

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Д. О. Міненко,  
В. О. Іванов

**ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА  
ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Суми  
Сумський державний університет  
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА  
ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів напряму підготовки 6.050502  
«Інженерна механіка» за професійним спрямуванням  
«Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

Затверджено  
на засіданні кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів як конспект лекцій із  
дисципліни «Технологічні методи  
виробництва заготовок деталей  
машин».  
Протокол № 3 від 29.10.2014 р.

Суми  
Сумський державний університет  
2014

Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : конспект лекцій / укладачі : Д. О. Міненко, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 107 с.

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

## ЗМІСТ

	С.
Мета та завдання вивчення дисципліни .....	4
Сучасний стан заготівельного виробництва та його основне завдання .....	5
Загальні відомості про заготовки .....	6
ТЕМА 1. Заготовки, одержувані виливанням.....	10
ТЕМА 2. Способи виробництва виливних заготовок, їх технологічні характеристики.....	16
ТЕМА 3. Особливості оформлення креслень заготовок, технічні вимоги до них.....	22
ТЕМА 4. Види ливарних форм і способи лиття .....	31
ТЕМА 5. Способи виготовлення заготовок пластичним деформуванням, їх технологічні характеристики .....	53
ТЕМА 6. Об'ємне гаряче штампування .....	61
ТЕМА 7. Штампування заготовок на молотах і пресах .....	72
ТЕМА 8. Штампування на горизонтально-кувальних і спеціальних машинах .....	88
ТЕМА 9. Проектування зварних і комбінованих заготовок.....	98
Список рекомендованої літератури .....	106

# МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

## Мета вивчення дисципліни

Метою вивчення дисципліни «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин» є оволодіння студентами знаннями та вміннями правильно вибирати та проектувати заготовки деталей машин, призначати вимоги до точності та якості її виготовлення для різних виробничих умов, призначати необхідний матеріал, обладнання та оснащення, проводити техніко-економічне обґрунтування. Вивчення цієї дисципліни дає студентам уявлення про обладнання, технологічне оснащення, способи отримання заготовок і методи їх виготовлення.

## Завдання вивчення дисципліни

Студент, який успішно вивчив дисципліну, повинен знати:

- сучасні технологічні способи виготовлення заготовок для механічної обробки;
- обладнання для виготовлення заготовок і технологічне оснащення;
- технологічні особливості та можливості кожного способу виробництва;
- методику вибору та обґрунтування раціонального способу виробництва заготовок.

Студент, який успішно вивчив дисципліну, повинен уміти:

- обирати найбільш раціональний спосіб виготовлення заготовок для конкретних умов виробництва, провести техніко-економічне обґрунтування;
- розробляти креслення заготовок із простановкою розмірів і відхилень, що допускаються, з урахуванням їх базування під час виконання першої операції механічної обробки.

## **СУЧАСНИЙ СТАН ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЙОГО ОСНОВНЕ ЗАВДАННЯ**

На сьогодні більше 85 % підприємств світового машинобудування працює за принципом одиничного та серійного виробництв, тобто машинобудування стало багатомономенклатурним. При цьому від 30 до 60 % металу в процесі виготовлення заготовок іде у відходи (системи ливників, додатків, облою, угару тощо), що є істотною проблемою.

Особливість проблеми зменшення відходів полягає у тому, що вибір заготовок має конструкторсько-технологічний характер. Вибір заготовок для відповідальних деталей машин є завданням конструктора. Якщо заготовка не задана конструктором, то її вид визначають інженери-технологи, які відповідальні за проектування технологічного процесу виготовлення деталей, а спосіб виготовлення та конкретні технології розробляють фахівці заготівельного виробництва. Для нескладних деталей вигляд і спосіб виготовлення вихідної заготовки визначають технології механообробних виробництв.

Основні напрями у вирішенні цієї проблеми пов'язані з оптимальним вибором матеріалу деталі та способу виготовлення заготовки, включаючи його техніко-економічне обґрунтування.

У зв'язку з цим удосконалення заготівельного виробництва полягає в максимальному наближенні форми та розмірів заготовки до форми та розмірів деталі.

## **ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАГОТОВКИ**

Заготовка – предмет праці, з якого шляхом зміни форми, розмірів, властивостей поверхні та (або) матеріалу виготовляють деталь.

Початковою фазою машинобудівного виробництва є заготівельне виробництво.

Заготовку перед першою операцією виготовлення деталі називають початковою.

Залежно від способу виготовлення виділяють види заготовок:

- ливарні;
- ковані та штамповані;
- прокат;
- зварні та комбіновані;
- із порошкових і неметалічних матеріалів, а також отримані за допомогою нанотехнологій.

### **Якість та технологічність заготовки**

Якість заготовки, а саме – геометрія та точність розмірів, шорсткість поверхонь, глибина дефектного шару, твердість матеріалу – залежить від властивостей матеріалу та способу виготовлення заготовки.

До показників технологічності заготовки належать:

- коефіцієнт використання матеріалу;
- трудомісткість виготовлення;
- технологічна собівартість (кількісна оцінка).

### **Коефіцієнт використання матеріалу**

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою (1):

$$K_{B.M} = \frac{m_D}{m_H}, \quad (1)$$

де  $m_D$  – маса деталі;

$m_H$  – маса витраченого матеріалу (ливники, облой, окалина тощо).

Цей коефіцієнт оцінює загальні витрати матеріалу для виготовлення деталі:

$$0 < K_{B.M} \leq 1.$$

Таблиця – Середнє значення  $K_{B.M}$  для заготовок із чорних і кольорових металів

Вид заготовки	$K_{B.M}$
Лиття	0,6–0,4
Обробка тиском	0,67–0,36
Прокат	0,63–0,38

- при  $K_{B.M} \geq 0,98$  технологія вважається безвідхідною;
- при  $0,9 \leq K_{B.M} < 0,98$  – маловідхідною;
- при  $0,78 \leq K_{B.M} < 0,9$  – середній рівень.

### Трудомісткість виготовлення заготовки

На ранніх стадіях проектування заготовок застосовують наближені методи оцінки трудомісткості.

Наприклад, трудомісткість оцінюється за трудомісткістю виготовлення типової заготовки аналогічної форми, точності та технології виготовлення за формулою (2):

$$T_{np} = T_{min} \sqrt[3]{(M_{np} / M_{min})^2}, \quad (2)$$

де  $T_{np}, T_{min}$  – трудомісткість виготовлення відповідно проєктованої та типової заготовок;



$M_{np}, M_{тип}$  – маса відповідно проєктованої та типової заготовок.

Для оцінки технологічності на стадії механічної обробки використовують також відношення трудомісткості механічної обробки до трудомісткості виготовлення заготовки (3):

$$\frac{T_{мех}}{T_{заг}} \quad (3)$$

Чим менше це відношення, тим більш технологічною є заготовка, оскільки зменшується трудомісткість механічної обробки.

### **Собівартість виготовлення заготовки**

Собівартість виготовлення заготовки  $S_3$  у заготівельному цеху визначається за формулою (4):

$$S_3 = M_3 + Z_3 + O_3, \quad (4)$$

де  $M_3$  – вартість матеріалів для виготовлення однієї заготовки, грн;

$Z_3$  – зарплата основних робітників заготівельного цеху, грн;

$O_3$  – вартість технологічного оснащення, грн.

Зрештою враховується вартість механічної обробки заготовки, що визначається за формулою (5):

$$C = C_3 + C_{МЕХ}, \quad (5)$$

де  $C_3$  – собівартість виготовлення деталі, грн;

$C_{МЕХ}$  – собівартість виготовлення деталі в механічному цеху, грн.

Усі елементи собівартості взаємозв'язані. Наприклад, зміна вигляду заготовки викликає зміну витрат на механічну обробку. Зміна конструкційного матеріалу може викликати зміну номенклатури технологічного обладнання.

За наявності декількох рівнозначних способів вибір роблять, виходячи з умов забезпечення максимальної продуктивності та мінімальної собівартості заготовки для даного типу виробництва.

Технологічні показники заготовок можуть мати також і якісну оцінку («добре – погано», «допустимо – недопустимо»). Порівнюються два та більше варіантів виготовлення заготовок. Критерієм оцінки в цьому разі є довідкові дані та досвід конструктора та технолога. Оцінка складається на стадії ескізного проектування та передуює кількісній оцінці.

Технологічність заготовки багато в чому визначається технологічністю деталі, а коефіцієнт точності обробки та коефіцієнт шорсткості визначаються відповідно до ГОСТ 18831-73.

# ТЕМА 1

## ЗАГОТОВКИ, ОДЕРЖУВАНІ ВИЛИВАННЯМ

### План лекції

- 1.1. Класифікація ливарних сплавів.
- 1.2. Технологічні властивості матеріалів ливарних сплавів.  
Контрольні питання.

### 1.1. Класифікація ливарних сплавів

Статистичний аналіз заготовок, одержуваних виливанням, показав, що приблизно 75 % виливків виготовляють із чавуну, близько 20 % – зі сталі, 5 % – інші матеріали (рис. 1.1).

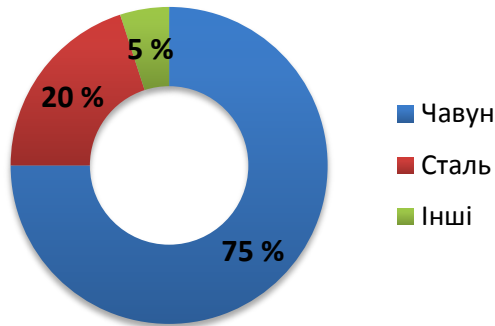


Рисунок 1.1 – Статистичний розподіл виливків за матеріалом

Згідно з класифікацією ливарних сплавів (рис. 1.2) усі матеріали поділяють на групи:

- чорні метали;
- легкоплавкі метали;
- тугоплавкі метали;
- кольорові сплави.

До групи чорних металів належать чавуни та сталі. Розглянемо більш детально кожний матеріал.

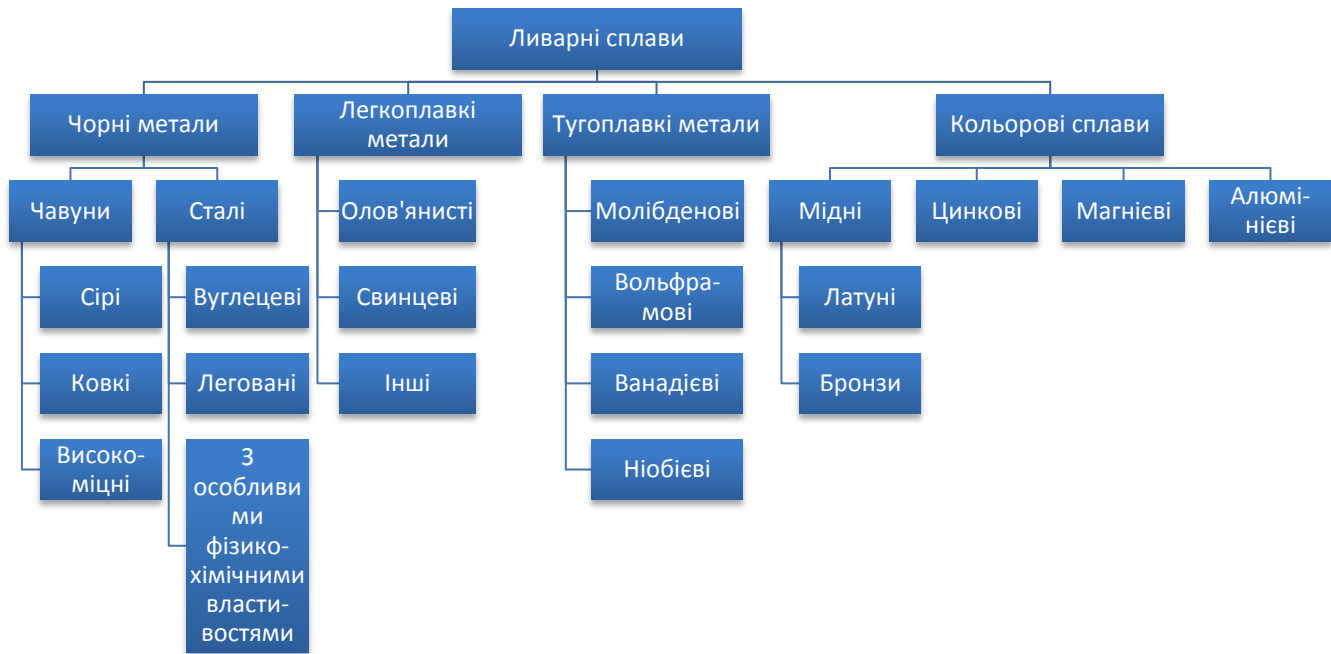


Рисунок 1.2 – Класифікація ливарних сплавів

Чавун – залізовуглецевий нековкий ливарний матеріал, що містить понад 2 % (до 3–3,5 %) вуглецю, до 4,5 % кремнію, до 1,5 % марганцю, до 1,8 % фосфору, до 0,08 % сірки.

Експлуатаційні властивості чавуну залежать від його міцності, твердості, пластичності, а також від форми, розмірів і розташування вуглецевих включень у його структурі.

Графітізовані чавуни – це сірі чавуни з пластинчастим графітом (СЧ10–СЧ35;  $\sigma_{\text{в}} = 100\text{--}350$  МПа, НВ 120–190). Вони малочутливі до надрізів та інших концентраторів напруження. Добре розсіюють вібрації, тому станини верстатів роблять не зі сталі, а із чавуну. У разі ударних навантажень чавун застосовувати не можна, оскільки крихкий. Проте сірий чавун найбільш дешевий ливарний сплав.

Ковкий чавун (КЧ 30-6–КЧ 80-1,5;  $\sigma_{\text{в}} = 294\text{--}784$  МПа, 100–320 НВ) отримують шляхом відпалу білого чавуну. Він має включення з пластівчастим графітом. Має низькі ливарні властивості – знижена рідкоплинність, велика усадка, підвищена схильність до появи тріщин. Застосовують для відливок, що працюють зі знакозмінними навантаженнями: коробки передач, шасі в автотранспорті, важелі тощо).

Високоміцний чавун з кулеподібним графітом (ВЧ35–ВЧ100;  $\sigma_{\text{в}} = 350\text{--}1000$  МПа, НВ140–360). Чавун застосовують для відповідальних відливок, що працюють в умовах змін теплового режиму, наприклад гільзи ДВС та ін. Цей чавун за ливарними властивостями близький до сталей. Має знижену рідкоплинність, знижену усадку, схильність до дефектів ливарного походження.

Чавуни всіх марок добре обробляються, але погано зварюються. Їх властивості визначають призначення чавунів від помірно навантажених (СЧ) до вібронавантажених.

Легований чавун (ЧХ1 – ГОСТ 7769-82 та ін.) застосовують для роботи деталей при температурах до 500–700 °С.

Сталь – сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, що містить до 2,14 % вуглецю. Найбільша величина межі

міцності  $\sigma_B$  і межі витривалості  $\sigma_{-1}$  досягається при вмісті вуглецю близько 0,9 %.

Залежно від призначення та якісних показників виливки з вуглецевих і легованих сталей поділяють на три групи:

- виливки загального призначення, що контролюють за зовнішнім виглядом, розмірами та хімічним складом;
- виливки відповідального призначення, що контролюють за міцністю та відносним подовженням;
- виливки особливо відповідального призначення, що контролюють за ударною в'язкістю.

Сталеві виливки піддають термообробці: нормалізація при температурі 850–920 °С із подальшим відпуском або загартуванням при температурі 800–870 °С із відпуском.

До легкоплавких металів належать сплави (свинець, олово та ін.), температура плавлення яких менше 232 °С.

До тугоплавких металів відносять сплави на основі титану, вольфраму, молібдену, ніобію, ванадію. Температура плавлення таких матеріалів становить 1700–3500 °С.

До кольорових металів відносять: алюміній, магній, цинк, мідь і сплави на їх основі.

Алюміній і його сплави мають високу міцність, малу густину. Вони незамінні матеріали в авіапромисловості. Сплави алюмінієві ливарні згідно з ГОСТ 1583-93: АЛ2–АЛ11, мають межу міцності  $\sigma_B = 150\text{--}220$  МПа, щільність 2,65–2,94 г/см<sup>3</sup>. Сплави групи – АМг10 (АЛ 27) мають високу корозійну стійкість,  $\sigma_B = 320$  МПа. Магній у цьому сплаві має мінімальну густину. У чистому вигляді не застосовується, проте додають до сплаву для збільшення міцності.

Сплави цинку досить міцні, мають високу корозійну стійкість і можуть застосовуватися як антифрикційні матеріали та для захисту залізовмісних сплавів.

Мідь володіє високою електро- та теплопровідністю, пластична та має достатню міцність.

Латунь (мідно-цинкові сплави) має високу міцність і корозійну стійкість.

Бронзи (сплави на мідній основі з додаваннями олова, алюмінію, кремнію, берилію) володіють хорошими антифрикційними та корозійними властивостями.

Титан має густину  $4,6 \text{ г/см}^3$ ,  $\sigma_{\text{в}} = 930 \text{ МПа}$ , твердість 45 НВ. Жаростійкий і переносить окиснення до  $400\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Добре працює при температурі рідкого азоту.

Ніобій володіє високою жароміцністю, застосовується для виготовлення деталей турбін, що працюють при температурі  $1100\text{--}1400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Жаростійкість і жароміцність дозволяють їх використовувати для роботи у важких умовах. Відливки з ніобію та його сплавів виготовляють спеціальними способами. Трудомісткість виготовлення велика.

## 1.2. Технологічні властивості матеріалів литих заготовок

Ливарні властивості матеріалів:

- рідкоплинність;
- усадка;
- схильність до утворення усадкових раковин і пор;
- стійкість до утворення тріщин;
- газопоглинання;
- ліквіація.

Рідкоплинність – здатність розплавленого металу заповнювати порожнину ливарної форми. Показник рідкоплинності – Кр.пл. Визначається відношенням значень рідкоплинності даного матеріалу та еталону, за який прийнята сталь 30Л.

Усадка – зменшення об'єму вилівка при охолодженні розплаву у формі до температури доквілля. Існує лінійна та об'ємна усадки, що вимірюються у відсотках. Так, для сірого чавуну лінійна усадка найменша:  $0,9\text{--}1,3 \%$ . Сталі мають усадку  $0,8\text{--}2,5 \%$ . Унаслідок нерівномірного охолодження та виниклого механічного гальмування усадки виникає напруження матеріалу, що призводить до появи гарячих тріщин.

