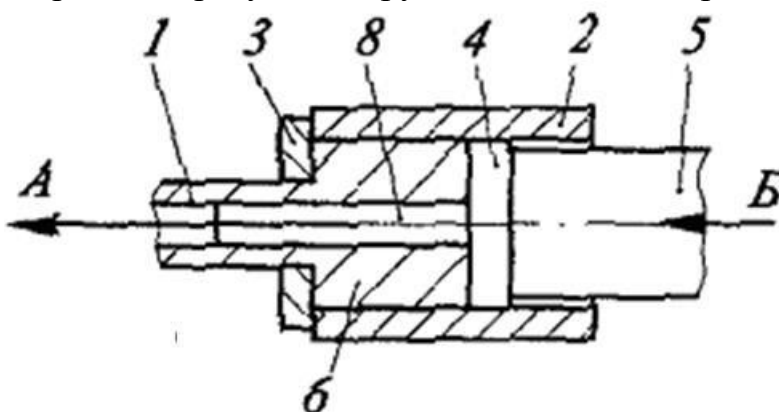


Рис. 30. Схема прямого пресування труб

Сталеву голку 8 закріплюють до прес-шайби 4. У заготовці 6, вставленій у контейнер 2, голкою 8 попередньо прошивають наскрізний отвір. Під час робочого руху прес-шайби метал заготовки витісняється в порожнину.

Зворотне пресування

Зворотне пресування характеризується тим, що напрям виходу з матриці 3 виробу 1 (стрілка А) протилежний напрямку руху пуансона 5 (стрілка Б) (рис. 31).

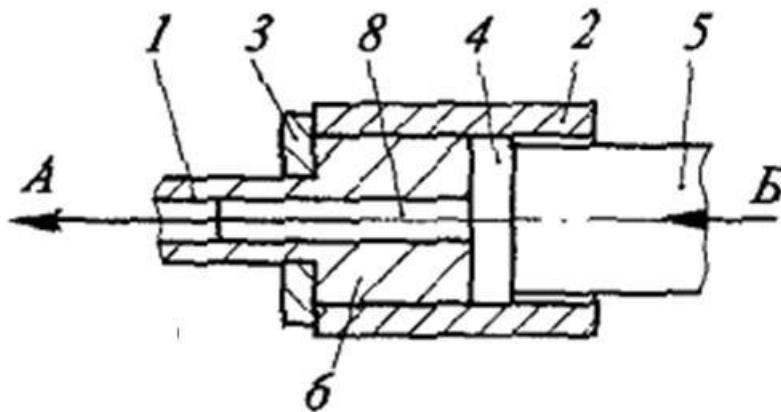


Рис. 31. Схема зворотного пресування

Заготовку 6 вставляють у глухий контейнер 2, і вона під час пресування не переміщається відносно стінки контейнера. Тому відсутнє тертя між контейнером і заготовкою, що зменшує на 25% зусилля пресування порівняно з прямим методом.

Коефіцієнт видовження металу (μ) для пересування становить від 8 до 50 і визначається як відношення площі поперечного перерізу контейнера S_k до сумарної площі поперечного перерізу отворів матриці S_m : $\mu = S_k / S_m$.

Щоб забезпечити високу **якість виробів**, із заготовок **перед нагріванням усувають поверхневі дефекти**, а після нагрівання – **окаліну**.

Волочіння

Волочіння полягає у протягуванні вальцьованих або пресованих заготовок крізь отвір, поперечний переріз якого менший за поперечний переріз заготовки, а конфігурація отвору формує заданий профіль виробу (рис. 32).

Інструментом для волочіння є волока. Вона має робочий отвір,

що складається з чотирьох зон: вхідної або мастильної I, деформувальної II, калібрувальної III та вихідної IV.

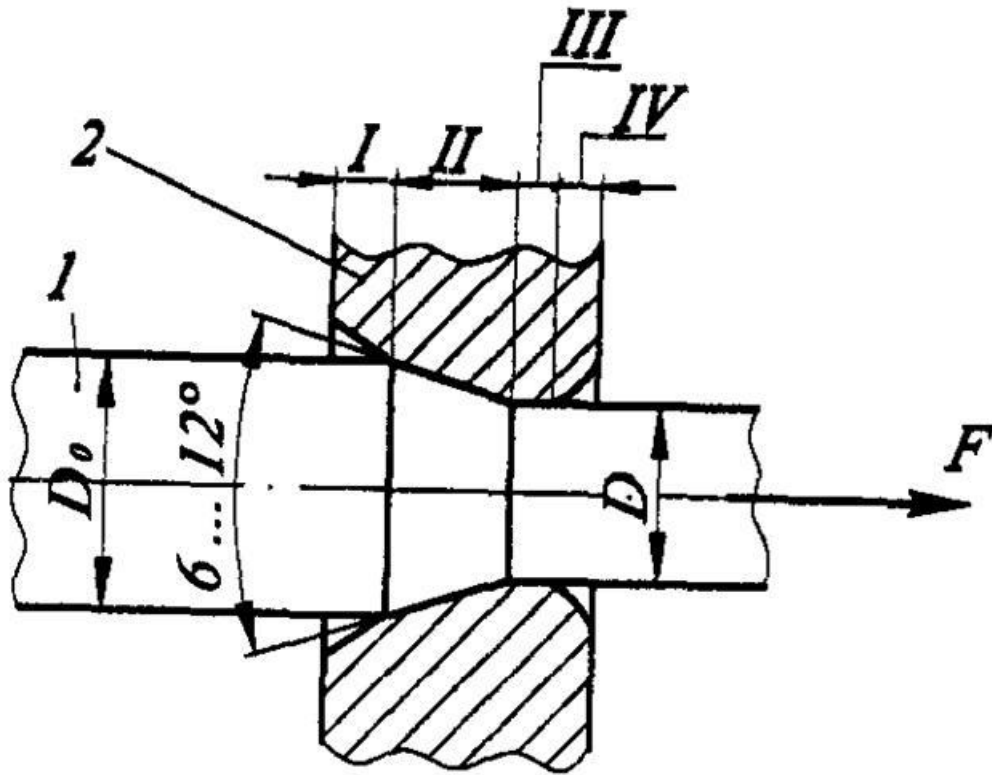


Рис. 32. Схема волочиння:

1 - заготовка; 2 - волока.