Газопоглинання – здатність ливарних сплавів у розплаві розчиняти гази. Високе газопоглинання призводить до появи у

відливках газових раковин і пор. Для їх усунення застосовують плавлення у вакуумі.

Ліквация – неоднорідність хімічного складу в різних частинах виливка. Залежить від хімічного складу сплаву та умов утворення виливка.

### **Контрольні питання**

1. Дати розгорнуту класифікацію ливарних сплавів.
2. Кольорові сплави. Переваги. Раціональна сфера застосування.
2. Охарактеризувати технологічні властивості матеріалів литих заготовок.
3. Пояснити властивості матеріалу газопоглинання та ліквациї.



## ТЕМА 2

# СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВНИХ ЗАГОТОВОК, ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### План лекції

- 2.1. Класифікація способів лиття.
- 2.2. Технологічні можливості способів лиття, область застосування.
- 2.3. Порівнювальний аналіз показників способів лиття.  
Контрольні питання.

### 2.1. Класифікація способів лиття

Процес виготовлення форми є найбільш трудомістким, а якість виготовлених форм значною мірою впливає на якість відливок, що виготовляються за допомогою цих форм. Основні способи лиття, що використовуються на сьогодні, можна подати у вигляді класифікації, що ґрунтується на визначенні форми, яка використовується при заливанні (рис. 2.1).

### 2.2. Технологічні можливості способів лиття, область застосування

Технологічні можливості способу лиття визначаються класом розмірної точності виливків, ступенем жолоблення, ступенем точності поверхонь, класом точності маси та іншими параметрами.

Відповідно до ГОСТ 26645-85 для виливків різних способів установлені: 16 класів розмірної точності, 22 ступені точності, 11 ступенів жолоблення виливків, 16 класів точності маси.

Отримання конкретного класу точності розмірів пов'язане не лише з якітетом точності розмірів деталей, що отримують механічною обробкою, але і з типом виробництва (масове, серійне, одиничне), а також складністю форми виливка.

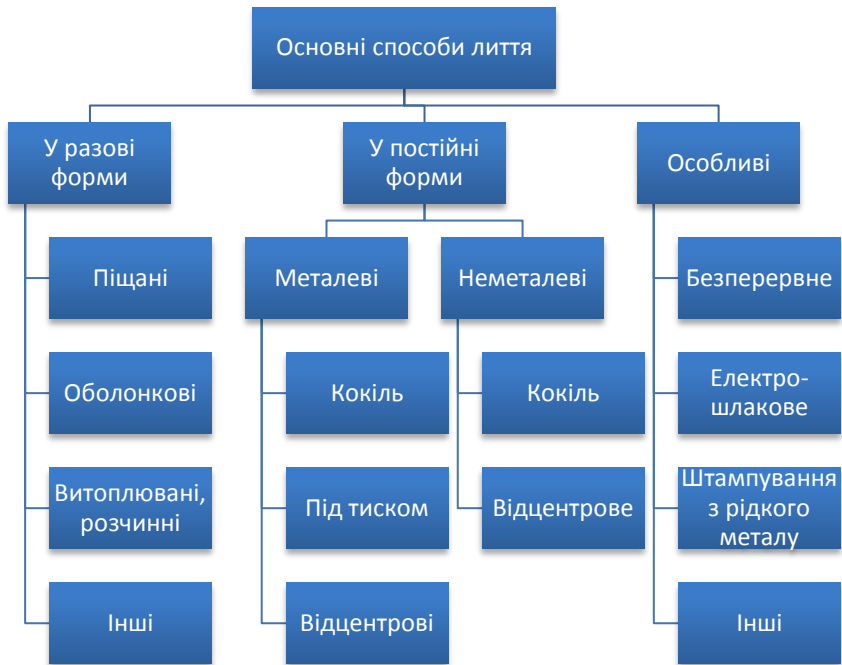


Рисунок 2.1 – Класифікація способів лиття

Класи точності розмірів виливків за ГОСТ 26645-85 відповідають конкретному способу лиття якості точності за ГОСТ 25346-82. Шорсткість поверхонь виливків залежить від ступеня точності, що досягається (ГОСТ 26645-85). Із підвищенням числового значення ступеня точності вилівка висота мікронерівностей стає більшою. Так, для литва в піщані форми ступінь точності для виливків із різних матеріалів знаходиться в межах 7.22, що відповідає шорсткості за критерієм Ra 8–100 мкм. Для виливків, отриманих спеціальними способами лиття, наприклад литвом під тиском, шорсткість поверхні за критерієм Ra близько 2 мкм.

Спеціальні способи лиття використовуються в масовому, серійному та дослідному виробництвах (табл. 2.1 і 2.2), технологічність способів наведена в табл. 2.3.

Таблиця 2.1 – Способи виготовлення виливків, область застосування

<b>Спосіб лиття</b>	<b>Матеріал</b>	<b>Маса вилівка, т</b>	<b>Область застосування та особливості способу</b>
У піщані форми	Сталі, чавуни, кольорові метали та сплави	До 200	Виливки тіл обертання, станини, корпуси машин, головки і блоки двигунів внутрішнього згоряння
Під тиском	Сталі, магнієві, алюмінієві, цинкові та свинцево-олов'яні сплави	До 0,1	Трійники, деталі приладів, побутова техніка, блок двигуна внутрішнього згоряння
У металеві форми	Сталі, чавуни, кольорові метали та сплави	До 7	Фасонні виливки (поршні, коробки передач, корпуси)
За витоплюваними моделями	Високолеговані сталі та сплави, титан	До 15	Лопатки турбін, клапани, шестерні, різальний інструмент, тонкостінні виливки ( $s = 0,8$ мм; діаметр отворів до 1 мм)
В оболонкові форми	Сталі, чавуни, кольорові сплави	До 40	Відповідальні фасонні дрібні та середні виливки, точні виливки з низькою шорсткістю, станини молотів

Таблиця 2.2 – Класифікація виливків за призначенням

Група	Призначення	Характеристика
1	Виливки невідповідального призначення	Виливки деталей, що не досліджуються на міцність
2	Виливки відповідального призначення	Виливки деталей, що досліджуються на міцність; виливки, що працюють при статичних навантаженнях, а також в умовах тертя та ковзання
3	Виливки особливо відповідального призначення	Виливки деталей, що досліджуються на міцність та працюють в умовах динамічних і знакозмінних навантажень

Таблиця 2.3 – Матеріали, які використовуються при різних способах лиття

Спосіб лиття	Коефіцієнт		
	виходу придатного лиття	масової точності	використання матеріалу
У піщані форми	0,3–0,5	0,6–0,7	0,2–0,35
В оболонкові форми	0,5–0,6	0,85–0,9	0,4–0,55
У металеві форми (кокіль)	0,4–0,5	0,7–0,75	0,3–0,4
За витоплюваними моделями	0,6–0,8	0,85–0,9	0,5–0,75
Під тиском	0,6–0,8	0,95–0,98	0,6–0,8
Відцентрове лиття	0,4–0,5	0,7–0,8	0,3–0,4
<b>Середнє значення</b>	<b>0,45–0,65</b>	<b>0,8–0,85</b>	<b>0,4–0,6</b>

Таблиця 2.4 – Порівнювальна оцінка способів лиття

Техніко-економічний показник	Спосіб лиття			
	У піщано-глинисті форми	В оболонкові форми	Під тиском	У кокіль
Необмеженість розмірів виливків	1	3	5	2
Вплив конфігурації виливків	2	3	5	4
Можливість використання різних сплавів	1	2	5	4
Вартість оснащення	1	3	5	4
Час на освоєння технології	1	4	5	2
Найменша економічно доцільна партія	1	3	5	4
Продуктивність	4	3	1	2
Збільшення економічної доцільності зі збільшенням партії	4	3	1	2
Шорсткість поверхонь виливків	5	3	1	4
Товщина стінок виливків	4	3	1	5
Величина припусків на механічну обробку	5	3	1	3
Можливість механізації та автоматизації	5	4	1	1
<b>Примітка.</b> Чим вища ефективність, тим менший коефіцієнт				

Квалітету точності розмірів заготовок після механічної обробки IT 8, IT 9 відповідає за ГОСТ 26645-85 1–3т класи точності розмірів литої заготовки, а для IT 10–IT 13 – 9–16-ті класи точності розмірів виливків.

### **2.3. Порівнювальний аналіз показників способів лиття**

Аналіз способів лиття доцільно виконувати за табличною формою (табл. 2.4).

#### **Контрольні питання**

1. Характеристика способів лиття. Раціональна область застосування.
2. Класифікація виливків за призначенням.
3. Властивості та характеристика матеріалів для лиття.
4. Порівняльний аналіз способів лиття.

## ТЕМА 3

### ОСОБЛИВОСТІ ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНЬ ЗАГОТОВОК, ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО НИХ

#### План лекції

- 3.1. Вибір способу виготовлення виливків і їх положення у формі.
- 3.2. Технологічність виливків.
- 3.3. Розроблення креслення виливків.  
Контрольні питання.

#### 3.1. Вибір способу виготовлення виливків і їх положення у формі

Вибір способу лиття визначається: матеріалом виливка, складністю конструкції, серійністю виробництва, вартістю.

Усі виливки за складністю конфігурації поділяють на шість груп:

1. Площинні виливки загального призначення: кришки, плити, маховики без спиць, вантажі, диски, балки та інші (рис. 3.1).

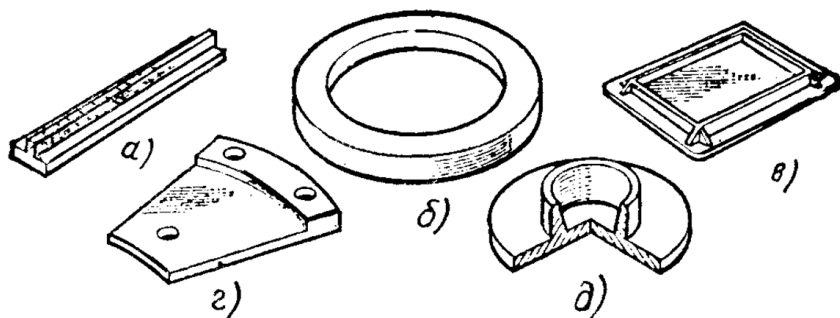


Рисунок 3.1 – Виливки 1-ї групи складності (прості):  
а – балка; б – бандаж; в – плита; г – пластина; д – кришка

2. Виливки відкритої коробчастої форми: ковпаки, колеса та ролики зі спицями, барабани для млинів, кронштейни та інші (рис. 3.2).

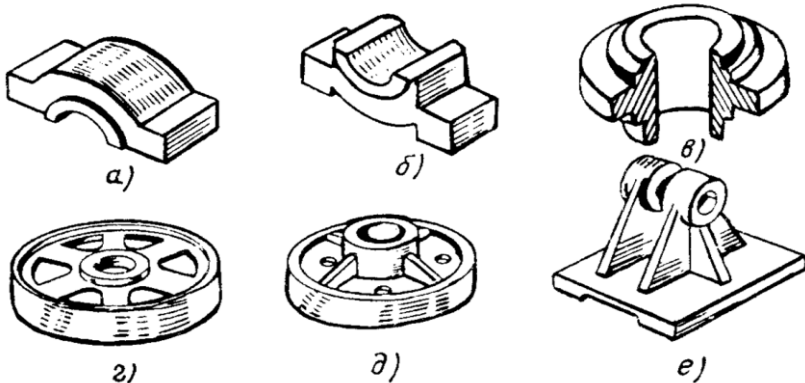


Рисунок 3.2 – Виливки 2-ї групи складності (прості):  
 а – кришка підшипника; б – корпус підшипника; в – маточина;  
 г – зубчасте колесо; д – ролик; е – кронштейн

3. Виливки відкритої коробчастої або циліндричної форми: шківів, корпуси та кришки редукторів, ребристі циліндри, зубчасті колеса з литими зубцями, кронштейни, трійники та інші (рис. 3.3).

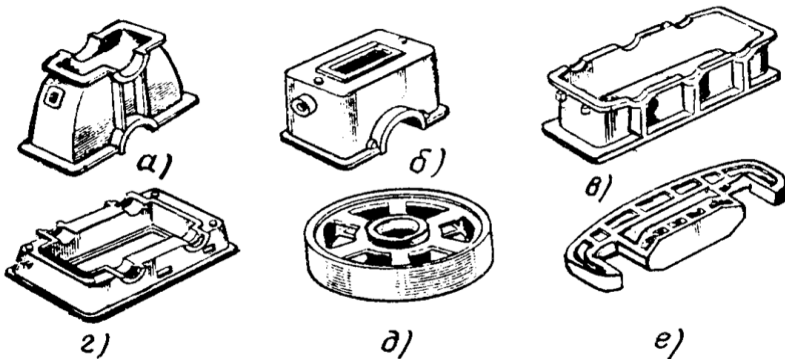


Рисунок 3.3 – Виливки 3-ї групи (середньої складності):  
 а – корпус; б – кришка редуктора; в, г – підставки;  
 д – зубчасте колесо; е – рама балансира



4. Виливки закритої та частково відкритої коробчастої або циліндричної форми: станини, столи, основи пресів, молотів, корпусів насосів та інші (рис. 3.4).

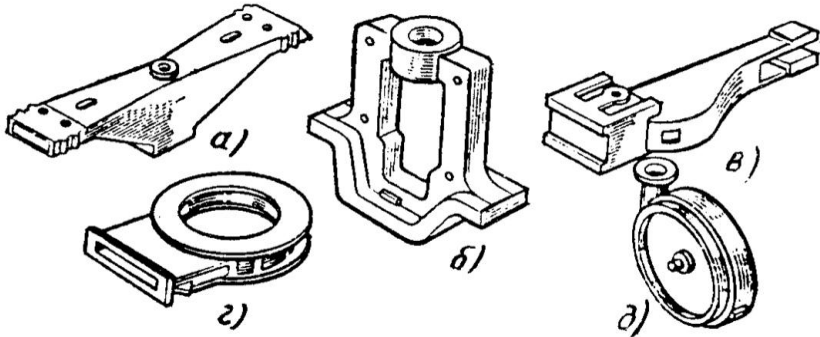


Рисунок 3.4 – Виливки 4-ї групи (середньої складності):  
 а – шкворнева балка; б – станина верстата; в – повзун;  
 г – корпус шибера; д – равлик

5. Виливки закритої коробчастої та циліндричної форми особливо відповідального призначення, а також комбіновані для виготовлення станин металорізальних верстатів, фасонних сталевих циліндрів та інші (рис. 3.5).

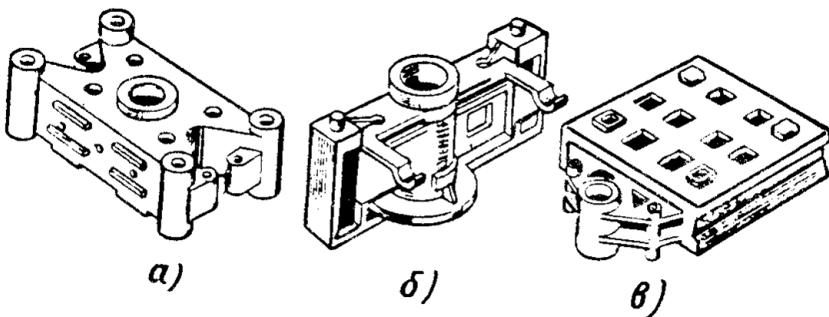


Рисунок 3.5 – Виливки 5-ї групи (складні):  
 а, б – траверси; в – станина

6. Виливки закритої коробчастої, циліндричної форм. Внутрішні порожнини особливо складної конфігурації, з наявністю стрічкових і кільцевих каналів, розташованих у два та більше ярусів. Типові виливки – гідравлічні коробки, блоки циліндрів, що випрямляють апарати, та інші (рис. 3.6).

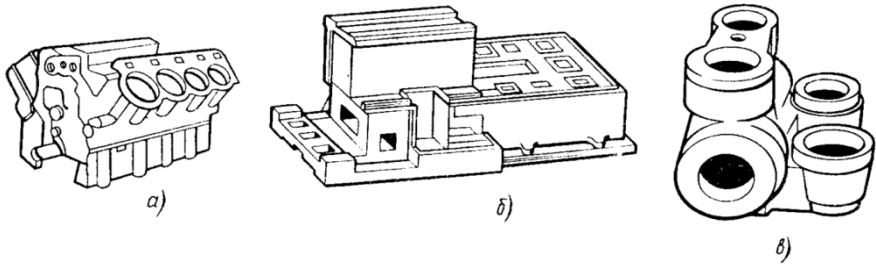


Рисунок 3.6 – Виливки 6-ї групи (складні):  
 а – блок циліндрів; б – станина; в – гідравлічна коробка

Положення вилівка у формі визначається способом лиття, складністю конструкції деталі, точністю розмірів, товщиною її стінок і має забезпечуватися напрямленою кристалізацією. Остання повинна йти в напрямку знизу вгору, тобто в частині відливання (випори, додатки), що видаляються при обрубуванні, очищенні. Поверхні з точними розмірами розташовуються в одній півформі – нижній. Умовне положення вилівка у формі для тіл обертання показане на рис. 3.7.

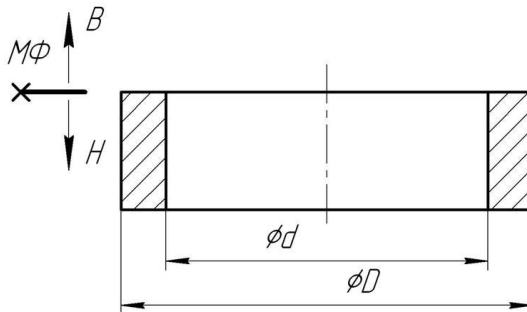


Рисунок 3.7 – Положення площини рознімання для лиття підшипника в піщаній формі

Можливість використання однієї площини рознімання визначається за правилом світлових тіней. На відливанні не повинно бути затемнених ділянок у напрямку перпендикулярному до площини рознімання, при уявному її освітленні (рис. 3.8).

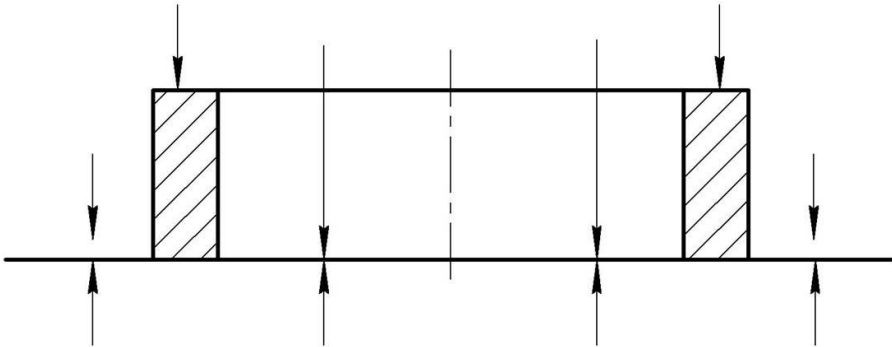


Рисунок 3.8 – Рациональна конструкція виливка

### 3.2. Технологічність виливків

Технологічність литої деталі – конструктивні особливості, які при найкращій відповідності призначенню деталі забезпечують мінімальний рівень витрат на її виготовлення.

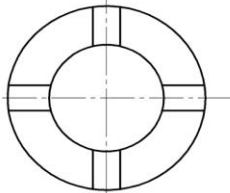
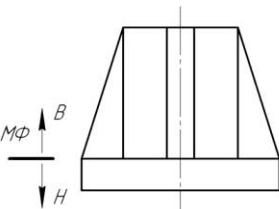
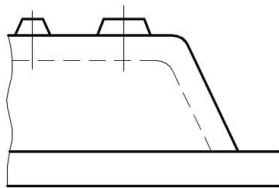
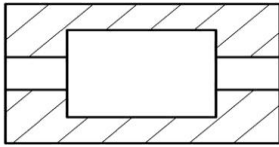
Показники технологічності:

- мінімальні витрати в ливарному виробництві при максимальному коефіцієнті використання матеріалу;
- максимальний коефіцієнт обробленої поверхні (відношення необробленої різанням поверхні до всієї деталі);
- мінімальна собівартість литої деталі;
- максимальне зменшення маси виливка (прагнуть забезпечити мінімальне число поверхонь рознімання моделі та форми, до внутрішніх порожнин додають прості контури).

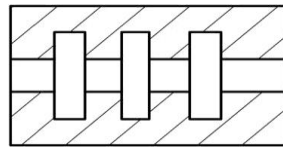
Приклади забезпечення технологічності для різних конструктивних елементів наведені на рис. 3.9. Під час

проектування внутрішніх циліндричних поверхонь потрібно уникати поверхонь, які відрізняються за розмірами, а віддавати перевагу одному типорозміру конструктивних елементів. Під час проектування бобишок необхідно забезпечити їх розмір, що дозволить зменшити трудомісткість операцій механічної обробки. Ребра розташовують у площині рознімання форми та перпендикулярно до неї.

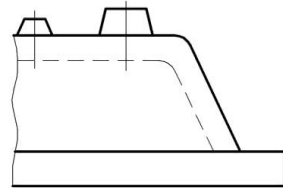
Технологічна деталь



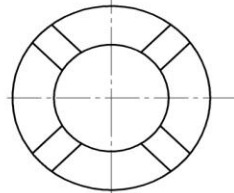
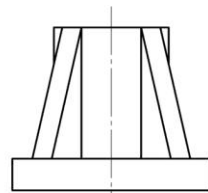
Нетехнологічна деталь



а)



б)



в)

Рисунок 3.9 – Приклади забезпечення технологічності деталей:  
а – внутрішні циліндричні поверхні; б – бобишки; в – ребра

Нахили у виливках беруть залежно від висоти моделей і їх матеріалів. Радіуси закруглень – за довідковими даними [1]. Для усунення усадкових раковин у виливках користуються правилом А. Геверса (вписаних кіл). Коло, вписане в стінку виливка, повинне викотитися до додатка (рис. 3.10).

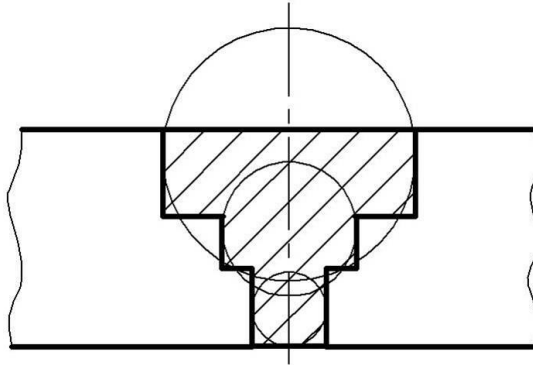


Рисунок 3.10 – Правильно вибраний переріз виливка

### 3.3. Розроблення креслення виливків

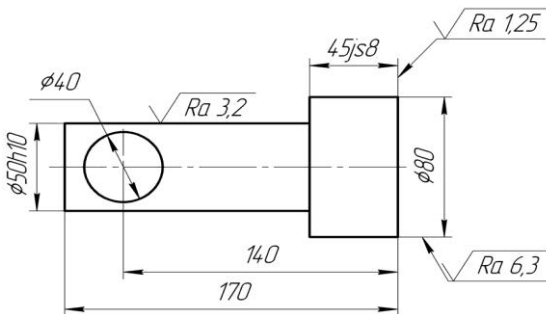
По-перше, визначають вихідні дані з креслення деталі: матеріал деталі, густину. По-друге, тип виробництва. По-третє, обирають спосіб одержання виливка.

Проектну роботу виконують відповідно до алгоритму:

- призначають граничні відхилення на номінальні розміри деталі;
- визначають допуск на кожен розмір;
- визначають складність виливка;
- визначають положення виливка у формі;
- установлюють рівень точності обробки виливка;
- призначають ступінь точності поверхонь виливка;
- призначають допуски розмірів поверхонь виливка;
- визначають ступінь викривлення виливка;
- визначають ряд припусків на обробку виливка;
- визначають допуск зсуву виливка за площиною рознімання;
- установлюють вид остаточної механічної обробки;

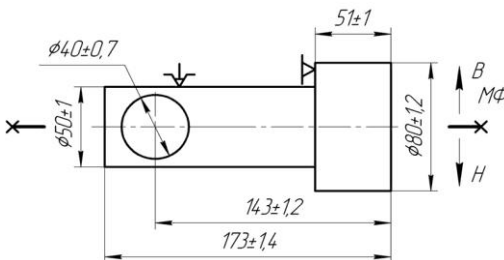
- установлюють загальний допуск елементів виливка;
- установлюють загальний припуск на обробку;
- визначають виконавчі розміри виливка;
- визначають масу виливка;
- призначають ливарні радіуси та уклони.

На рис. 3.11 подане креслення деталі, а на рис. 3.12 – креслення виливка.



1.  $HV \leq 50$
2. Невказані фаски  $0,8 \times 45^\circ$
3.  $H14, h14, \pm IT14/2$

Рисунок 3.11 – Креслення деталі: вісь (АЛ 5 ГОСТ 2685-75)



Технічні умови

1.  $HV \leq 50$
2. Ливарні уклони  $1^\circ$ .
3. Ливарні радіуси 6 мм.
4. Точність виливка 9-3-9-9т  
См 1,2 ГОСТ 26645-85.
5. Маса виливка 1,1-0,283-  
0,007-1,39 ГОСТ 26645-85.

Рисунок 3.12 – Креслення виливка деталі:  
вісь (АЛ 5 ГОСТ 2685-75)

## **Контрольні питання**

1. Критерій оцінювання ступеня складності виливків.
2. Чинники, що визначають технологічність виливка.
3. Що впливає на визначення площини рознімання моделі та форми?
4. Технологічність виливка.
5. Що визначає вибір способу виготовлення виливка?
6. Розроблення креслення виливка.

## ТЕМА 4

### ВИДИ ЛИВАРНИХ ФОРМ І СПОСОБИ ЛИТТЯ

#### План лекції

- 4.1. Лиття в піщані форми.
  - 4.1.1 Основні параметри лиття в піщані форми. Етапи проектування технології.
  - 4.1.2 Способи формування та обладнання.
  - 4.1.3 Вибивання, обрубання та очищення виливків.
  - 4.1.4 Термічна обробка виливків.
  - 4.1.5 Дефекти виливків і способи їх усунення.
- 4.2. Спеціальні способи лиття.
  - 4.2.1 Лиття в кокіль.
  - 4.2.2 Лиття під тиском.
  - 4.2.3 Лиття відцентрове.
- 4.3. Форми, які мають конфігурацію тіла обертання.
  - 4.3.1. Лиття в оболонкові форми.
  - 4.3.2. Лиття по витоплюваним моделям.
  - 4.3.3. Штампування виливків із рідкого металу.
  - 4.3.4. Електрошлакове лиття.
- 4.4. Порівняльний аналіз способів лиття.  
Контрольні питання.

#### 4.1. Лиття в піщані форми

##### **4.1.1. Основні параметри лиття в піщані форми. Етапи проектування технології**

Технологічна універсальність лиття в піщані форми зумовлює його економічну доцільність для одиничного, серійного та масового виробництв. Цим способом виготовляють до 60 % від усієї кількості виливків. Точність виливків – 14–20-й квалітети, шорсткість поверхні Rz 40–400 мкм. Максимальний коефіцієнт масової точності становить 0,71; коефіцієнт виходу придатного металу – 0,3–0,5.



Типова технологія виготовлення виливків складається з етапів:

- нанесення на креслення деталі контурів моделі та відповідних ливарних вказівок;
- розроблення технологічної карти. Записують послідовність виконання операцій і спосіб виготовлення виливків, наводять перелік вказівок із виготовлення модельного комплекту, стрижньових ящиків, виготовлення форми та стрижнів, заливки металу, вирубування вилівка з форми, очищення, термообробки та контролю;
- розроблення креслення (або ескізу) складної форми зі всіма необхідними перерізами та розмірами.

Процес виготовлення виливків передбачає:

- виготовлення моделей і стрижньових ящиків;
- приготування формувальних і стрижньових сумішей;
- виготовлення форм і стрижнів;
- складання та заливку форм;
- вибивання виливків із форм, очищення та обрубкування виливків;
- термічна обробка.

#### **4.1.2. Способи формування та обладнання**

Формування – це процес виготовлення ливарних форм із формувального матеріалу.

Операції формування:

- ущільнення формувальної суміші;
- утворення в формі вентиляційних каналів;
- видалення моделі з форми;
- складання форми.

Формування може виконуватися вручну, на спеціальних формувальних машинах або на автоматичних лініях.

Існує декілька основних способів ручного формування (рис. 4.1): формування в ґрунті; формування в опоках.

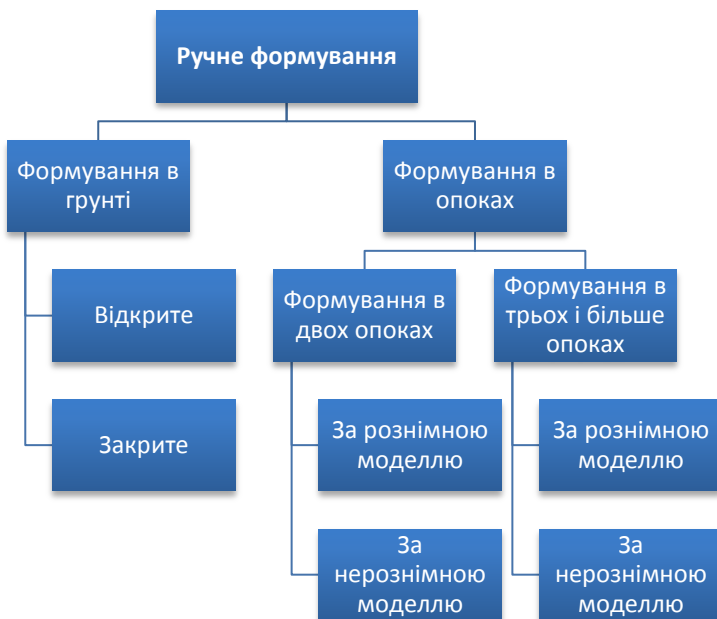


Рисунок 4.1 – Класифікація способів ручного формування

Формування в ґрунті – процес виготовлення форм на земляному плаці формувального відділення. Спосіб простий, не вимагає спеціального устаткування, проте має великий обсяг ручних робіт, що виконуються формувальниками високої кваліфікації.

Відкрите ґрунтове формування застосовується для виготовлення виливків із плоскою верхньою стороною (рис. 4.2 а, б).

Для виготовлення великих і важких виливків застосовується закрите ґрунтове формування, при якому верхня частина виливка виходить в опці, а нижня – у твердій постілі (рис. 4.2 в).

Формування у двох опоках за рознімною моделлю є найпоширенішим способом виготовлення разових піщаних форм. Рознімну модель застосовують, як правило, в тих випадках, коли модель не має плоскої поверхні (рис. 4.3).

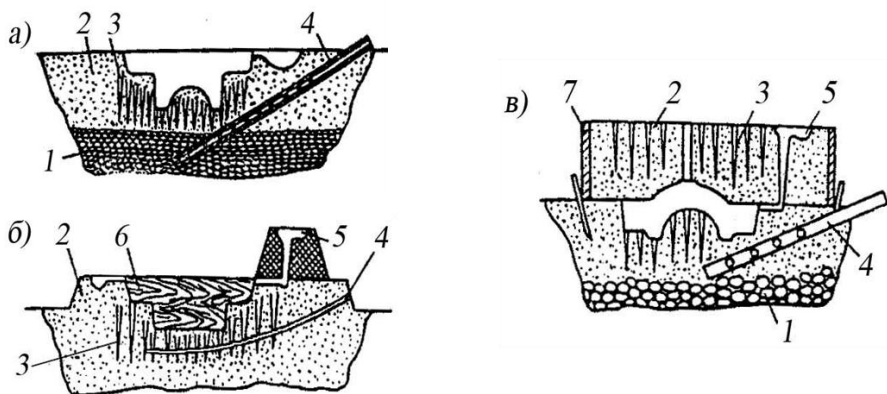


Рисунок 4.2 – Формування у ґрунті:

а, б – відкрите формування; в – закрите формування; 1 – ліжко;  
 2 – земля; 3, 4 – вентиляційні канали; 5 – система ливника;  
 6 – модель; 7 – опока

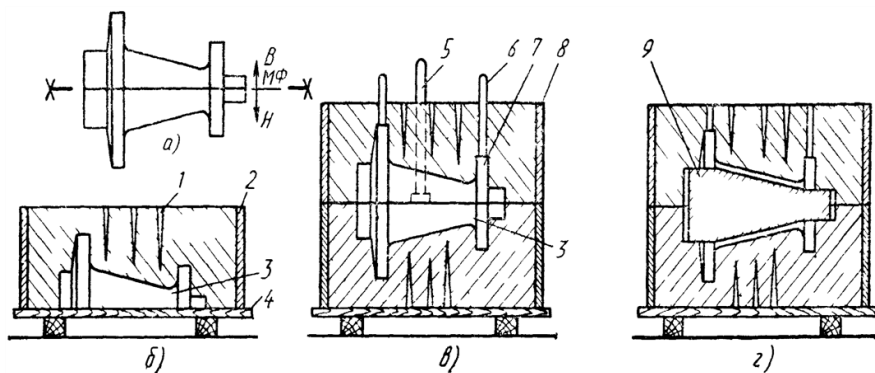


Рисунок 4.3 – Виготовлення форми у двох опоках за рознімною моделлю: а – положення виливка у формі; б – одна з напівформ виливка; в – пристрій живлячої системи ливника та інші елементи; г – розташування стрижня в опоці; 1 – вентиляційні канали; 2 – нижня опока; 3 – нижня половина моделі; 4 – модельна плита; 5 – стояк; 6 – випор; 7 – верхня половина моделі; 8 – опока; 9 – стрижень

Інколи під час виготовлення складних виливків одна площа рознімання не дозволяє витягувати модель із верхньої і

нижньої напівформ. У цих випадках застосовують формування в трьох і більшому числі опок, тобто форма має дві і більше поверхонь рознімання.

Сутність технології виготовлення форм із рідких самотверднучих сумішей ґрунтується на додаванні до звичайних піщаних сумішей хімічних домішок, під дією яких суміш переходить у сметаноподібний стан, унаслідок чого стала можливою заливка рідкої суміші в опоки.

Усувається ручна праця при набиванні форм з рідких самотверднучих сумішей, причому суміші самотверднуть за всім обсягом матеріалу.

Машинне формування забезпечує високі вимоги, що ставляться до виливків.

Основні технологічні особливості машинного формування такі:

- виготовлення форм у двох опоках;
- заміна всіх бічних відокремлених частин моделі стрижнями.

Застосовується формування в двох опоках за роз'ємною або нерознімною моделлю.

За методами ущільнення змішувальні формувальні машини (рис. 4.4) класифікуються таким чином:

- струшувальні;
- пресові;
- імпульсні;
- піскодувні;
- піскомети;
- вакуумні;
- спеціальні.

Рівномірне ущільнення суміші досягається підвищенням питомого тиску пресування. На пресових машинах застосовують тиск до 5–10 МПа і вище (рис. 4.5). Отримують виливки з точнішими розмірами та меншими значеннями шорсткості.

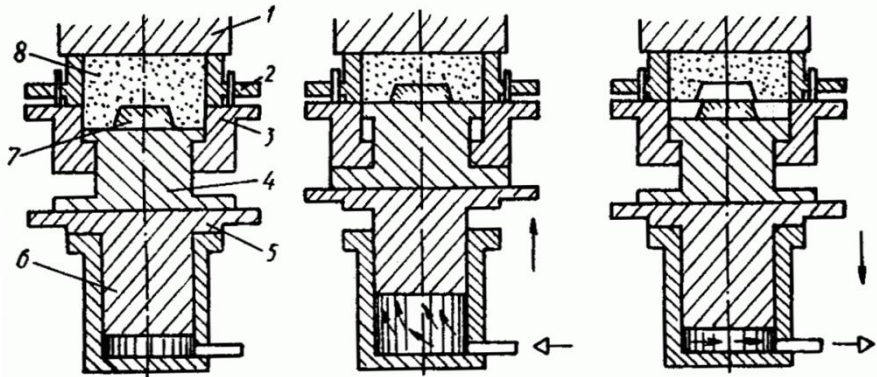


Рисунок 4.4 – Схема формувальної машини:  
 1 – плунжер; 2 – опока; 3 – стіл; 4 – плита модельна; 5 – корпус;  
 6 – поршень; 7 – модель

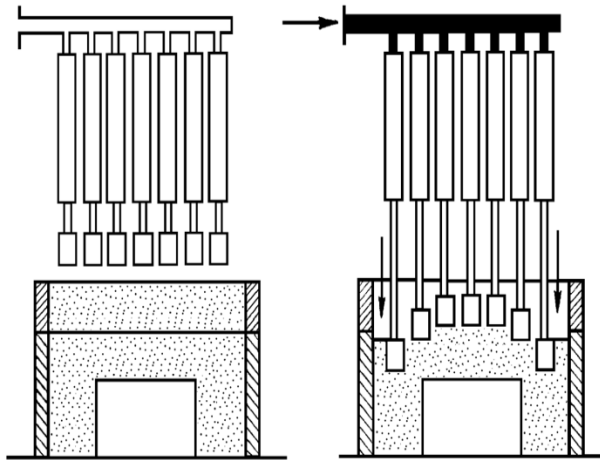


Рисунок 4.5 – Ущільнення формувальної суміші пресою  
 багатоплунжерною головкою:  
 а – початкове положення; б – кінцеве положення

Формування способом СЕЙАТСУ під високим тиском розроблене у Німеччині. Це двопозиційна карусель для виготовлення разових напівформ (рис. 4.6). На першій позиції

машини виготовляється засипка формувальної суміші в опоку, на другій – ущільнення формувальної суміші пневмопотокком (динамічна дія на формувальну суміш стисненим повітрям,  $P = 0,6$  МПа) із подальшим верхнім пресуванням плоскою плитою. Технічна характеристика установки наведена в табл. 4.1.