Зони: I- вхідна, II – деформувальна,

III – калібрувальна, IV – вихідна.

D_0 і D - діаметри заготовки до і після волоки;

F - тягова сила

Кут конуса деформувальної зони становить від 6 до 12°. Калібрувальна зона довжиною від 2 до 10 мм остаточно формує заданий профіль, його розміри та забезпечує високу якість обробленої поверхні.

Напруження розтягу має бути менше від $0,6\sigma_m$ (де σ_m – границя міцності оброблюваного матеріалу), щоб уникнути руйнування заготовки. Волоки застосовують із полірованими отворами й змазаними контактними поверхнями заготовки, що істотно зменшують сили тертя та підвищують якість обробки. Для змащення використовують мильний порошок, графіт, водянні емульсії на основі мила й мінеральної оливи.

Волоки виготовляють з інструментальних сталей, твердих сплавів, а для волочіння дуже тонкого дроту – з технічних алмазів.

Вихідними заготовками для волочіння є дріт, сортовий прокат круглого, квадратного або шестикутного профілю та труби зі сталей, кольорових металів та їх сплавів.

Волочінням виробляють дріт діаметром від 0.002 до 10 мм, фасонні профілі, калібрують (підвищують точність розмірів і якість поверхні) прутки діаметром від 3 до 150 мм і труби.

Волочильні стани

Волочильним станом називають машину, що призначена для волочіння металів. **Волочильний стан** складається з тягового пристрою, приводу й інструменту. **Волочильний стани** поділяють, залежно від траєкторії тягового пристрою, на:

- **періодичної дії з прямолінійним рухом заготовки;**
- **безперервної дії з намотуванням заготовки.**

Волочильні стани з прямолінійним рухом заготовки (ланцюгові, рейкові та інші) застосовують для волочіння й калібрування **прутків, труб і фасонних виробів**, які не можна намотувати в бунти. На сучасних станах можна одночасно обробляти 4...8 заготовок довжиною до 8 м. Тягова сила цих станів доходить до 1,5 МН.

Ланцюгові волочильні стани періодичної дії

Схема ланцюгового волочильного стану періодичної дії наведена на рис. 33.

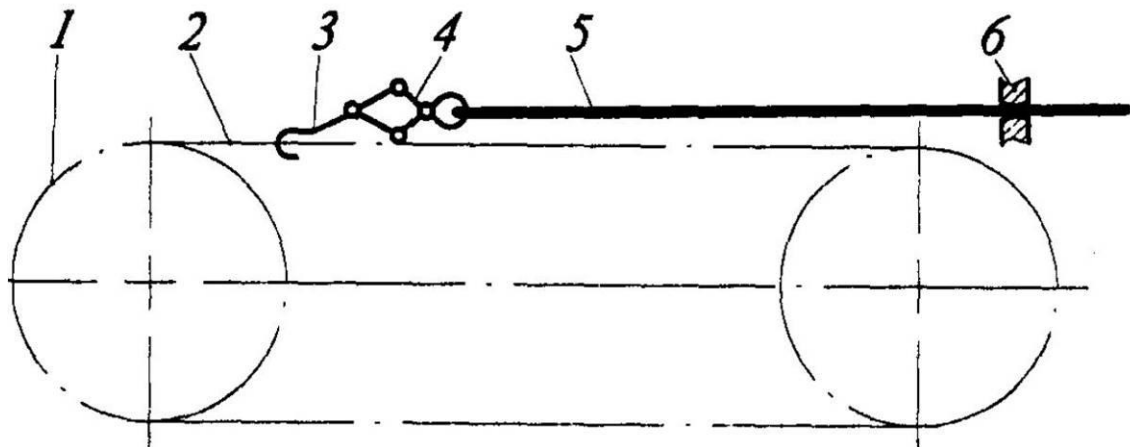


Рис. 33. Схема ланцюгового волочильного стану періодичної дії

Тягова зірка 1 рухає замкнутий шарнірно-пластинчастий ланцюг

2. За допомогою гака 3 і кліщів 4 ланцюг протягає заготовку 5 крізь отвір волоки 6. Після виходу заготовки з волоки тягова сила зменшується, гак під дією протитяги зіскакує з ланцюга й повертається в початкове положення.

Барабанний стан одноразового волочіння безперервної дії

Барабанний стан одноразового волочіння складається з вертлюга 1 з насадженою вихідною заготовкою 2 (рис. 34). Кінець заготовки 2 проводять крізь отвір волоки 3 та закріплюють на барабані 4, який обертається від електродвигуна Д редуктором 6 і зубчастою передачею 5. Після волоки дріт намотується на барабан 4.

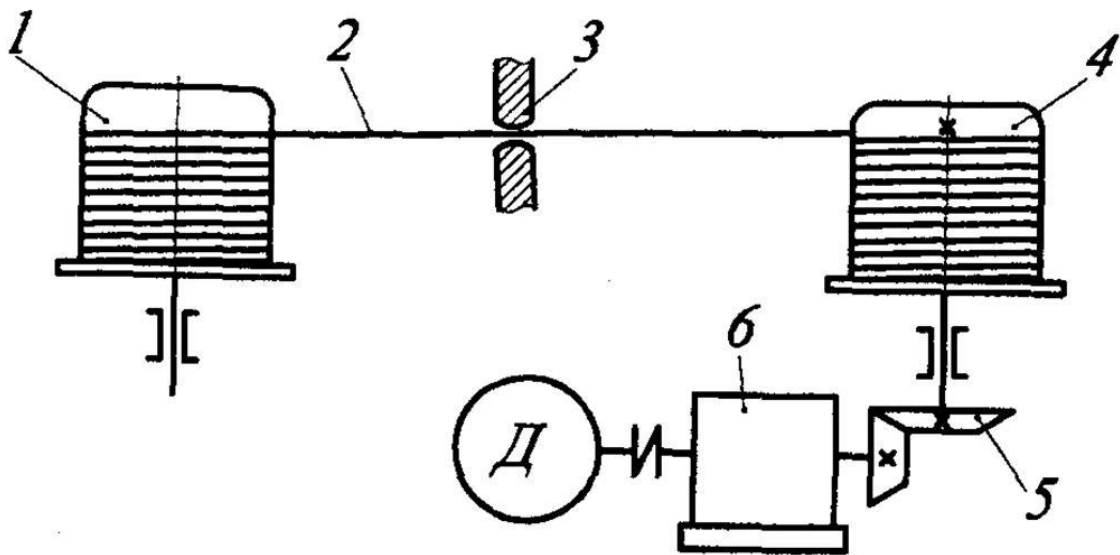


Рис. 34. Схема барабанного стану одноразового волочіння

Барабанний стан багаторазового волочіння

Барабанні стани багаторазового волочіння призначені для виробництва тонкого дроту, який проходить через значну кількість послідовно розташованих волоків (до 20 і більше) (рис. 35).