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд формувальної машини типу HSP моделі 4841 фірми HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GMBH (Німеччина)

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики формувальної машини типу HSP моделі 4841 фірми HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GMBH (Німеччина)

<b>Показник</b>	<b>Значення</b>
Розміри опоки, мм	800x700x300
Режим роботи	Автоматичний
Тип привода	Гідравлічний, пневматичний, електричний
Потужність, кВт	22,6
Продуктивність, форм/год	50
Габаритні розміри, мм	4000x3000x3800
Маса, кг	15000

Принцип роботи полягає в такому: гідроциліндри столу притискають опоку та модельно-опоковий комплект із формувальною сумішшю до імпульсно-пресової головки. Відкриваються короткочасно два повітряні клапани та вслід за повітряним потоком приводяться в дію циліндри пресування, на штоках яких закріплена пресова плита-розсікач повітряного потоку. Після закінчення пресування плита-розсікач повертається в первинне положення, стіл опускається разом із оснащенням, займаючи попереднє положення (рис. 4.7).

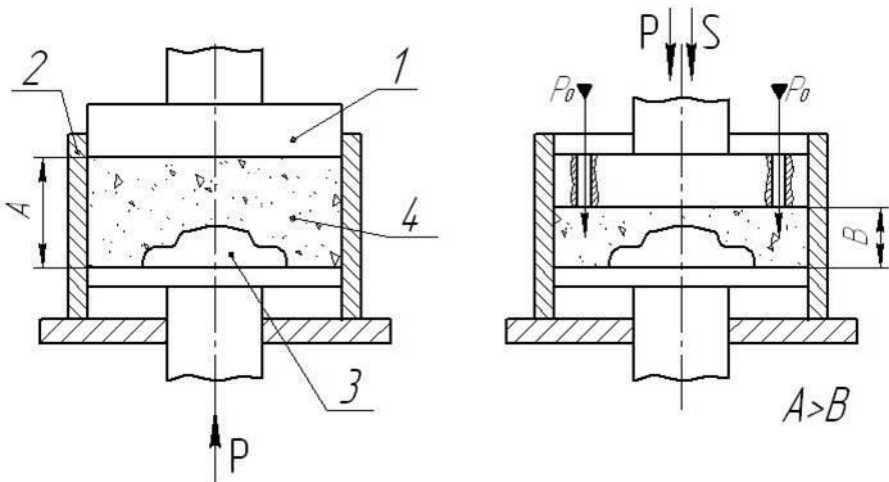


Рисунок 4.7 – Схема формування:

1 – плита-розсікач; 2 – опока; 3 – модель із підмодельною плитою; 4 – суміш піщана

#### 4.1.3. Вибивання, обрубання та очищення виливків

На потокових і автоматичних лініях виливки видавлюють із опоки з грудкою суміші, а потім звільняють від суміші на вибивних ґратах. Залишки стрижнів після вибивання з форм видаляють із виливків пневматичними зубилами, на вібраційних машинах, у гідравлічних камерах та електрогідравлічних установках. Виливки від ливників відокремлюють за

допомогою молотків і пневматичних зубил, абразивних кругів і пресів, стрічкових і дискових пил, також використовуються дугове, газове або анодно-механічне різання. У деяких випадках додатки відрізають на токарних верстатах.

Ливники від чавунних виливків легко відбиваються при слабкому ударі. Від дрібних виливків вони відділяються переважно при вибиванні форм. Ливники, що залишилися на виливках, відбивають молотками або обламують на пресах. Додатки та ливники від великих виливків із вуглецевих і низьколегованих сталей відокремлюють дуговим і газовим різанням. Для сталевих виливків застосовується механічне або анодно-механічне різання. Стрічкові та дискові пили, механічні преси широко застосовуються для відрізання ливників і додатків від виливків із алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів.

Для видалення пригару та поліпшення якості поверхонь виливки піддають очищенню галтуванням, дробоструминній, дробометальній, вібраційній, електрохімічній обробці тощо. Очищення виливків галтуванням здійснюється в барабанах унаслідок їх взаємного тертя. Дробоструминному очищенню не можна піддавати виливки із м'яких сплавів, оскільки це призводить до погіршення якості їх поверхонь. Для очищення виливків із алюмінієвих сплавів замість чавунного дробу використовуються шматочки алюмінієвого дроту.

Чавунні та сталеві виливки зазвичай піддають дробометальному очищенню. На поверхню, що очищається, дріб подається металевими головками 1 (рис. 4.8) у вигляді турбін, що обертаються з частотою до 3000 об/хв. Дріб, що викидається великою відцентровою силою, ударяється об поверхню виливків 2 і очищає її при обертанні підвіски 3.

У сучасних великих ливарних цехах використовуються комплексні установки для очищення виливків. Наприклад, потокова лінія очищення містить вибивні ґрати, галтувальний барабан, дробометальні установки, верстати для зачищення та систему конвеєрів для передачі виливків із однієї операції на іншу.



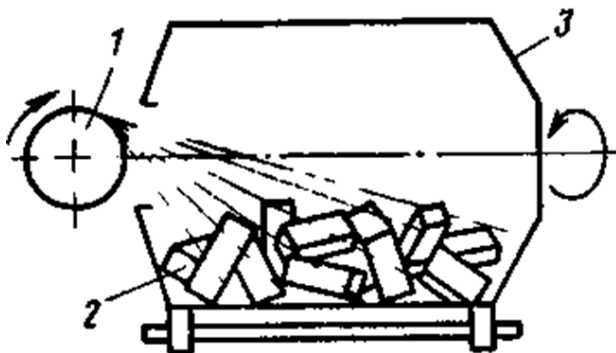


Рисунок 4.8 – Схема дробометального очищення виливків

#### 4.1.4. Термічна обробка виливків

Вид термічної обробки (відпал, нормалізація, гартування, відпуск) визначається природою сплаву, конфігурацією виливка та технічними умовами.

У чавунних виливках термічна обробка застосовується для зняття внутрішнього напруження, стабілізації розмірів, зниження твердості та поліпшення оброблюваності, підвищення механічних властивостей або зносостійкості. Графітизувальний відпал (850–980 °С) застосовується для графітизації первинних карбідів у чавунах усіх видів. При одержанні ковкого чавуну з білого цей вид термічної обробки є обов'язковим. При нормалізації та гартуванні чавунних виливків покращуються механічні властивості.

Сталеві виливки піддають термічній обробці у два етапи (відпал і нормалізація) для зняття внутрішнього напруження, подрібнення структури та зменшення твердості перед механічною обробкою. При остаточній термічній обробці сталеві виливки піддають нормалізації та відпуску, гартуванню та відпуску. Якість виливків із алюмінієвих і магнієвих сплавів поліпшують шляхом старіння, відпалу, гартування або гартуванню з подальшим штучним старінням.

#### 4.1.5. Дефекти виливків і способи їх усунення

Найпоширенішими дефектами виливків є (рис. 4.9):

- недоливи;
- викривлення;
- наріст;
- тріщини;
- газові раковини;
- шлакові раковини.

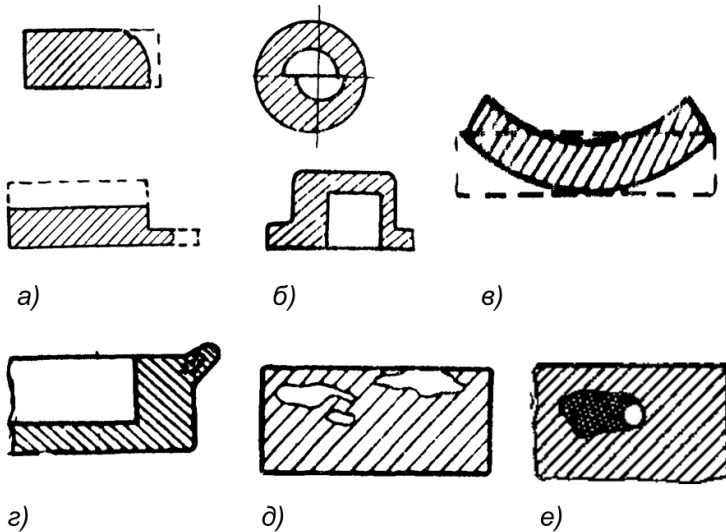


Рисунок 4.9 – Дефекти виливків:

- а – недоливи; б – викривлення та різностінність;  
в – викривлення; г – наріст; д – газові раковини;  
е – шлакові раковини

Виправляють дефекти у виливках просоченням, зачищенням, заварюванням, металізацією тощо.

Просочення є основним способом виправлення пористих виливків. Просочення виливка виконують для поліпшення його герметичності, внутрішньої антикорозійності. Для просочення широко використовується бакелітовий та асфальтовий лаки, натуральна оліфа, рідке скло та етилсилікат. Зачищення

виливків здійснюють ручним способом, на шліфувальних і наждачних верстатах, у галтувальних барабанах, що обертаються, піскоструминним способом тощо. Заварювання застосовується для видалення зовнішніх раковин.

Дефекти механічно оброблених сталевих виливків виправляють паянням. Для паяння застосовуються тверді припої Cu–Ni, Cu–Ag та інші. Поверхневі дефекти усуваються пастами, що складаються з наповнювача (кам'яного борошна, цементу, металевої стружки), з'єднувача (рідкого скла, епоксидної смоли) та отверджувача.

## 4.2. Спеціальні способи лиття

### 4.2.1. Лиття в кокіль

Сутність процесу лиття в кокіль: розплав заповнює форму під дією сил гравітації.

**Кокіль** – металева форма, робочі стінки якої виконані з чавуну, сталі, міді або алюмінію (АЛ11) з водоохолоджувачем. Стінки кокілю мають покриття тонкошарові (фарби) і товстошарові. Для великих виливків його величина не менше 30 мм. Його використовують багаторазово. За його допомогою виготовляють виливки зі сталі, чавуну та кольорових металів у серійному та масовому виробництвах.

За конструктивним принципом кокілі поділять на рознімні (з вертикальною, горизонтальною криволінійною площиною рознімання) та нерознімні.

Кокілі можуть бути з повітряним, рідинним або комбінованим охолодженням.

При литті в кокіль чавуну поверхневі шари тонкостінних виливків тверднуть із досить великою швидкістю, що призводить до утворення в металі структурно-вільного цементиту (вібілу). Утворюються висока твердість матеріалу (HV600) і крихкість, що ускладнює обробку різанням. Для усунення вібілу відливки піддають відпалу, що подовжує технологічний цикл лиття, збільшує енерговитрати.

Для запобігання вибілу в Інституті технології металів НАН Білорусі (м. Могильов) розроблено новий технологічний процес лиття в кокіль (рис. 4.2.1), що дозволив змінити теплові умови затвердіння відлиття.

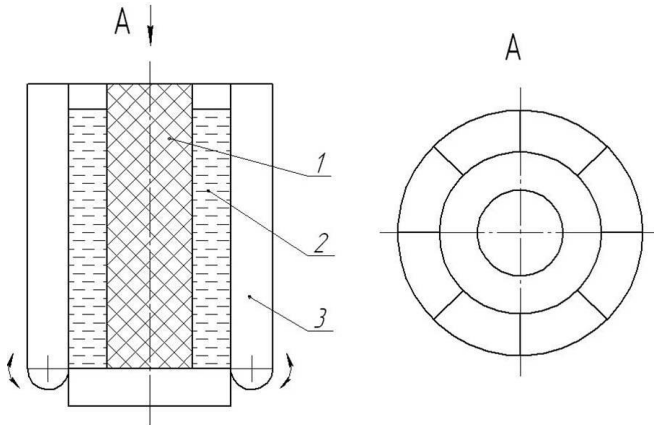


Рисунок 4.10 – Спрощена конструкція стулкового кокілю:  
1 – стрижень; 2 – розплав для гільзи двигуна внутрішнього згоряння; 3 – стулка

Сутність процесу полягає в тому, що розплав заливають у створчасту форму кокілю. Він призначений для виготовлення заготовок, які мають внутрішні поверхні обертання, наприклад гільз двигунів внутрішнього згоряння. Розплав, що знаходиться в кокілі, контактує з одного боку з його металевою поверхнею, що забезпечує формоутворення зовнішньої поверхні заготовки, а з іншого – зі стрижнем. У зв'язку з тим, що теплопровідність металевих стінок кокілю вища, то в цій зоні починається затвердіння металу. Як тільки утворюється затверділий шар, здатний утримувати решту розплаву, стулки кокілю відводять на певну відстань і подальше затвердіння розплаву відбувається на повітрі. Оскільки теплопровідність повітря нижча порівняно з матеріалом стрижня (піщано-глинистої суміші), застигання розплаву йде повільно, без утворень вибілу.

Запобігання утворенню у виливках із сірого чавуну вибілу та зменшення схильності до тріщин досягається також збільшенням у ньому вмісту вуглецю (3,5–3,8 %) і кремнію (2–

2,5 %), його модифікацією феросиліцієм, силікокальцієм та іншими модифікаторами.

Литтям у кокіль на автоматизованих лініях виготовляють із сірого чавуну корпуси редукторів, блоки й головки блоків двигунів внутрішнього згоряння, станини електродвигунів, розподільчі вали, гільзи двигунів внутрішнього згоряння та інші; з високоміцного чавуну – колінчасті вали. Зі сталі виготовляють деталі тракторів, залізничних вагонів тощо.

При використанні рідкоскляних сумішей для облицювання кокіль виготовляють виливки до 10 т зі сталі та чавуну масою до 15 т, що розширює його можливості.

#### 4.2.2. Лиття під тиском

Сутність процесу лиття під тиском: розплав заповнює порожнину і твердне під тиском. Литі заготовки отримують під високим і регульованим тиском.

Цей спосіб порівняно з іншими способами лиття найбільш точний. Виготовляють виливки з магнієвих, цинкових сплавів і латуні, бронзи, титану, сталі та чавуну.

На рис. 4.11 зображена технологічна схема отримання виливка. Швидкість переміщення розплаву  $V = 100$  м/с,  $P = 10\text{--}11$  МПа для цинку.

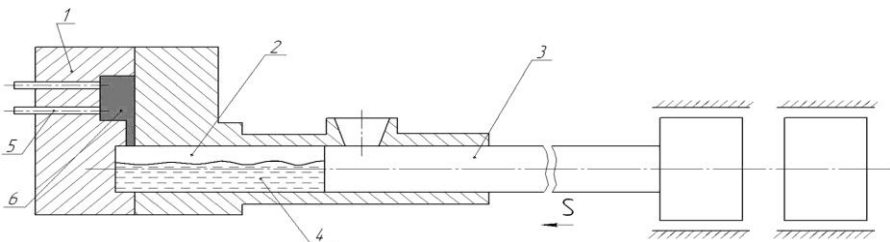


Рисунок 4.11 – Умовна схема холодної горизонтальної камери пресування: 1 – форма, 2 – камера пресування, 3 – поршень, 4 – розплав, 5 – виштовхувачі виливків, 6 – виливок

Основні регульовані способи лиття під низьким тиском, з протитиском, вакуумним усмоктуванням.

При литті під низьким тиском тиск газу у формі (рис. 4.12 а) дорівнює атмосферному ( $P_{\text{ф}} = P_{\text{атм}}$ ). Заливання металу здійснюється під надмірним тиском над дзеркалом розплаву у ванні.

Лиття з протитиском ґрунтується на знаходженні у формі стисненого газу (рис. 4.12, б), що протилежно за ефектом лиття з вакуумним усмоктуванням (рис. 4.12 в).

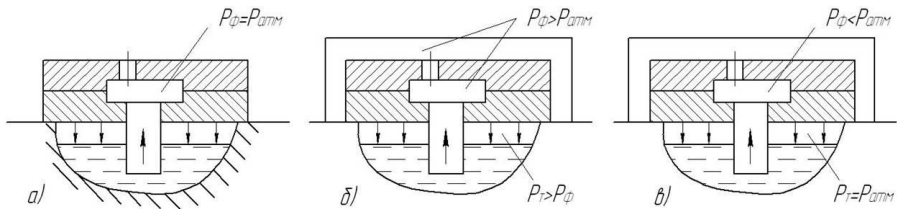


Рисунок 4.12 – Схеми процесів лиття під регульованим тиском:  
а – низьким; б – з протитиском; в – з вакуумним усмоктуванням

Якість виливків – точність розмірів підвищується на 1–2 класи порівняно з кокільним литтям, зменшуються припуски на обробку вдвічі, в 1,5–2 рази підвищується продуктивність (менший час затвердіння виливка). Виготовляють виливки складних контурів (зовнішніх, внутрішніх), литі вузли зварювально-литих конструкцій.

### 4.2.3. Лиття відцентрове

Лиття відцентрове – це процес формування виливка обертанням ливарної форми під дією відцентрових сил.

Вісь обертання форми може бути горизонтальною, вертикальною, похилою або такою, що переміщається в просторі.

Відцентрова сила діє на метал при частоті  $n$  обертання форми визначається за формулою (4.1):

$$P = mr\omega^2, \quad (4.1)$$

де  $m$  – обертальна маса рідини в даній точці, кг;  
 $r$  – радіус обертання, м;  
 $\omega$  – кутова швидкість, рад/с.