Кінець дроту 1 пропускають крізь отвір першої волоки 2, намотують кілька витків на барабан 3, потім пропускають крізь отвір другої волоки, намотують на другий барабан і закріплюють на приймальному барабані 4. Електродвигун Д через редуктор 6 і зубчасті передачі 5 надає обертальний рух барабанам. Швидкість дроту в останніх волоках досягає від 50 до 60 м/с.

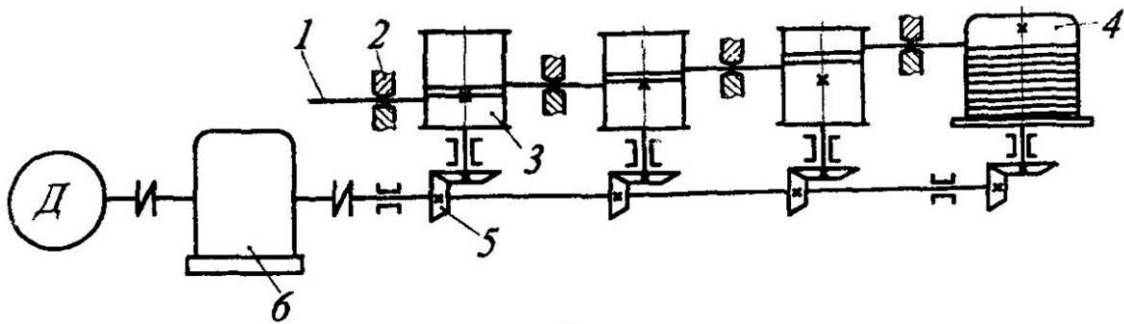


Рис. 35. Схема барабанного стану багаторазового волочіння

ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ

Об'ємним штампуванням називають спосіб обробки металів тиском, при якому заготовка розташовується в робочій порожнині спеціального інструменту (штампу), пластично деформується, набираючи конфігурації й розмірів порожнини. Стінки робочої порожнини штампа обмежують переміщення оброблюваного матеріалу й забезпечують йому задану геометрію.

Технологія об'ємного штампування.

Вихідну заготовку нагрівають у печі, виймають із печі, кладуть у нижню частину штампа та верхньою частиною штампа створюють тиск, внаслідок чого заготовка набуває конфігурації порожнини штампа. Після цього штамп розкривають і виймають кованку.

Вироби зі сталей, кольорових металів та їх сплавів у великосерійному й масовому виробництві для **автомобілів, тракторів, сільгоспмашин, вагонів, верстатів, літаків** виготовляють об'ємним штампуванням.

Штамп складається нижньої нерухомої частини 1 і верхньої рухомої частини 3 (рис. 36). Кованку 2 простої конфігурації виготовляють у штампах, що мають одну спільну робочу порожнину (рівчак). Конфігурація робочої порожнини штампа геометрично подібна до конфігурації кованки, а розміри більші за розміри кованки на величину лінійної усадки матеріалу, що оброблюється. Лінійна усадка для сталі в становить 1,5 %.

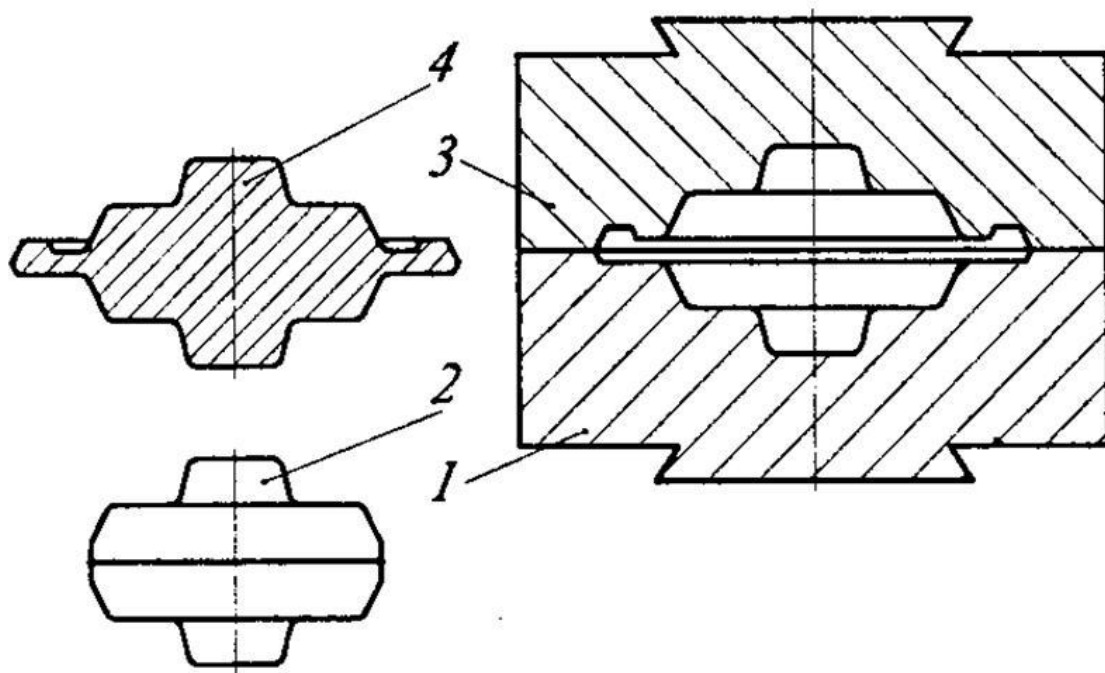


Рис. 36. Схема об'ємного штампування:
 1 – нижня частина штампа; 2 – кованка;
 3 – верхня частина штампа;
 4 – кованка з невідокремленим облоєм

Відкриті та закриті штампи

Відкриті штампи мають у площині рознімання уздовж зовнішнього контура робочої порожнини спеціальний рівчак (канавку), куди витісняється надлишковий метал заготовки, що утворює облой (рис. 37 а). Канавка для облою складається з вузького містка 1 і магазину 2. Облой відокремлюють у спеціальних штампах. Відходи металу з облоєм становлять від 20 до 25% від маси кованки.