### **4.3. Форми, що мають конфігурацію тіла обертання**

Цим способом виготовляють виливки тіл обертання з чорних і кольорових металів (шестерні, колеса, блоки, маховики, труби та інші).

#### **4.3.1. Лиття в оболонкові форми**

Сутність процесу лиття в оболонкові форми: метал вільно заливається в оболонкову разову форму. Матеріали виливків: сталь, чавун, кольорові сплави.

Спосіб застосовується в серійному та масовому виробництвах.

Основні технологічні операції одержання виливків:

- виготовлення оболонок;
- складання (з'єднання) оболонок у форми;
- встановлення форм під заливання металом;
- плавка металу та заливання форм;
- кристалізація;
- вибивання;
- фінішна обробка виливків.

Цим способом отримують виливки з будь-яких сплавів. Порівняно з литтям у піщані форми забезпечується: зменшення шорсткості поверхні, поліпшення товарного вигляду, скорочення до 10 разів обсягу переробки формувальних матеріалів, зниження вдвічі капітальних витрат, зменшення металоємності формувального обладнання. Недоліки: висока вартість смоляного сполучного, шкідливість процесу виготовлення форм, недостатня міцність оболонок.

Процес виготовлення оболонкової форми (рис. 4.13) складається з:

- нагрівання модельного оснащення;
- нанесення на робочу поверхню підмодельної плити розділового покриття та піщано-смоляної суміші;
- формування та затвердіння оболонки разом із підмодельною плитою при температурі 300–400 °С;
- знімання готової форми з модельної плити регулюванням.

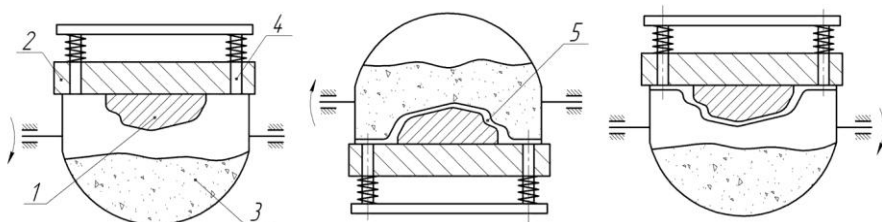


Рисунок 4.13 – Схема виготовлення оболонкової форми:  
 1 – модель; 2 – підмодельна плита; 3 – піщано-смоляна суміш;  
 4 – виштовхувачі; 5 – оболонкова форма

#### 4.3.2. Лиття за витоплюваними моделями

Сутність процесу лиття за витоплюваними моделями: одержання виливків у багатошарових оболонкових нерознімних разових формах, що виготовляються з використанням витоплюваних, а також випалюваних моделей одноразового використання. Матеріал виливків – будь-які сплави.

Застосовується в серійному та масовому виробництвах, а також дослідному та дрібносерійному.

Область застосування – виливки з високолегованих сталей і сплавів (лопатки газотурбінних двигунів, клапани, шестерні, різальний інструмент).

Для виготовлення форми застосовуються прес-форми різні, точність яких вище моделей. Усередину моделей заливають випалювані (віск) або випалювальні матеріали (пінополістирол). Помістивши прес-форми в автоклав і підігрівши модель до температури плавлення, отримують



модель. Як моделі виготовляють багат шарову керамічну оболонку з необхідною міцністю на основі силіки, корунду, магнетиту, а також сполучних матеріалів – рідке скло та інші. При литті сплаву на основі титану застосовують графіт, температура плавлення якого 1713 °С.

Виготовивши багат шарову керамічну оболонку за моделлю, її виплавають гарячою водою, насиченою паром, або випалюють (пінополістирол), потім її прожарюють до температури 850–950 °С. Схему лиття шестерні наведено на рис. 4.14.

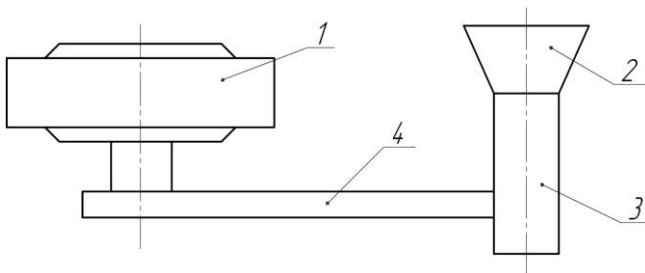


Рисунок 4.14 – Схема лиття шестерні:

- 1 – виливок; 2 – верхній додаток; 3 – стояк;  
4 – живильний колектор

Перед заливкою модель із підвідною ливниковою живильною системою поміщають у псевдокиплячий пісок.

Необхідність надання жароміцних властивостей деталей складної форми визначило подальше вдосконалення лиття зі спрямованою кристалізацією. Отримують виливки з 2–4 кристалів, орієнтованих уздовж осі заготовки (пера лопатки ГТУ і ВМД). Стовпчаста структура підвищує жароміцність, пластичність, термостійкість і витривалість лопаток порівняно з рівновісною структурою. Ресурс лопаток збільшується в 1,5–2 рази. Спрямована кристалізація зі швидкістю зростання 25–30 см/год збільшує тривалу міцність жароміцних сплавів при 975 °С на 10–15%, пластичність – в 1,5–2 рази, опір втоми на 20 %.

До цього виду лиття належать також: лиття за газифікованими (випалюваними) моделями, розчинними, заморожувальними.

### **4.3.3. Штампування виливків із рідкого металу**

Сутність процесу штампування виливків з розплаву полягає у тому, що здійснюються лиття з кристалізацією в матриці під тиском і його витримка до повного затвердіння (ГОСТ 18169-86).

Час витримки металу в прес-формі під тиском (до 200 МПа) 1,0–1,2 с на 1 мм товщини стінки.

Спосіб застосовується для виготовлення виливків із чорних і кольорових сплавів у серійному та масовому виробництвах.

Розрізняють поршневе, пуансонне та пуансонно-поршневе пресування з витискуванням розплаву в закриту порожнину на гідравлічних, фрикційних пресах, спецобладнання.

За оцінками експертів технології, розроблені на межі процесів лиття та обробки тиском, визначають розвиток заготівельного виробництва в ХХІ столітті. Створений спосіб лиття відрізняється тим, що розплав прес-форми після його затвердіння з кристалізацією під тиском піддають механічному пресуванню. Спосіб досить продуктивний і забезпечує коефіцієнт витрати матеріалу більше 0,9. Енерговитрати знижуються в 3–4 рази порівняно із традиційним литтям під тиском. Ефективна область використання – виробництво заготовок складної форми (чавун, вуглецеві сталі, легкі та кольорові сплави).

### **4.3.4. Електрошлакове лиття**

Сутність процесу електрошлакового лиття полягає у тому, що метал заповнюється електрошлаковим переплавом безпосередньо в ливарну форму або ємність, а потім у форму. Це дозволяє виключити контакт розплаву з атмосферою,

зберігши його рафінованою. Існує поряд з іншими відцентрове та кокільне електрошлакове лиття, що здійснюється із застосуванням електрошлакового тигельного плавлення (рис. 4.15). Матеріал виливків – леговані сталі. Види заготовок: колінчасті вали вантажних двигунів внутрішнього згоряння, штампи, порожнисті злитки та ін.

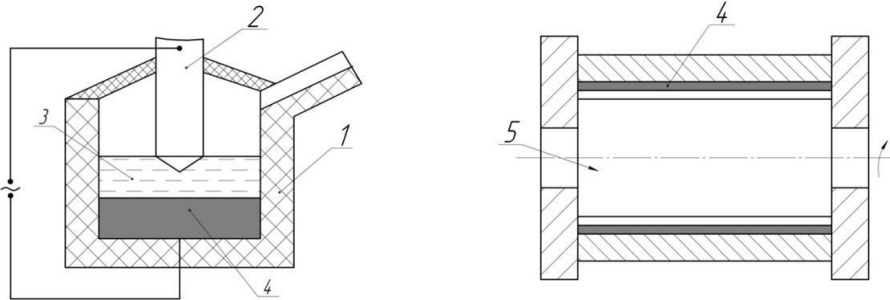


Рисунок 4.15 – Схема електрошлакового тигельного плавлення з заливанням металу в обертову форму: 1 – тигель; 2 – електрод; 3 – шлак; 4 – розплав; 5 – заливання розплаву

Зустрічний рух металу та шлаку підсилює його рафінування, коефіцієнт використання матеріалу для лиття дорівнює 0,7, на відміну від кування – 0,27.

#### 4.4. Порівняльний аналіз спеціальних способів лиття

Кількісно порівняти розглянуті способи лиття можна, базуючись на такі показники:

- ступінь точності згідно з ГОСТ 25347-82;
- клас точності згідно з ГОСТ 26645-85;
- шорсткістю.

Зведені дані за показниками спеціальних способів лиття подані у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльний аналіз спеціальних способів лиття

Спосіб лиття	Ступінь точності (ГОСТ 25347-82)	Клас точності (ГОСТ 26645-85)	Шорсткість, мкм
Лиття в кокіль	12–15		Ra 8–100
Лиття під тиском	9–12; 10–13	3т–9; 5т–13т	Rz 2,5–40
Лиття відцентрове			
Лиття в оболонкові форми	11–15	5т–11	Rz 20–160
Лиття за виплавлюваними моделями	10–14	3т–9	Rz 10–20
Штампування виливків із розплаву	8–9	2–3т	Rz 5–20

### Контрольні питання

1. Технологічні можливості лиття в піщані форми. Розроблення технології.
2. Схема виготовлення виливків у піщаних формах.
3. Способи ручного та машинного формування.
4. Устаткування для витягання моделей з форм.
5. Способи вибиття, обрубубання та очищення виливків. Термічна обробка виливків.
6. Основні дефекти виливків і методи їх виправлення, контроль якості виливків.
7. Технологічні можливості та сутність лиття в кокіль.
8. Методи усунення вибілу у виливках.
9. Сутність і технологічні можливості лиття під тиском.
10. Способи лиття під тиском.
11. Призначення й сутність відцентрового лиття.
12. Технологічні можливості відцентрового лиття.
13. Сутність процесу лиття в оболонкові форми.
14. Послідовність приготування оболонкової форми.

15. Технологічні можливості лиття в оболонкові форми.
16. Особливість процесу лиття, сфера застосування лиття за виплавлюваними моделями.
17. Послідовність отримання форми.
18. Сутність способу штампування виливків із рідкого металу. Технологічні можливості.
19. Особливість і переваги способу електрошлакового тигельного плавлення.

## ТЕМА 5

# СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ, ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### План лекції

- 5.1. Особливості ковальсько-штампувального виробництва.
- 5.2. Класифікація технологічних процесів і виробів ковальсько-штампувального виробництва, застосоване обладнання.
- 5.3. Вихідні заготовки у ковальсько-штампувальному виробництві та способи їх обробки.
- 5.4. Характеристики точності та металоємності у ковальсько-штампувальному виробництві.  
Контрольні питання.

### **5.1. Особливості ковальсько-штампувального виробництва**

Ковальсько-штампувальне виробництво (КШВ) призначене для виготовлення заготовок і деталей машинобудівного виробництва. Виготовлення виробів у КШВ здійснюється в основному пластичною деформацією. Це приводить до зменшення відходів при обробці різанням, поліпшення механічних властивостей матеріалу заготовок із чорних і кольорових металів і їхніх сплавів.

Устаткування для деформування вихідних заготовок продуктивніше, ніж у ливарному виробництві.

Тип КШВ залежить від програми виготовлення поковок на 1 рік, маси та кількості типів заготовок, закріплених за обладнанням (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Ознаки типів ковальсько-штампувального виробництва

Параметри		Виробництво		
		Одиничне, дрібносерійне	Серійне	Великосерійне, масове
Річний випуск поковок, шт./рік	Дрібні (до 1 кг)	Менше 50 тис.	50–500	Понад 500 тис.
	Середні (1–10 кг)	Менше 10 тис.	10–100	Понад 100 тис.
	Важкі (10–150 кг)	Менше 2 тис.	2–10 тис.	Понад 10 тис.
Число типів заготовок, закріплених за обладнанням, шт.		13 та більше	6–12	1–5

## **5.2. Класифікація технологічних процесів і виробів ковальсько-штампувального виробництва, застосовне обладнання**

Основні технологічні процеси КШВ: кування, штампування, спеціальні способи. Вироби, виготовлені куванням або об'ємним штампуванням, називають відповідно кованими або штампованими, а вироби листового штампування – деталями, оскільки вони віддаються у складальні цехи без обробки різанням. У процесах КШВ пластична деформація може бути холодною, гарячою та проміжною, неповною холодною або неповною гарячою. Отримують вироби зі зміцнювальними або знеміцнювальними ефектами.

Холодна пластична деформація супроводжується явищем повернення (з повним зміцненням). Рекристалізація відсутня. Температура деформації  $T < 0,3T_{пл}$ , де  $T_{пл}$  – абсолютна температура плавлення деформованого металу. Забезпечуються високі міцнісні властивості виробу.

При неповній холодній пластичній деформації рекристалізація (процес росту одних кристалічних зерен полікристала за рахунок інших) відсутня. У металі з'являється смужкувата структура або текстура. Деформація здійснюється в інтервалі температур  $T = (0,3-0,5) \cdot T_{пл}$ .

При гарячій пластичній деформації (із повним знеміцненням) рекристалізація відбувається повністю. Температура гарячої пластичної деформації  $T = 0,7T_{пл}$ .

Неповну гарячу пластичну деформацію (неповне зміцнення) при температурі  $T = (0,5-0,7) \cdot T_{пл}$  застосовують рідко, оскільки отримують знеміцнення металу.

Описані види пластичної деформації справедливі для кування на традиційному ковальсько-штампувальному обладнанні (рис. 5.1).



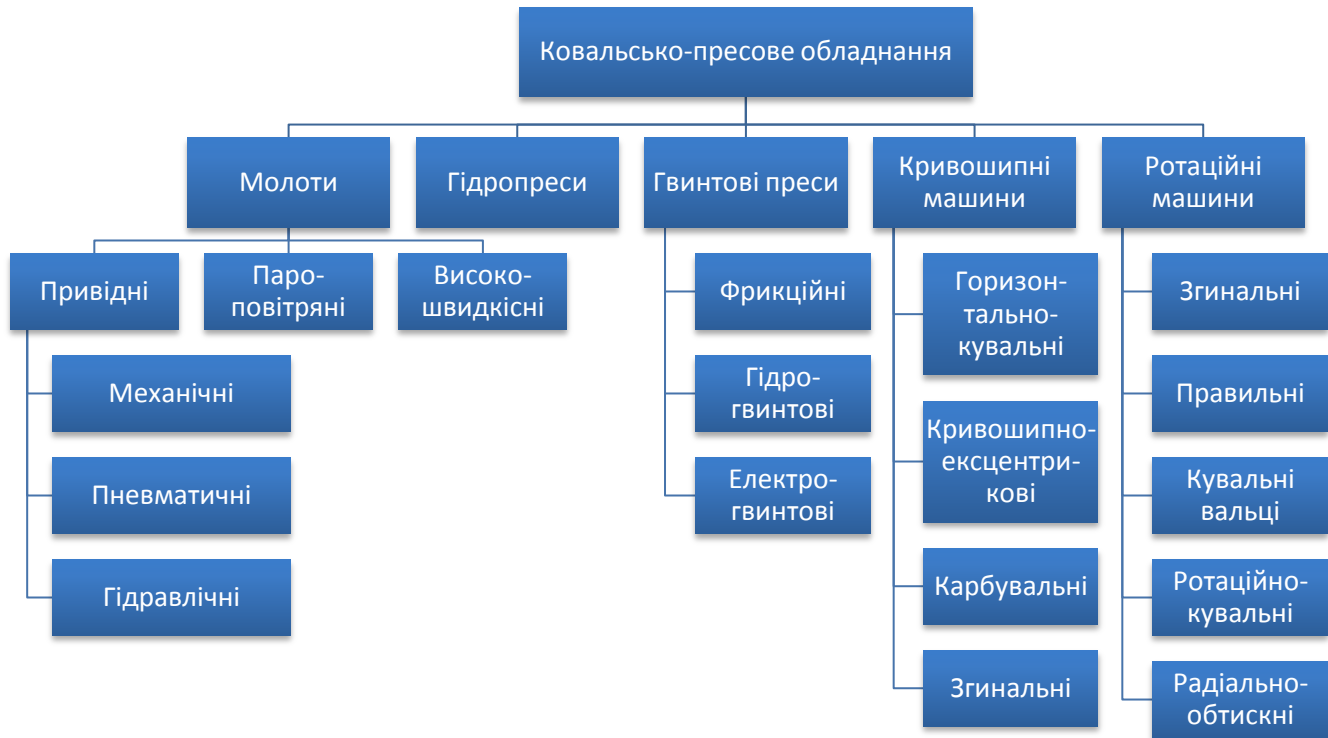


Рисунок 5.1 – Класифікація ковальсько-пресових машин

### **5.3. Вихідні заготовки у ковальсько-штампувальному виробництві та способи їх обробки**

Вихідними заготовками для виготовлення поковок на молотах та пресах і іншого виду устаткування є: злитки, цвітіння (сталеві заготовки квадратного перерізу, прокатана на блюмінгу або отримана з рідкого металу безперервним литтям), заготовки, отримані відцентровим литтям і зварені, товарні заготовки, сортові й фасонні профілі загального, галузевого і спеціального призначення, трубний прокат, гнуті, гарячепресовані періодичні профілі.

Кольоровий метал надходить у ковальські цехи у вигляді злитків або катаних прутків.

При виготовленні деталей пластичній деформації піддають трохи більше половини сортового прокату. В інших випадках деталі отримують обробкою різанням.

Способи обробки вихідних заготовок поділяють на 2 групи: без відходів; з відходами (рис. 5.2).

Найбільш грубий спосіб обробки – газове різання. Точність ручного різання  $\pm 4\text{--}10$  мм, машинного –  $\pm 1\text{--}2$  мм. Максимальна товщина листового прокату при різанні – до 200 мм, із зовнішнім діаметром – до 200 мм. Найбільш точний показник різання на абразивно-відрізних, анодно-механічних верстатах –  $\pm 0,15\text{--}0,3$  мм, на лазерних –  $\pm 0,001\text{--}0,05$  мм. Для різання високоміцних і твердих матеріалів використовуються електромеханічне та електроіскрове різання. Точність і якість поверхні при обробці іншими способами наведені в табл. 5.2.