У **закритих штампах** метал деформується в закритій порожнині, і облой не утворюється (рис. 37 б). Штампування в закритих штампах забезпечує більшу деформацію, поліпшення мікроструктури і дає можливість штампувати малопластичні сплави.

Холодне та гаряче об'ємне штампування

Холодне штампування виконують без нагрівання металу. Холодним штампуванням виготовляють невеликі кованки з підвищеною точністю розмірів, якістю поверхні й деформаційним зміцненням.

Гаряче штампування відбувається після нагрівання заготовок. При *гарячому штампуванні* витрачають менше енергії на деформацію.

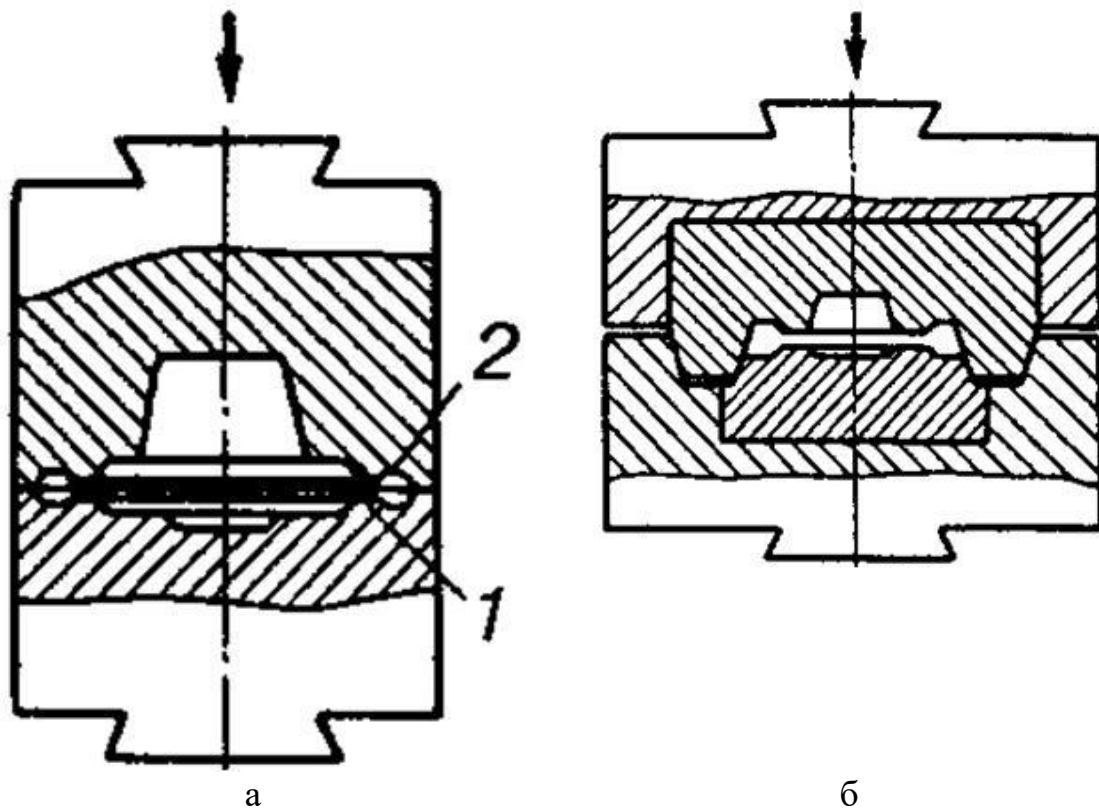


Рис. 37. Відкриті (а) та закриті (б) штампи

Устаткування для об'ємного штампування

Об'ємне штампування виконують на пароповітряних штампувальних молотах, кривошипних гарячощампувальних і гідравлічних штампувальних пресах.

Кривошипний прес

Кривошипний прес складається зі станини 4, стола 1, повзуна 3 і приводу (рис. 38).

Електродвигун Д передає рух від шківів 9 клиновими пасами 8 на шків 7, проміжний вал 11 із шестернею 12, яка з'єднана з зубчастим колесом 13 на кривошипному валі 10. Вмикаючи багатодискову фрикційну муфту 14, закріплюють зубчасте колесо 13 на валі 10, рух від якого передається через шатун 5.