## без відходів

- **Пластичне деформування**
  - відрубання
  - обкат клиновим інструментом
- **Руйнування**
  - обкат клиновим інструментом
  - холодне ламання
  - різання (у штампах на ножицях; крученням)
- **Пластичний зсув**
  - різання (у штампах на ножицях; крученням)

## з відходами

- **Різання**
  - різання зубчастими пилами (дисковими, стрічковими, ножівковими)
  - розрізування різцями
  - різання абразивними кругами
- **Плавлення, випаровування, спалювання металу**
  - різання фрикційними пилами
  - різання електромеханічними пилами
  - різання електроерозійне
  - різання анодно-механічне
  - різання газополум'яне
  - різання повітряно-дугове
  - різання полум'яно-дугове
  - різання лазерне

Рисунок 5.2 – Способи обробки вихідних заготовок

Таблиця 5.2 – Точність і якість поверхні при обробці різними способами

Спосіб відрубання	Квалітет	Rz + h, мкм
На ножицях	17	300
Привідними ножівками, дисковими фрезами на верстатах	14	200
Відрізними різцями на токарних верстатах	13	200
Відрубання на пресах	17	Rz 150–300 h 1000–1600
<b>Примітка.</b> h – глибина дефектного шару		

#### 5.4. Характеристики точності та металомісткості у ковальсько-штампувальному виробництві

Клас точності кування встановлюється залежно від технологічного процесу та устаткування. Допускаються різні класи точності для різних розмірів одного й того самого кування. Клас точності визначається за переважним числом розмірів одного класу точності креслення кування та в технічних вимогах.

Характеристиками точності та металомісткості у КШВ є:

- коефіцієнт використання металу (КВМ);
- коефіцієнт виходу придатного (КВП);
- коефіцієнт масової точності (КМТ).

Із трьох коефіцієнтів для оцінки точності поковок та металомісткості в КШВ використовується КВМ. Для його підвищення потрібна спільна робота технологів з обробки металів тиском, термообробки та обробки різанням.

Установлено, що для цехів масового та великосерійного виробництва величини зазначених коефіцієнтів залежать від маси поковок. Зі збільшенням маси кування числові значення зростають. Наприклад, для поковок від 1 кг і понад 40 кг: КВМ = 0,45–0,62; КВП = 0,75–0,89; КМТ = 0,6–0,7.

Відходи: відсоток від загальних витрат металу на розкрій 2,5–3,1; вигар при індукційному нагріванні 1–0,9;

облой 21,5–8,5; стружка 30–25,5. КВП у КШВ зростає зі збільшенням маси штампованих деталей у дрібно- та середньосерійному виробництвах.

### **Контрольні питання**

1. Основні параметри, що характеризують КШВ.
2. Види деформації металу в КШВ.
3. Основні 5 типів обладнання в КШВ.
4. Типи вихідних заготовок у КШВ.
5. Способи обробки вихідних заготовок у КШВ. Якість заготовок.
6. Характеристики точності і металомісткості в КШВ.

## ТЕМА 6 ОБ'ЄМНЕ ГАРЯЧЕ ШТАМПУВАННЯ

### План лекції

- 6.1. Сутність процесу, застосоване обладнання, інструмент, показники якості заготовок.
- 6.2. Правила вибору площини розняття матриць штампа.
- 6.3. Проектування порожнин у поковках.
- 6.4. Визначення маси та розмірів заготовки для штампування. Контрольні питання.

#### **6.1. Сутність процесу, застосовуване обладнання, інструмент, показники якості заготовок**

Сутність процесу гарячого об'ємного штампування (ГОШ) полягає в тому, що заготовці надають необхідної форми, заповнюючи металом порожнину штампа, в результаті чого його течія відбувається в осях  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  на відміну від кування.

Порожнину штампа, що заповнюється металом при штампуванні, називають канавкою.

Канавки ділять на:

- заготовочні;
- штампувальні;
- відрубні (ножі).

Штампкування заготовок виконують на молотах і пресах, горизонтально-кувальних машинах і на спеціальному устаткуванні.

Інструментом для штампування заготовок є штампи, які класифікують на:

- відкриті;
- закриті;
- для видавлювання;
- для висадки;
- інші.

Штампкування у відкритих штампах застосовують для заготовок будь-якої конфігурації, закритих – лише для тіл

обертання. Комбінована схема штампів для відкритого й закритого штампування наведена на рис. 6.1.

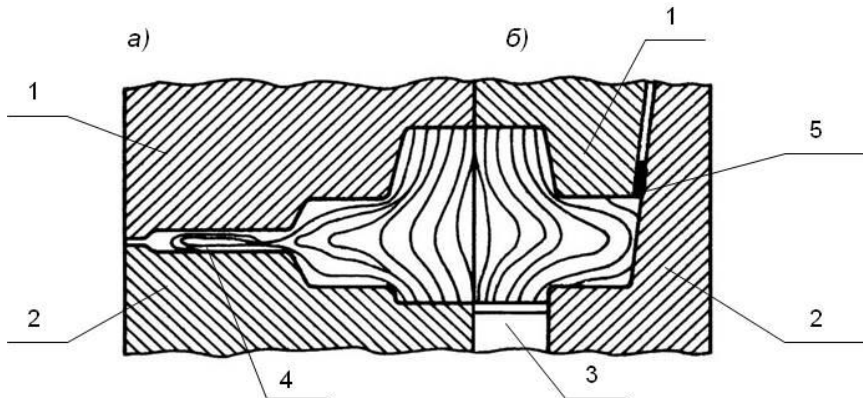


Рисунок 6.1 – Комбінована схема штампів для відкритого (а) й закритого (б) штампування:

- 1 – верхня матриця штампа; 2 – нижня матриця штампа;
- 3 – виштовхувач; 4 – облой; 5 – задирка

Кування без підкладних штампів застосовується для одержання заготовок простої форми масою до 250 т. Підкладні штампи дозволяють отримати заготовку дещо складної форми.

При штампуванні у відкритих штампах надлишок металу на заготовку витісняється в облойну канавку, утворюючи облой, у закритих штампах – у щілину, утворюючи задирку. Облой гальмує переміщення металу з порожнини штампа, забезпечуючи її заповнення кутів. Основна маса поковок виготовляється у відкритих штампах, незважаючи на те, що КВМ вище у закритих штампах.

Якість поверхні заготовок характеризують параметром шорсткості  $Rz$  ( $Ra$ ) та глибиною дефектного шару  $h$  (табл. 6.1).

Основні показники якості заготовок, отриманих способами гарячого об'ємного штампування, наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.1 – Якість поверхні заготовок, отриманих гарячим об’ємним штампуванням

Маса штампованої поковки, кг	Rz, мкм	h, мкм
До 0,25	60	150
0,25–4,0	100	200
4,0–25	240	250
25–40	320	300
40–100	350	350
100–200	400	400

Таблиця 6.2 – Показники якості заготовок

Спосіб гарячого об’ємного штампування	Допуск на основний розмір, мм, або квалітет, IT	Шорсткість Rz або Ra, мкм
На молотах, пресах	0,7–11,0	Rz 20–160
Із наступним калібруванням	IT8–IT12	Ra 0,03–2,5
Із висаджуванням на горизонтально-кувальних машинах	0,7–3,4	Rz 20–160
Видавлюванням	0,2–0,5	Rz 20–80
На карбувальних пресах	IT8–IT14	Rz 20–80

КВП для дрібно- та середньосерійного виробництва 0,5–0,85, великосерійного – 0,65–0,92.

КВМ для цехів масового та великосерійного виробництв залежать від маси та знаходяться у діапазоні 0,45–0,62; КВП – 0,75–0,89; КМТ – 0,6–0,7 при індукційному нагріванні заготовок.

## 6.2. Правила вибору площини рознімання матриць штампа

Рознімання в штампі необхідне для розміщення вихідної заготовки у канавку, а також безперешкодного вилучення заготовки.



Вимоги, що визначають положення площин рознімання штампа:

- поковка повинна вільно вилучатися зі штампа;
- площина рознімання повинна збігатися із площиною найбільших габаритних розмірів кування;
- повинна забезпечуватися мінімальна кількість переходів;
- перевагу необхідно віддавати прямій площині рознімання та забезпечувати зручний контроль переміщення матриць штампа.

Можливі три варіанти рознімання (рис. 6.2). Залежно від співвідношення висоти  $H_0$  і діаметра  $D_0$  вибирають варіанти рознімання 1–3-го штампів.

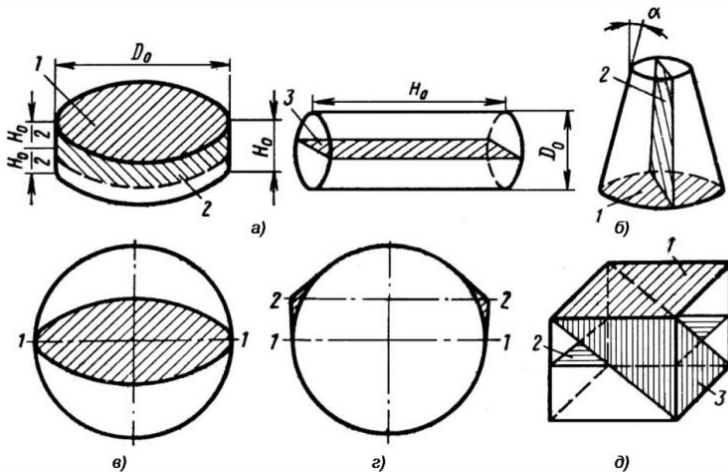


Рисунок 6.2 – Можливі положення площин рознімання штампів для простих геометричних фігур

Циліндр. Для циліндра (рис. 6.2 а) великої довжини доцільніше застосовувати варіант 3, при якому заготовку штампують уздовж осі, оскільки напуски від штампувальних уклонів у цьому випадку будуть тільки у торців; для циліндрів невеликої довжини, які штампують у торець, раціональним є варіант 2.

Зрізаний конус. Для зрізаного конуса можливі два варіанти рознімання (рис. 6.2 б). Варіант 1 використовується у випадку, коли величина кута конуса  $\alpha$  достатня для вилучення поковки із канавки без використання значних зусиль. Поковки великої довжини, як правило, штампують за варіантом 2 із напусками від штампувальних уклонів лише на торцях.

Сфера. Для сфери (рис. 6.2 в, г) оптимальна площина рознімання – варіант 1.

Куб. Для куба (рис. 6.2 д) оптимальним є варіант 3.

Реальні можливі площини можна розглядати як складні геометричні фігури, що складаються з елементарних фігур. Якщо площину рознімання штампів вибирають за максимальними розмірами кування, то порожнини штампів виходять не глибокими, полегшується їх заповнення, але збільшуються периметр і обсяг задирка, а також площа дзеркала штампа, зайнята канавками.

Розглянемо приклади. Потрібно виготовити деталь типу шків, втулки, шестірні тощо (рис. 6.3 а). Вибираючи різні площини рознімання штампів, отримуємо поковки різної форми (рис. 6.3 б, в). При положенні рознімання, показаному на рис. 6.3 б, застосовують торцеве штампування. Рознімання на рис. 6.3 в називається поперечним штампуванням. Розташування та величина напусків залежать від співвідношення розмірів елементів поковки. При торцевому штампуванні при співвідношенні розмірів  $H_d \leq D_d$  (рис. 6.3 б) вдається зробити намітки отворів, збільшується КВМ, знижується трудомісткість механічної обробки.

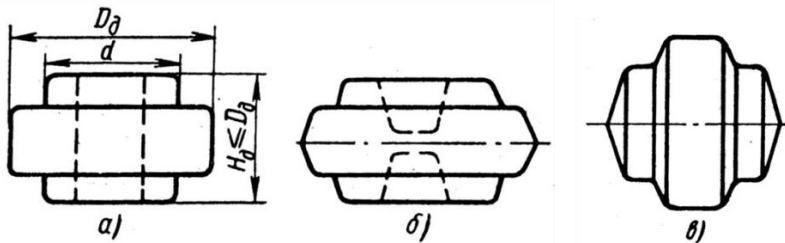


Рисунок 6.3 – Можливі положення площини рознімання відкритих штампів для кування деталей типу тіла обертання

При штампуванні шестерні, незалежно від співвідношень, доцільним є торцеве штампування. Макроструктура виходить однаковою у всіх зубів, забезпечуючи їх високу міцність.

### 6.3. Проектування порожнин у поковках

За наявності у деталі отворів у заготовці передбачають порожнину з одного або двох боків. Різновиди порожнин у заготовках наведені на рис. 6.4.

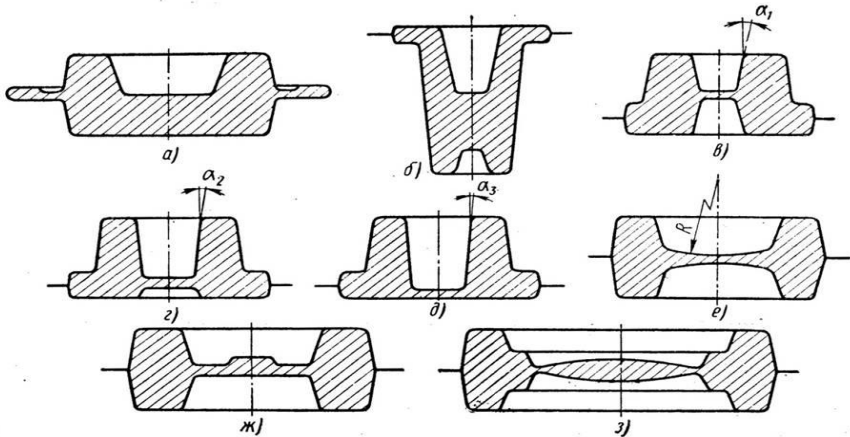


Рисунок 6.4 – Типи поковок із порожнинами:

а – одностороннє розташування порожнини; б – двостороннє розташування глухих порожнин для штамповок великої висоти;

в – рівностороннє розташування порожнини із двох боків заготовки; г – близькі до збігу вершин порожнин до площини рознімання; д – допустимий варіант розташування порожнини;

е – порожнина з тонкою перемичкою; ж – попередньо порожнини отримують у чорновій, а остаточно – у чистовій канавці з обробкою кишені та стоншеними стінками перемички;

з – порожнина при великому діаметрі кування, але невеликої маси

Ковальські напуски утворюються штампувальними ухілами, радіусами заокруглень, перемичкою в отворах.

Штампувальні уклони 1–10° виключають застрявання поковок на канавках.

#### 6.4. Визначення маси та розмірів заготовки для штампування

Згідно з ГОСТ 7505-89 попередньо визначається розрахункова маса штампування номінального розміру деталі за формулою (6.1):

$$m_{ш} = m_{д} k_p , \quad (6.1)$$

де  $m_{д}$  – маса деталі;

$k_p$  – коефіцієнт, що залежить від конфігурації деталі ( $k_p = 1,3-2,2$ ).

Визначають ступінь складності штампування за формулою (6.2):

$$C = \frac{m_{ш}}{m_{\phi}} , \quad (6.2)$$

де  $m_{\phi}$  – маса (об'єм) геометричної фігури, в яку вписується форма кування (рис. 6.5).

Установлені ступені складності: С1; С2; С3; С4 і відповідні їм числові значення відношення  $m_{ш} / m_{\phi}$ :

- С1: більше 0,63;
- С2: 0,32–0,63;
- С3: 0,16–0,32;
- С4: до 0,16.

Визначають групу сталі (М1; М2; М3) залежності від їх хімічного складу (табл. 6.3) і класу точності штампування (Т1; Т2; Т3; Т4; Т5).

Припуски та відхилення, що беруться для штамповок, визначаються за вихідним індексом (табл. 6.3) і розмірами штамповок.

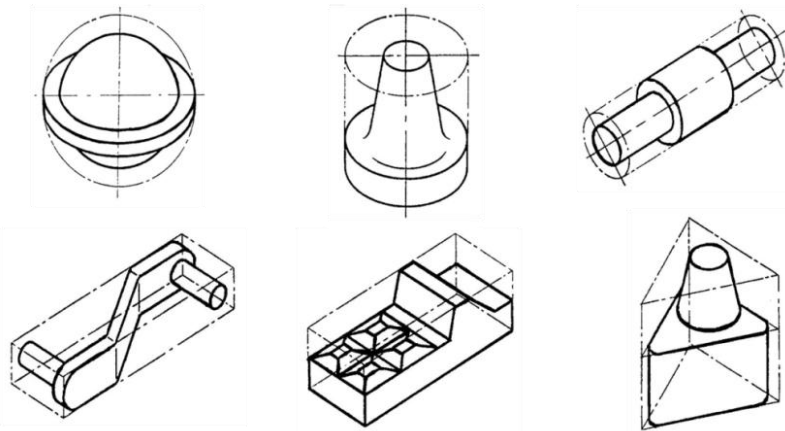


Рисунок 6.5 – Геометричні фігури, в які може вписуватися поковка

Таблиця 6.3 – Класи точності поковок

Обладнання, технологічний процес		Клас точності				
		T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипні гаряче- штампувальні преси	Відкрите штампування				+	+
	Закрите штампування		+	+		
	Видавлювання			+	+	
Горизонтально-кувальні машини					+	+
Преси гвинтові, гідравлічні					+	+
Гарячештампувальні автомати			+	+		
Штампувальні молоти					+	+
Калібрування об'ємне		+	+			
Прецизійне штампування		+				

Маса металу заготовки, необхідної для отримання штампованого кування на молоті або пресі, розраховується за формулою (6.3):

$$G_{заг} = G_{пок} + G_{обл} + G_{уг} , \quad (6.3)$$

де  $G_{нок}$  – маса поковки;

$G_{обл}$  – маса відходів (враховується лише при штампуванні у відкритому штампі);

$G_{уз}$  – маса відходження металу на вигорання.

Масу облою можна орієнтовно розрахувати за формулою (6.4):

$$G_{обл} = 0,5 - 0,8 \cdot \rho \cdot F_{обл} \cdot L, \quad (6.4)$$

де  $\rho$  – густина металу;

$F_{обл}$  – площа поперечного перерізу канавки для облою;

$L$  – периметр кування по лінії рознімання.

Орієнтовні площі поперечного перерізу канавки для облою  $F_{обл}$  залежно від маси кування наведені у табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Орієнтовні площі поперечного перерізу канавки для облою

$G_{пок},$ кг	Менше 0,5	0,5–1,5	1,5–5	5–12	12–25	25–40	40–100	Понад 100
$F_{обл},$ см <sup>2</sup>	1,1	1,6	2,4	3,2	4,2	5,3	11,2	19,5

Маса відходів металу на угар при нагріванні в полум'яній печі береться такою, що дорівнює 1,5–3 % маси поковки з облоєм і кліщовиною, а при електронагріванні – 0,5–1 %.