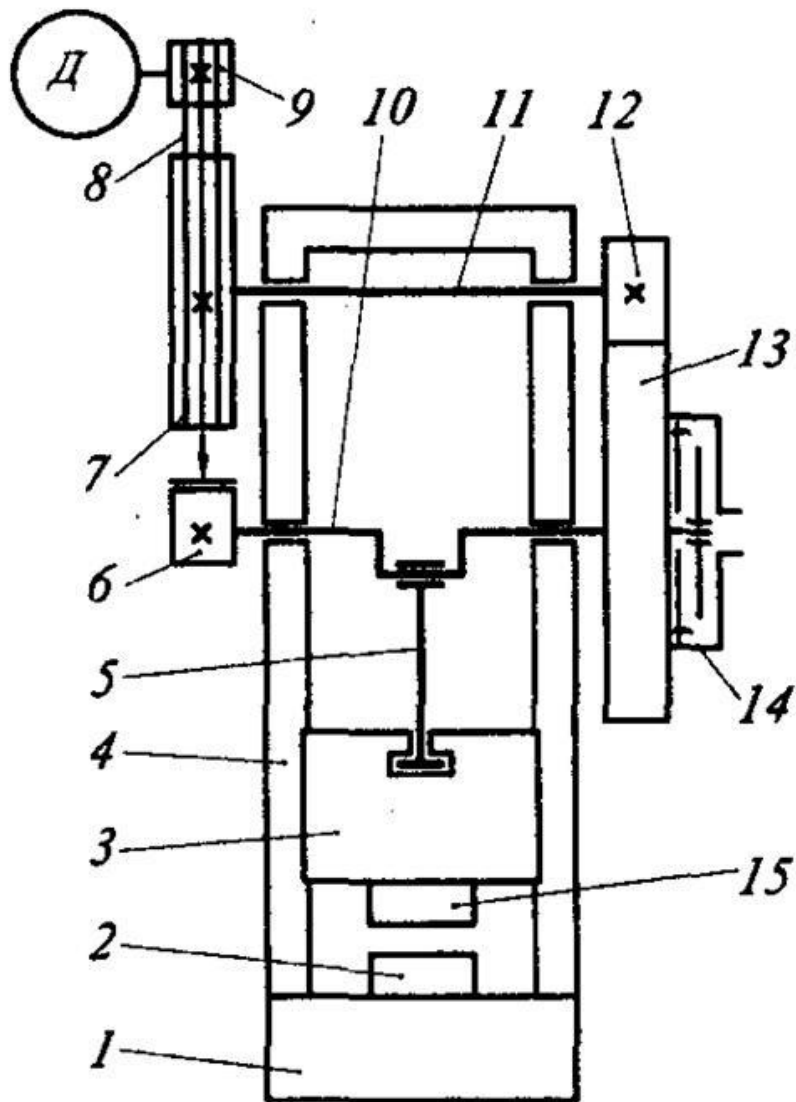


Рис. 38. Схема кривошипного пресу

1 – стіл; 2 – нижня половина штампа; 3 – повзун; 4 – станина; 5 – шатун; 6 – гальмо; 7, 9 – шківи; 8 – пас; 10 – кривошипний вал; 11 – проміжний вал; 12 – шестерня; 13 – зубчасте колесо; 14 – муфта; 15 – верхня половина штампа; Д – електродвигун.

Кривошипно-шатунний механізм перетворює обертання кривошипного валу у зворотно-поступальний рух повзуна. Повний хід повзуна дорівнює подвійному радіусу кривошипа. Щоб зупинити повзун у верхньому положенні, вимикають муфту 14 і одночасно вмикають гальмо 6. Верхню половину штампа 15 закріплюють на

повзуні, а нижню 2 – на столі.

Кривошипний прес подвійної дії

Прес має два повзуни – внутрішній 4 і зовнішній 9 (рис. 39).

Внутрішній повзун рухається від шатуна 7, зовнішній – від кулачків 5, закріплених на кривошипному валі 6. Зовнішній повзун у нижньому положенні притискає краї заготовки 2 до матриці 1, після чого внутрішній повзун деформує заготовку пуансоном 10. Закінчивши штампування, обидва повзуни рухаються вгору і там зупиняються.

Листове штампування та його операції

Листове штампування – це спосіб виготовлення тиском плоских і об'ємних деталей з листового матеріалу або стрічки у штампі. Для листового штампування матеріалом служать маловуглецеві сталі, пластичні леговані сталі, мідь, алюміній, титан і сплави на їх основі. Листовим штампуванням виготовляють шайби, втулки, посуд, ковпаки, гільзи, баки, облицювання автомобілів, автобусів, літаків, ракет, кораблів тощо.

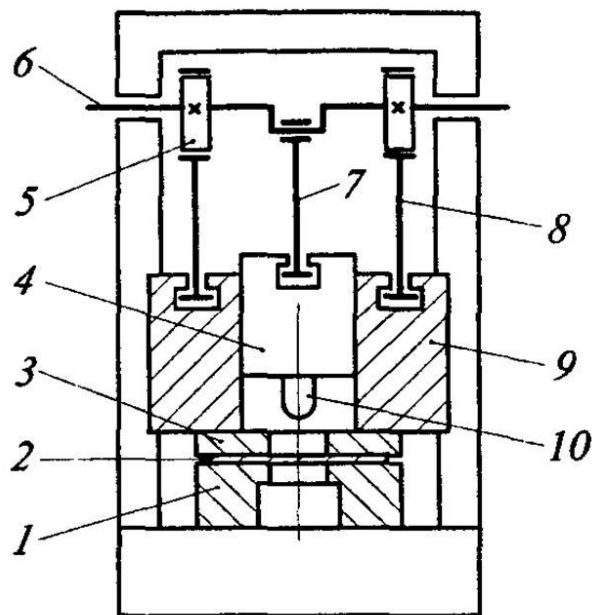


Рис. 39. Схема кривошипного пресу подвійної дії
1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискне кільце;
4, 9 – внутрішній і зовнішній повзун; 5 – кулачок;
6 – кривошипний вал; 7, 8 – шатун; 10 – пуансон.

Операції листового штампування поділяють на:

- **роздільні**, коли відокремлюють частину матеріалу від листа або стрічки за заданим контуром;
- **формозмінні**, коли утворюють об'ємну конфігурацію деталі;
- **штампо-складальні**, що використовуються для з'єднання кількох деталей в один вузол **запресуванням, клепанням, закручуванням, гнуттям** та ін.

Роздільні операції листового штампування

Відрізування – це відокремлювання частини матеріалу від вихідної заготовки по незамкненому контуру. Вістря плоских ножів розташовують під кутом $1-5^\circ$, щоб зменшити зусилля різання. Гільйотиною називаються ножиці зі скісними ножами. Дискові ножі при обертанні відрізають матеріал по прямій або кривій лінії. Перед відрізуванням лист 2 кладуть на стіл 1 і нерухомий (нижній) ніж 7 та пересувають до упору 6. Верхній ніж 5 опускається на лист 2, що утримується притискачем 3 та пружиною 4 (рис. 40).