Площа поперечного перерізу заготовки для штампування поперечно до осі визначається за формулою (6.5):

$$F_{заг} = \frac{KV_{заг}}{L_{нок}}, \quad (6.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує переміщення металу заготовкою уздовж її осі;

$V_{заг}$  – об'єм заготовки без рицини;

$L_{пок}$  – довжина кування без рицини.

Значення коефіцієнта:

- 1,02–1,05 – за відсутності заготівельних канавок;
- 1,3 – при перетискній канавці;
- 1,05 – при формувальній канавці;
- 1,05–1,2 – при підкатній канавці;
- 1,05–1,1 – при згинальній канавці ( $L_{пок}$  у цьому випадку береться за середню лінію розгортки).

Якщо застосовується одна протяжна канавка без інших заготівельних канавок (за винятком згинального або формувального), площу поперечного перерізу заготовки беруть такою, що дорівнює максимальній площі поперечного перерізу поковки з облоєм.

Довжина заготовки визначається за формулою (6.6):

$$L_{заг} = \frac{V_{заг}}{F_{заг}} . \quad (6.6)$$

При штампуванні із кліщовиною до довжини заготовки додають довжину кліщового кінця. Довжина кліщовини повинна бути не меншою 25 мм і становить 0,6–1 діаметра або сторони квадрата заготовки.

При виготовленні поковок осадкою в торець відношення  $T$  довжини заготовки  $L_{заг}$  до її діаметра  $d_{заг}$  (або сторони  $A$  квадратної заготовки) повинна становити 1,25–2,8 (найчастіше беруть  $T = 2$ ).

Задаючись значенням коефіцієнта  $T$ , знаходять:

1) діаметр заготовки за формулою (6.7):

$$d_{заг} = 1,083 \sqrt[3]{\frac{V_{заг}}{m}} ; \quad (6.7)$$

2) довжину заготовки за формулою (6.8):

$$L_{заг} = 4 \frac{V_{заг}}{\pi d_{заг}^2} ; \quad (6.8)$$

3) сторону квадратної заготовки за формулою (6.9):

$$A = \sqrt[3]{\frac{V_{заг}}{m}} ; \quad (6.9)$$

4) довжину квадратної заготовки за формулою (6.10):

$$L_{заг} = \frac{V_{заг}}{A^2} . \quad (6.10)$$

### **Контрольні питання**

1. Сутність процесу ГОШ. Обладнання та інструмент.
2. Показники якості заготовок ГОШ.
3. Правила вибору рознімання матриць штампа.
4. Призначення порожнин у поковках.
5. Визначення маси металу та розмірів заготовки для штампування.



## ТЕМА 7

# ШТАМПУВАННЯ ЗАГОТОВОК НА МОЛОТАХ І ПРЕСАХ

### План лекції

- 7.1. Обладнання та інструмент, що застосовуються при штампуванні на молотах.
- 7.2. Класифікація поковок, отриманих на молотах, та струмків при штампуванні.
- 7.3. Визначення розмірів вихідної заготовки, кількості переходів при штампуванні на молотах.
- 7.4. Рекомендації з розроблення креслень штамповки.
- 7.5. Сутність процесу кування, застосоване обладнання.
- 7.6. Класифікація кованих поковок, основні технологічні операції.
- 7.7. Розроблення креслень кованої поковки.  
Контрольні питання.

### **7.1. Обладнання та інструмент, що застосовуються при штампуванні на молотах**

Молоти є універсальним обладнанням для гарячого об'ємного штампування переважно у відкритих штампах. Їх ККД становить близько 3 %.

Основні типи молотів:

- пароповітряний;
- механічний;
- гідравлічний;
- високошвидкісний;
- інші.

У пароповітряних молотах енергоносієм є пара або повітря для переміщення баби молота.

Механічні молоти. Робоче переміщення баби молота здійснюється під дією сили ваги на відміну від гідравлічних, де енергоносієм є рідина високого тиску (до 18 МПа).

Високошвидкісні молоти застосовуються для штампування поковок із важкодеформованих матеріалів

(титанові сплави), а також із кольорових і чорних металів і сплавів. Швидкість деформування заготовки перевищує 7 м/с. Як енергоносієй використовується газ високого тиску, процес деформування відбувається за частки секунди. Цей спосіб штампування порівняно з описаними вище на 30–40 % знижує витрати металу і в 2–3 рази підвищує КВМ. Точність поковок підвищується. Для виготовлення поковок використовуються штампи, що складаються з двох матриць.

Верхню матрицю штампа (рис. 7.1) кріплять до баби молота, нижню – до штампотримача, який закріплюється на шаботі.

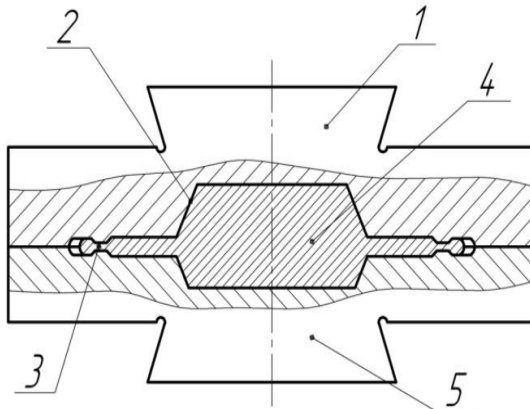


Рисунок 7.1 – Схема молотового відкритого штампа:  
 1 – верхня матриця; 2 – стінка канавки (порожнини);  
 3 – облой; 4 – поковка; 5 – нижня матриця

Вибір молота здійснюють, визначивши масу падаючих частин для штампування у закритих штампах за формулою (7.1):

$$G_{п.ч.} = 3,5 - 5 \cdot F_{п.}, \quad (7.1)$$

де  $F_{п.}$  – площа проекції поковки в плані, см<sup>2</sup>.

## 7.2. Класифікація поковок, отриманих на молотах, та канавок при штампуванні

Кування класифікують за рядом ознак, наприклад, за способом штампування: плиском або осадженням в торець тощо.

Їх поділяють на групи I і II, у кожній з яких є дві підгрупи (геометрична характеристика кування й технологічні особливості при штампуванні щодо канавок). Типові представники групи I – шатуни, колінчасті вали й інші, II групи – стакани, хрестовини, шестерні й інші.

Типи канавок: заготівельні, штампувальні.

## 7.3. Визначення розмірів вихідної заготовки, кількості переходів при штампуванні на молотах

Розміри вихідної заготовки визначають виходячи з розрахункової заготовки та прийнятої комбінації переходів штампування.

Розрахункова заготовка – умовна заготовка з круглими поперечними перерізами, площі яких дорівнюють сумарній площі відповідних перерізів кування та відходів.

Площа поперечного перерізу розрахункової заготовки в довільному місці визначається за формулою (7.2):

$$S_{\text{з}} = S_n + 2S_o = S_n + 2\xi S_{\text{об.к}} , \quad (7.2)$$

де  $S_n$  – площа поперечного перерізу кування в довільному місці, розрахована за номінальними розмірами з додаванням до вертикальних розмірів половини додатного відхилення;

$S_o$  – площа перерізу відходів;

$S_{\text{об.к.}}$  – площа перерізу облойної канавки;

$\xi$  – коефіцієнт заповнення канавки.

Для побудови креслення розрахункової заготовки розраховують ряд значень для характерних поперечних

перерізів кування та відкладають отримані діаметри по лініях площин цих перерізів, а потім з'єднують характерні точки прямими та плавними кривими лініями (рис. 7.2).

Зображення розрахункової заготовки рекомендується виконувати в масштабі 1:1. Якщо за ординатою відкласти в масштабі  $M$  величини площ характерних перерізів  $S_e$  у вигляді відрізків, що дорівнюють  $h_e = \frac{S_e}{M}$ , то, з'єднавши кінці цих відрізків, отримаємо епюру поперечних перерізів розрахункової заготовки.

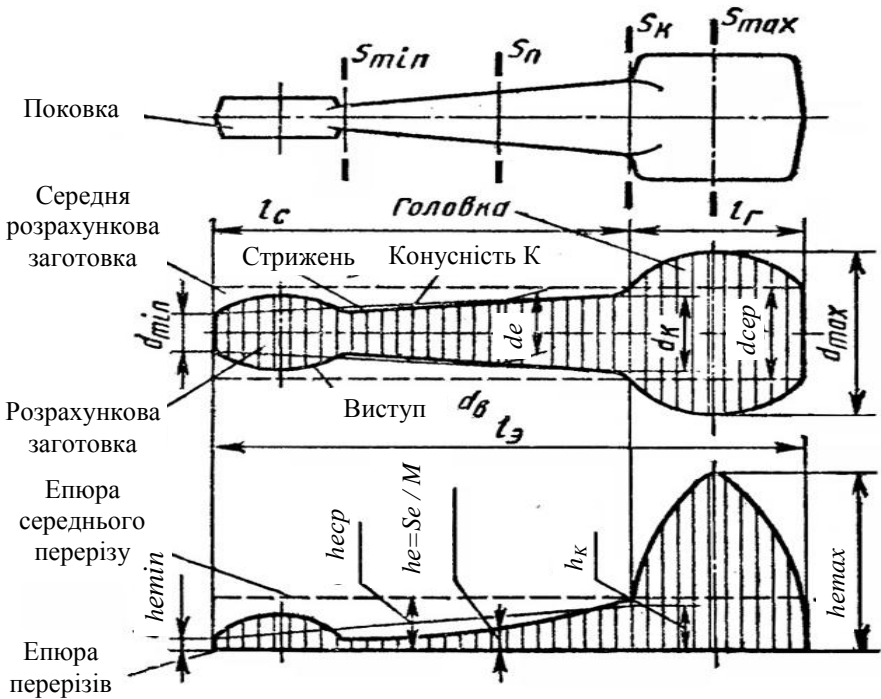


Рисунок 7.2 – Елементарна розрахункова заготовка та епюра перерізів

Діаметр розрахункової заготовки  $d_e$  у довільному перетині визначається за формулою (7.3):

$$d_e = \frac{\overline{4S_e}}{\pi}. \quad (7.3)$$

Середньою розрахунковою заготовкою називають циліндр діаметром  $d_{сер}$ , довжиною, що дорівнює довжині кування ( $l_3 = l_n$ ), і об'ємом  $V_{n.o}$ , що дорівнює сумі об'ємів поковки  $V_n$  і облю  $V_o$ , який розраховується за формулою (7.4):

$$V_{n.o} = V_n + V_o. \quad (7.4)$$

Площа перерізу середньої розрахункової заготовки визначається за формулою (7.5):

$$S_{сер} = \frac{V_{n.o}}{l_n}. \quad (7.5)$$

Діаметр середньої розрахункової заготовки визначається за формулою (7.6):

$$d_{сер} = \frac{\overline{4S_{сер}}}{\pi}. \quad (7.6)$$

Частина розрахункової заготовки, в межах якої  $d_e > d_{e.сер}$  (і відповідна частина епюри перерізів), називають головою. Частину розрахункової заготовки, в межах якої  $d_e < d_{e.сер}$  (і відповідна частина епюри перерізів) називають стрижнем.

Конусність стрижня визначається за формулою (7.7):

$$K = \frac{d_k - d_{\min}}{l_c}, \quad (7.7)$$

де  $d_k$  - діаметр переходу стрижня в головку;

$l_c$  - довжина стрижня.

Розрахункову заготовку з однією головкою та односторонньо розташованим стрижнем називають елементарною розрахунковою заготовкою. Їй буде відповідати елементарна епюра перерізів. Складна розрахункова заготовка складається з однієї головки та двостороннього стрижня або двох і більше головок. Складну розрахункову заготовку та відповідно складну епюру перерізів можна подати у вигляді ряду елементарних.

Об'єм заготовки на одну поковку  $V_{zag}$  розраховується за формулою (7.8):

$$V_{zag} = S_{zag} \cdot l_{zag}, \quad (7.8)$$

де  $S_{zag}$  – площа перерізу;  
 $l_{zag}$  – довжина заготовки.

Об'єм заготовки з урахуванням втрат (без рицини) визначають за формулою (7.9):

$$V_{zag} = V_{n.o} (100 + \delta) / 100, \quad (7.9)$$

де  $\delta$  – угар металу, % .

Потім за ГОСТ підбирають квадратний або круглий профіль із найближчою більшою площею поперечного перерізу. Потім розраховують діаметр  $D_{zag}$  або сторону квадрата  $A_{zag}$  вихідної заготовки.

Для того щоб визначити, які заготівельні канавки використовувати при штампуванні, необхідно з'ясувати, до якої групи, підгрупи та типу належить поковка, що штампується. Потім будують епюру перерізів розрахункової заготовки та визначають коефіцієнт підкочування.

Загальний коефіцієнт підкочування визначається за формулою (7.10):

$$K_{\Pi} = \frac{S_{\max}}{S_{\text{сер}}} = \frac{d_{\max}^2}{d_{\text{сер}}^2}, \quad (7.10)$$

де  $S_{\max}$  – найбільша площа перерізу;  
 $d_{\max}$  – діаметр розрахункової заготовки.

У табл. 7.1 наведені значення коефіцієнта підкочування канавок  $K_n$ .

Таблиця 7.1 – Коефіцієнт підкочування

Канавка	Коефіцієнт підкочування $K_{\Pi}$
Майданчик для розплющування	1
Нережимний	1,2
Формувальний	1,2
Підкочувальний відкритий	1,3
Підкочувальний закритий	1,6
Гнучкий	1,2
Чорновий	1,1
Чистовий	1,05

На підставі рекомендацій для вибору послідовності канавок при штампуванні визначають комбінацію переходів і канавок так, щоб  $K_n \leq K_{np}$  ( $K_{np}$  дорівнює добутку  $K_n$  вибраних канавок). Наприклад, якщо вибрано канавки: підкочувальну закриту, чорнову і чистову (значення  $K_n$  див. табл. 7.1), то  $K_{np} = 1,6 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \approx 1,8$ .

#### 7.4. Рекомендації з розроблення креслень поковки

Вихідними даними є креслення деталі та тип виробництва.

Згідно з ГОСТ 7505-89, визначивши положення площини рознімання, призначають припуски, допуски, штампувальні уклони, радіуси заокруглень, порожнини (за необхідності).

Креслення поковки рекомендується виконувати в масштабі 1:1, 2:1 залежно від розмірів заготовки (не більше 750 мм).

Контури деталі на кресленні поковки зображують суцільною тонкою лінією. Поверхню рознімання штампа зображують тонкою штрихпунктирною лінією. Вона позначається на кінцях знаком Х.

Рекомендується уникати проставлення розмірів від лінії рознімання, якщо вона не збігається з осью. На кресленні поковки вказують схему базування на першій операції та оброблювану поверхню. Розмірні лінії для нанесення розмірів поверхонь з уклонами проводять від їх вершин. Розміри поковки проставляють з урахуванням: зручної перевірки шаблонами розмірів і форми поковки; простоти розмітки поковки під час контролю; зручної перевірки припуску на кресленні. У рамці креслення після назви деталі під рискою в дужках зазначається вид заготовки, тобто – поковка. Приклад графічного виконання кування втулки зі сталі 65 наведено на рис. 7.3.

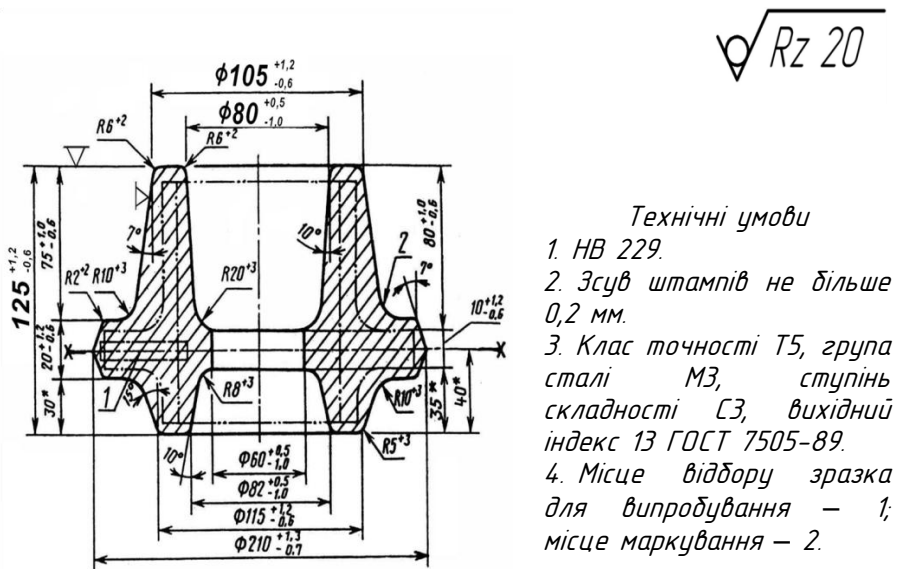


Рисунок 7.3 – Поковка втулки



## 7.5. Сутність процесу кування, застосоване обладнання

Сутність процесу полягає у формоутворенні вихідної заготовки вздовж однієї (вертикальної) або двох осей (вертикальної та горизонтальної). Коефіцієнт масової точності у діапазоні 0,3–0,4.

Застосоване обладнання – молоти й преси.

Інструменти:

- бойки, плити для осадження, прошивки, кільця, розкочування, тискачі, обтискачі, сокири, накладні штампи (основний);
- кліщі, стійки, патрони (підтримувальний);
- кронциркулі, косинці, нутроміри, лінійки, калібри, шаблони (вимірювальні).

Кування без підкладних штамтів застосовується для одержання заготовок простої форми масою до 250 т. Підкладні штамти дозволяють отримати заготовку дещо складної форми, рис. 7.4.