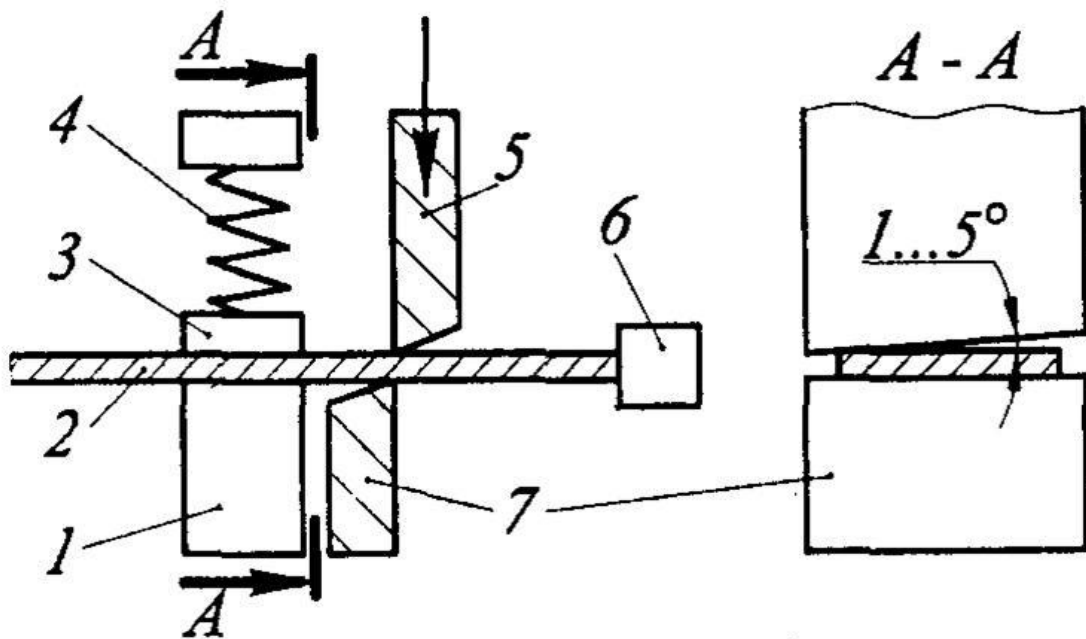


Рис. 40. Схема ножиць для відрізування:

- 1 – стіл; 2 – заготовка; 3 – притискач; 4 – пружина;
5, 7 – верхній і нижній ніж; 6 – упор.

Пробивання – це отримання отвору в заготовці шляхом відокремлювання матеріалу по замкненому контуру. Сила, необхідна для вирізування і пробивання, прямо пропорційна периметрові різку, товщині матеріалу й його міцності на розтяг.

Пуансон 4 і матрицю 1, які виконують роль ножів, закріплюють до верхньої і нижньої плит штампа (рис. 41).

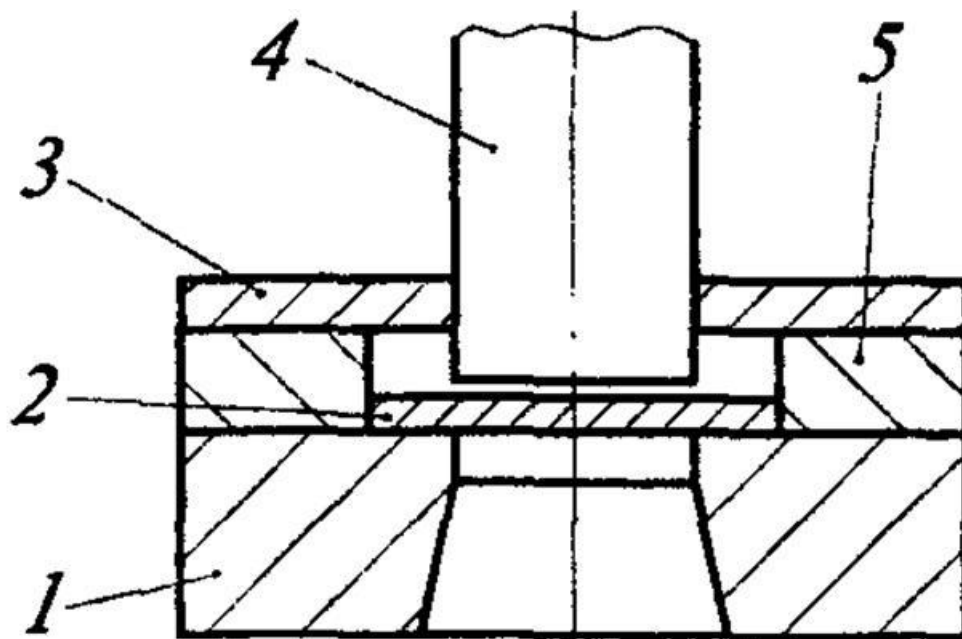


Рис. 41. Схема пристрою для пробивання:
1 – матриця; 2 – заготовка (стрічка); 3 – знімач;
4 – пуансон; 5 – напрямна лінійка.

Стрічку 2 пересувають між напрямними лінійками 5. Стрічку з пуансона зсуває знімач 3. Нижню частину штампа кріплять до стола преса, а верхню його частину – до повзуна.

Вирізуванням називається відокремлювання від заготовки частини матеріалу у вигляді виробу по замкненому зовнішньому контуру.

Формозмінні операції листового штампування

Витягування – це виготовлення порожнистої просторової деталі з листової заготовки. Розрізняють витягування без стоншування стінки та зі стоншуванням стінки. У випадку витягування без стоншування стінки заготовку 2 кладуть на матрицю 1 і затискають притискним кільцем 3 (рис. 42). Після цього пуансон 4 опускають, і

він зтягує матеріал заготовки в зазор між пуансоном і матрицею. Величина зазору більша за товщину заготовки на 10 - 30%.

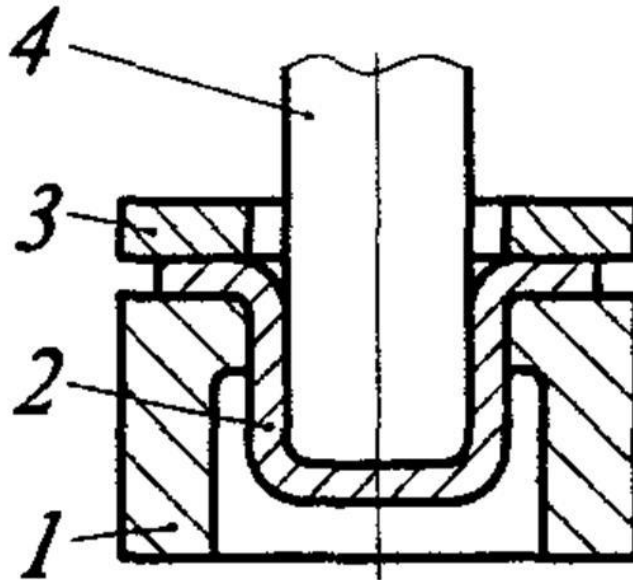


Рис. 42. Схема штампа для витягування:
1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискне кільце;
4 – пуансон.

Формозміну матеріалу оцінюють коефіцієнтом видовження k_v , який визначається як $k_v = D/d$, де D – діаметр вихідної заготовки, мм; d – зовнішній діаметр виробу, мм. Допустимі значення $k_v = 1,8—2,1$.

Гнуття – це операція, що змінює кривизну заготовки без зміни її лінійних розмірів. Гнуття відбувається в штампі. У місці згину зовнішні шари заготовки розтягуються, а внутрішні – стискаються. Кут пружинення залежить від радіуса згину та властивостей матеріалу і становить $1-8^\circ$.

Відбортовування – це утворення навколо отвору або по зовнішньому контуру борта. Пуансон 3 витискає в матрицю 1 частину заготовки 2 і утворює борт (рис. 43).

Обжимання – це зменшення діаметра трубчастій заготовці шляхом заштовхування її частини у отвір верхньої частини матриці (рис. 44).

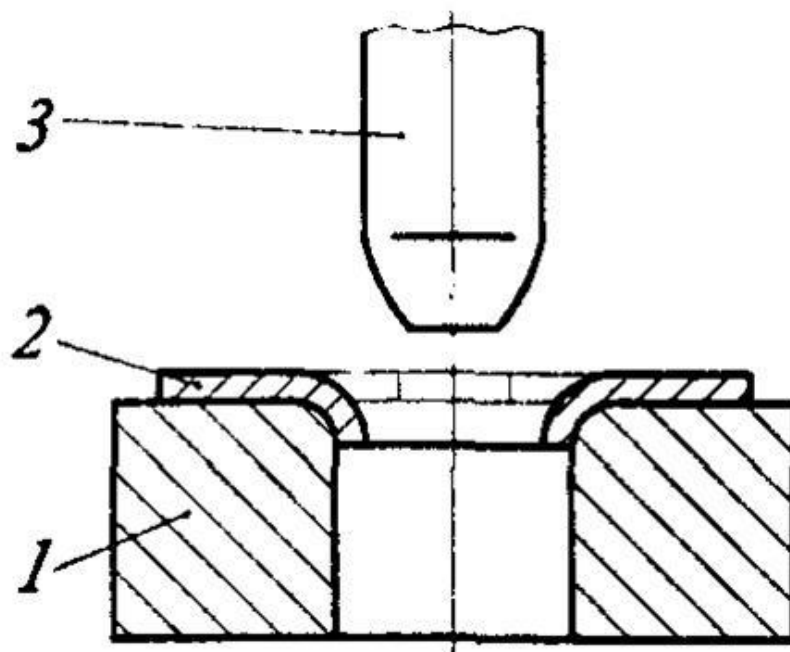


Рис. 43. Схема відбортовування

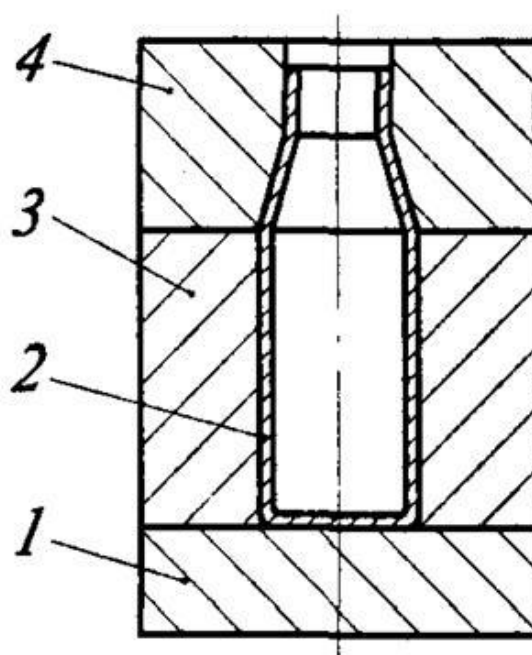


Рис. 44. Схема штампа для обжимання:
1 – нижня, 3 – середня, 4 – верхня частини матриці; 2 – заготовка.

Штапування вибухом

Штапування вибухом застосується при виготовленні великогабаритних деталей зі сплавів, які важко деформуються. На фронті ударної хвилі тиск досягає значної величини. Штамп 11 розміщують на дні або біля стінки залізобетонного басейна з водою (рис. 45). Заготовка затискається притискачем 15. Для відведення повітря з порожнини матриці є трубка 12. Навпроти отвору в притискачі встановлюють вибухову речовину 13. Вибух здійснюється з допомогою електродетонатора 14. У результаті вибуху у воді утворюється ударна хвиля, яка діє на заготовку.

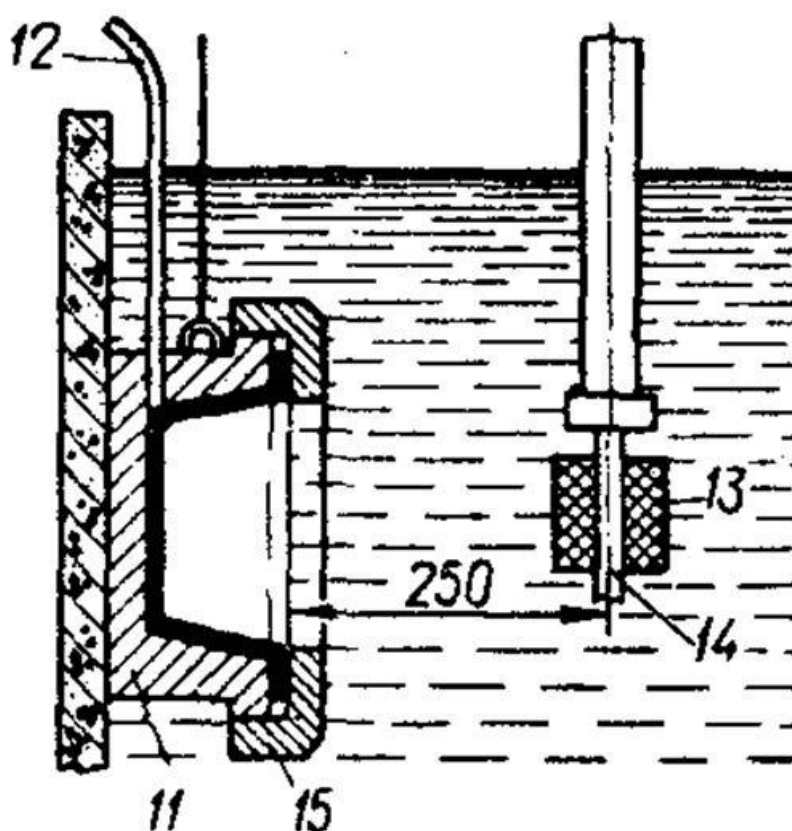


Рис. 45. Схема штапування вибухом.

Переваги та недоліки листового штампування

Переваги:

- висока точність розмірів і якість поверхні;
- висока продуктивність (до 4000 штук деталей за зміну);
- можливість механізації та автоматизації виготовлення штамповок;
- низька кваліфікація робітників.

Недолік:

висока вартість штампів.

2. ПРАКТИЧНІ ПИТАННЯ

1. Назвати основні види обробки металів тиском і дати їх визначення.
2. Привести схеми методів обробки металів тиском.
3. Дати перелік обладнання, інструменту та пристосувань, які використовуються при вільному куванні.
4. Накреслити схему організації робочого місця коваля в навчальній майстерні.
5. Описати будову і принцип роботи ковальського горна.
6. Дати схеми операцій вільного кування металу.
7. Як визначають температуру нагріву сталі при обробці її тиском?
8. Дати визначення поняттям "перегрів" і "перепал" сталі.
9. Як можна усунути явище перегрітого металу?
10. Що таке угар металу і яка його величина в залежності від методу нагріву заготовок?
11. Як змінюється будова і властивості при холодній і гарячій обробці сталі тиском?
12. Дати визначення поняттю "наклеп".
13. З якою метою проводять рекристалізаційний відпал деформованих виробів?
14. За варіантом, що надав викладач (табл. 5) визначити середній хімічний склад сталі (мас. частка %), температури рекристалізації ($t_{рек}$, °C), початку ($t_{поч}$, °C) та закінчення ($t_{зак}$, °C) обробки тиском, час нагрівання (τ , год) та масу маси падаючих частин ковальського молота (m, кг)

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 5.

Таблиця 5. Вихідні дані для розрахунку температури рекристалізації ($t_{рек}$, °C), початку ($t_{поч}$, °C) та закінчення ($t_{зак}$, °C) кування, часу нагрівання (τ , год) та маси падаючих частин ковальського молота (m , кг)

№ варіанту	Марка сталі	t_{Ac3} , °C	$t_{solidus}$, °C	Діаметр або сторона квадрата заготовки, мм		Відстань між заготовками, мм	Операції кування	
				Круг	Квадрат		Осадка	Витяжка
1	15	863	1512	50	-	0	+	-
2	20	850	1506	-	60	30	-	+
3	30	820	1490	70	-	140	+	-
4	35	810	1484	-	80	120	-	+
5	40	790	1480	90	-	0	+	-
6	45	760	1475	-	100	50	-	+
7	50	755	1466	110	-	220	+	-
8	60	750	1456	-	120	180	-	+
9	20Г	830	1490	130	-	0	+	-
10	35Г	812	1497	-	140	70	-	+
11	45Г	785	1475	150	-	300	+	-
12	32Х	817	1495	-	160	240	+	-
13	40Х	815	1492	170	-	0	-	+
14	60Х	760	1458	-	180	90	+	-
15	20Ф	860	1495	190	-	380	-	+
16	45Ф	840	1490	-	200	300	+	-
17	20ГС	840	1482	210	-	0	-	+
18	35ХГС	835	1486	-	220	110	+	-
19	30ГС	830	1480	230	-	460	-	+
20	80ГС	730	1436	-	240	360	+	-
21	15ХМФ	839	1495	250	-	0	-	+
22	20ХМ	815	1494	-	260	130	+	-
23	30ХНМ	790	1480	270	-	540	-	+
24	35ХМ	800	1486	-	280	420	+	-
25	35ХМФ	830	1560	290	-	0	-	+

Висновки

Список використаної літератури

1. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Металургія. Видавничий центр НАУ, 2005р.-с. 115.
2. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Металознавство. Видавничий центр НАУ, 2006 р.-с. 386.
3. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник. /Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин.: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф"".2011. - 792с.
4. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник Херсон: Олді Плюс, 2013.- с 548.
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів/ А.С. Опальчук, Афтанділянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин, ПП Лисенко М.М., 2013р. - 752с
6. Практикум з матеріалознавства. Навчальний посібник / Котречко О. О. Зазимко, К.Г. Лопатько, Є.Г. Афтанділянц, В. В. Гнилокурунко.// Херсон: Олді Плюс, 2013.-с. 500
7. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. К. Техніка, 2002. – с. 374.
8. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000.-с.264.
9. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми. Університетська книга, 2002.-с.259.

Зміст

	Стор.
Вступ	3
Вимоги техніки безпеки при виконанні практичних занять	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ	6
Фізико-технологічні основи деформації металів	6
Прокатування та кування заготовок	22
Пресування та волочіння металів	40
Об'ємне штампування	47
Листове штампування та його операції	51
Штампування вибухом	56
2. ПРАКТИЧНІ ПИТАННЯ	57
Список використаної літератури	59
Зміст	60