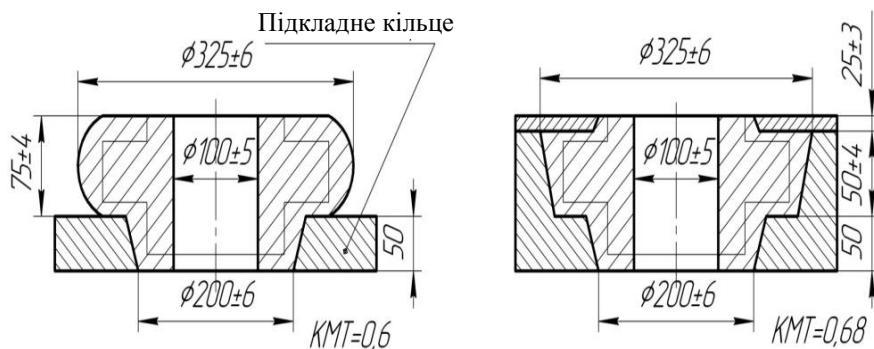


Рисунок 7.4 – Поковки, одержувані без і в підкладних штампах

Фасонні поковки понад 100 кг та прості масою понад 750 кг переважно виготовляються на гідропресах. Основні показники якості поковок та типи виробництв наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Основні показники якості поковок та типи виробництв

Спосіб кування	Розмір, маса	Допуск основного розміру, мм	Шорсткість Rz, мкм	Тип виробництва
На молотах і пресах	менше 250 т	3,0–30,0	80–320	Одиничне, дрібно-серійне
На молотах у підкладних кільцях і штампах	більше 10 кг	1,0–2,5	40–80	Дрібно-серійне
На радіально-кувальних машинах: – холодне; – гаряче	Ø150 мм (пруток, труба)	0,04–0,4 0,1–0,6	до 40	Серійне

Переваги кування:

- можливість виготовлення великогабаритних деталей;
- застосування універсального обладнання, оснащення;
- підвищення пластичності та ударної в'язкості металу.

Недоліки кування:

- малий ККД (для молотів пароповітряних – 2–3 %, молотів пневматичних – 6–7 %; гідравлічних пресів – 6–8 %);
- низька продуктивність і велика трудомісткість;
- великий обсяг механічної обробки.

Завдяки отриманню високої пластичності матеріалу, міцності, кування рекомендується для заготовок високонавантажених деталей: роторів гідротурбін, валів, дисків турбін, коліс тощо. Виготовляють також заготовки із титанових сплавів на пресах з зусиллям до 3000 т.

Для вибору молота визначають масу падаючих частин молота, необхідну для осадження, за формулою (7.11):

$$G = 0,17 \left( 1 + 0,17 \frac{D_{\text{пок}}}{H_{\text{пок}}} \right) \sigma_T \varepsilon_K V_{\text{заг}}, \quad (7.11)$$

де  $D_{\text{пок}}$  – діаметр заготовки після осадження, мм;  
 $H_{\text{пок}}$  – висота заготовки після осадження, мм;  
 $\sigma_T$  – напруга плинності металу при температурі осадження, що дорівнює межі міцності при тій самій температурі, МПа;  
 $\varepsilon_K$  – ступінь деформації під час останнього удару ( $\varepsilon_K = 0,025 - 0,060$ );  
 $V_{\text{заг}}$  – об'єм заготовки, см<sup>3</sup>.

Орієнтовно масу падаючих частин молота знаходять за довідковими даними залежно від розмірів заготовки (діаметр, сторона квадрата) і розмірів злитка.

Для вибору преса визначають зусилля преса, необхідне для осадження за формулою (7.12):

$$P = M \sigma_{S(\tau)} \left( 1 + 0,17 \frac{D_{\text{пок}}}{H_{\text{пок}}} \right) F_K \cdot 10^{-5}, \quad (7.12)$$

де  $\sigma_{S(\tau)}$  – напруга течії сталі при температурі кінця кування, МПа;  
 $D_{\text{пок}}$  – відповідно діаметр заготовки після осадження, мм;  
 $H_{\text{пок}}$  – висота заготовки після осадження, мм;  
 $M$  – масштабний коефіцієнт, що залежить від маси злитка;  
 $F_K$  – площа поперечного перерізу кування після осадження, мм<sup>2</sup>.

Кінцева висота осадженої заготовки розраховується за формулою (7.13):

$$H_K = (D_0^2 / D_K^2) H_0, \quad (7.13)$$

де  $H_0$  – початкова висота заготовки;  
 $D_0$  – вихідний діаметр заготовки.

Розрахунковий діаметр заготовки після осадження розраховується за формулою (7.14):

$$D_K = D_0 \sqrt{\frac{H_0}{H_K}}. \quad (7.14)$$

Площа поперечного перерізу кування після осадження розраховується за формулою (7.15):

$$F_K = \frac{\pi}{4} D_K^2. \quad (7.15)$$

Орієнтовно прес можна вибрати за довідковими даними залежно від маси та розмірів злитка.

## **7.6. Класифікація кованих поковок, основні технологічні операції**

Уся різноманітність поковок поділена на групи I–VII і 24 підгрупи. Конфігурації заготовок від простої циліндричної форми до складної – колінчастий вал, бугель, гак. Для кожної групи передбачений типовий технологічний процес та основні інструменти.

Попередні операції: обкочування злитка, вирубування, розрубання.

Основні операції: осадження, прошивка, розгін, передача, надрубання, скручування, протягання, розкочування, гнуття, ковальське зварювання.

Оздоблювальні операції: редагування, клеймування.

## **7.7 Розроблення креслень кованої поковки**

Вихідними даними є креслення деталі. Припуски та допуски на поковки із вуглецевої та легованої сталі при куванні

на молотах встановлюють згідно з ГОСТ 7829-70, на пресах – із ГОСТ 7062-90.

Визначають виконавчі розміри поковки та викреслюють контурною лінією, а контур деталі зображують штрихпунктирною лінією.

Розміри поковок типу валів, кілець проставляють від базового перерізу. Над розмірною лінією зазначають розміри поковки, під розмірною лінією – розміри деталі (номінальні). У правому верхньому куті зазначається знак шорсткості (рис. 7.5).

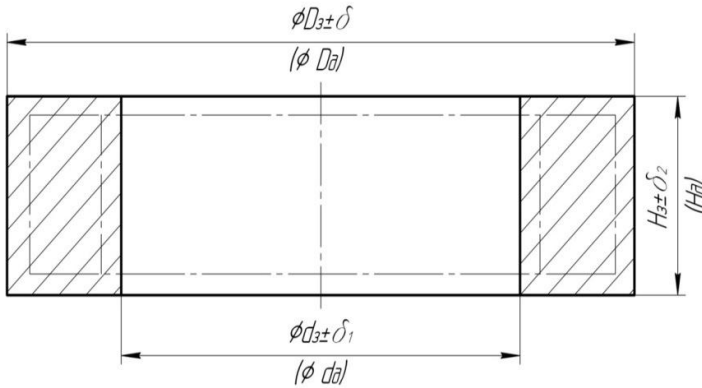


Рисунок 7.5 – Креслення кованої деталі «Кільце»

У технічних вимогах до креслення зазначаються: твердість заготовки, допустимі відхилення форми та розмірів поковки, вимоги до мікро- та макроструктури.

При куванні заготовок із прокату маса вихідної заготовки розраховується за формулою (7.16):

$$G_{3AG} = G_{II} + G_{VT} + G_{OT} , \quad (7.16)$$

де  $G_{II}$  – маса поковки за кресленням;

$G_{VT}$  – відхід металу на вигар (2–2,5 %);

$G_{OT}$  – відходи металу на відрубання (1–5 %).

Для наближеного розрахунку відходів  $G_{OT}$  при куванні з прокату можна скористатися коефіцієнтом виходу придатного (табл. 7.3). При виготовленні поковок осадом розміри вихідної заготовки ( $d_{заг}$  – діаметр заготовки або  $a_{заг}$  – сторона квадрата) визначаються виходячи з об'єму заготовки  $V_{заг}$  за формулами (7.16, 7.17):

$$d_{заг} = 0,8 - 1,0 \cdot \sqrt[3]{V_{заг}}, \quad (7.16)$$

$$a_{заг} = 0,75 - 0,9 \cdot \sqrt[3]{V_{заг}}. \quad (7.17)$$

Відповідно до сортаменту за Державними стандартами знаходять найближчі розміри перерізу заготовки. Довжина чи висота заготовки розраховується за формулою (7.18):

$$h_{заг} = \frac{V_{заг}}{F_{заг}}, \quad (7.18)$$

де  $F_{заг}$  – площа заготовки.

При куванні заготовок із злитків маса вихідної заготовки визначається за формулою (7.19):

$$G_{СЛ} = G_{П} + G_{УГ} + G_{OT} + G_{ДН} + G_{ПР}, \quad (7.19)$$

де  $G_{П}$  – маса поковки за кресленням, визначається за номінальним розмірами;

$G_{УГ}$  – маса відходження на вигар;

$G_{OT}$  – маса технологічних відходів;

$G_{ДН}, G_{ПР}$  – маса відходів при відрубуванні відповідно до даної та прибуткової частин злитка.

Таблиця 7.3 – Значення коефіцієнта виходу придатного для різних способів виготовлення поковок

<b>Група поковки</b>	<b>Технологія виготовлення</b>	<b>Види поковок</b>	<b>Коефіцієнт виходу придатного</b>
1	Без обсікання	фланці гладкі, круглі, овальні пластини, кубики	0,98–0,97
2	Протягування із подальшим гнуттям	скоби, вилки	0,97
3	Осадом із подальшим розгоном полотна	шестерні, фланці, муфти, кришки	0,97
4	За допомогою клинових накладок	клини, шпонки	0,95–0,92
5	Протягуванням	гладкі вали, бруски, планки, стрижні	0,94–0,92
6	Протягуванням із односторонніми уступами	двоступінчасті вали, вали із фланцями, болти	0,93–0,92
7	Протягуванням із двосторонніми уступами	багатоступінчасті вали, прямокутні бруски із уступами	0,92–0,91
8	Осадом із наступним прошиванням, розкочуванням, протягуванням на оправці	Кільця, втулки, обичайки	0,9–0,8
9	Із обсіканням країв	Сектори, державки, куліски, собачки	0,92–0,8

## **Контрольні питання**

1. Типи молотів. ККД.
2. Пристрій молотового штампа.
3. Сутність класифікації поковок.
4. Визначення кількості канавок при штампуванні.
5. Особливості розроблення креслення кування.
6. Сутність процесу кування. Обладнання та інструмент.
7. Від чого залежить якість поковок?
8. Послідовність розроблення креслення кування.



## ТЕМА 8

# ШТАМПУВАННЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КУВАЛЬНИХ І СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИНАХ

### План лекції

- 8.1. Кривошипні гарячештампвальні преси (КГШП) і класифікація штампованих поковок.
- 8.2. Гідравлічні та гвинтові преси. Сфера застосування.
- 8.3. Штампування заготовок на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ).  
Контрольні питання.

### **8.1. Кривошипні гарячештампвальні преси (КГШП) і класифікація штампованих поковок**

КГШП застосовують у серійному та масовому виробництвах. Орієнтовно прес вибирають за масою поковки залежно від необхідного зусилля штампування.

Порівняно з молотами КГШП мають деякі переваги:

- більш високий ККД 6–8 %;
- продуктивність до 2 разів вища, оскільки деформація на пресі в кожній канавці відбувається за один хід, а на молоті – за кілька ударів;
- більш високий КВМ;
- більш висока точність розмірів поковки;
- можлива механізація та автоматизація перекладання заготовок із канавки в канавку.

Недоліки КГШП порівняно з молотами:

- у 3–4 рази вища вартість обладнання;
- можливість заклинювання та поломки пресів при крайньому нижньому положенні повзуна;
- більш складні конструкції штампів;
- перед штампуванням заготовки потрібно очищувати від окалини або застосовувати види нагріву, що не утворюють окалини.

Спрощена схема КГШП наведена на рис. 8.1.

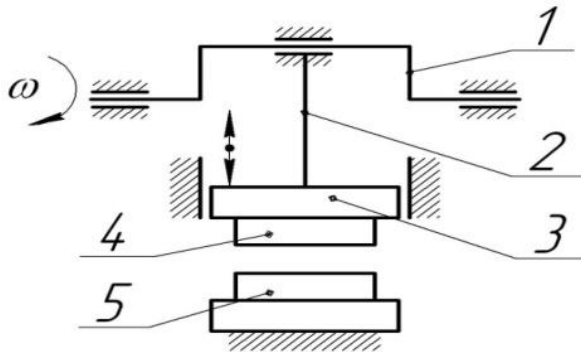


Рисунок 8.1 – Спрощена схема механізму КГШП:  
 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – повзун; 4 – верхня матриця штампа; 5 – нижня матриця штампа

При обертанні кривошипа 1 шатун 2 здійснює зворотно-поступальне переміщення з повзуном 3 і матрицею 4, завдаючи удару по заготовці, розташованій у нижній матриці штампа. Площини рознімання штампа не змикаються на відміну від молотових штамсів.

Поковки, що штамнуються на КГШП, класифікують так:

- залежно від характеру формозміни й течії металу – на два класи: клас поковок, одержуваних переважно осіданням; клас поковок, одержуваних переважно видавлюванням;
- залежно від конфігурації (п'ять груп) – шестерні, фланці, розподільні вали, ступінчасті вали, важелі, хрестовини, кулаки.

На рис. 8.2 наведені окремі схеми фасонування заготовок.

Об'єм вихідного металу  $V_{зг}$  для отримання поковки визначається за формулою (8.1):

$$V_{зг} = V_n + V_{обл} + V_{уг} , \quad (8.1)$$

де  $V_n$  – об'єм поковки;

$V_{обл}$  – об'єм металу, що йде в облой;

$V_{уг}$  – втрати металу на гар.

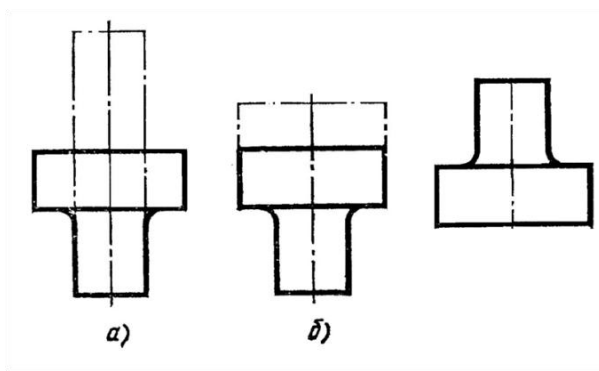


Рисунок 8.2 – Варіанти штампування фланцевої втулки:  
а – висадкою; б – видавлюванням

$$V_{\text{обл}} = V_{\text{міст}} + V_{\text{маг}} = p \cdot b \cdot h + h_{\text{сер}} \cdot B, \quad (8.2)$$

- де  $V_{\text{міст}}$  – об’єм містка облюю;  
 $V_{\text{маг}}$  – об’єм металу в магазині облюю;  
 $p$  – периметр поковки, мм;  
 $b$  – ширина містка, мм;  
 $h$  – товщина містка, мм;  
 $h_{\text{сер}}$  – середня товщина облюю по магазину, мм;  
 $B$  – ширина облюю в магазині, мм.

На рис. 8.3 наведений один із трьох типів облойних канавок.

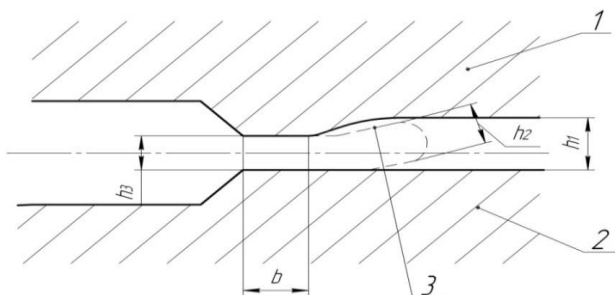


Рисунок 8.3 – Один із типів облойних канавок:  
1 – верхня матриця штампа; 2 – нижня матриця штампа;  
3 – магазин

## 8.2. Гідравлічні та гвинтові преси. Сфера застосування

На гідропресах штамнують великі поковки, які неможливо отримати на іншому ковальському обладнанні, а також поковки, для яких необхідний великий робочий хід силових органів. Дія преса базується на використанні закону Паскаля (тиск, вироблений на рідину зовнішніми силами, передається нею в усіх напрямках однаково).

Раціональна сфера застосування – масове виробництво. Наприклад, колеса рухомого складу залізних доріг, колінчасті вали, стакани, диски, трійники тощо.

Найбільш досконалими моделями, застосовуваними в серійному виробництві, є електрогвинтові преси.

Швидкість повзуна гвинтових пресів (фрикційних, дугостаторних, гідравлічних) у момент удару 1–3 м/с, що більше порівняно із пароповітряними молотами та гідропресою. Це зумовило їх застосування для штампування поковок із важкодеформованих і малопластичних сталей і сплавів. Спрощена схема преса із дугостаторним приводом наведена на рис. 8.4.

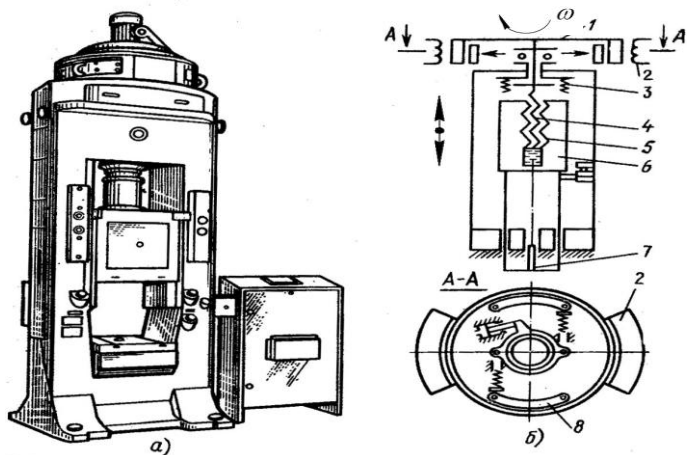


Рисунок 8.4 – Схема гвинтового преса із дугостаторним приводом: а – загальний вигляд; б – кінематична схема; 1 – ротор-маховик; 2 – дугові статори; 3 – амортизатори; 4 – гвинт; 5 – гайка; 6 – повзун, 7 – виштовхувач; 8 – гальмо

У цьому пресі дія привода повзуна базується на використанні обертального електромагнітного поля, створюваного дуговими статорами 2, що приводять в обертання короткозамкнений ротор-маховик 1 і гвинт 4. Останній переміщує гайку 5 із повзуном 6.

### 8.3. Штампування заготовок на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ)

Порівняно із розглянутими моделями ковальських машин процес штампування поковок на ГКМ більш продуктивний, оскільки є напівавтоматичним. Можливе виготовлення стрижневих заготовок, осей, шківів, втулок (I–V групи).

Штампи ГКМ мають два рознімання: одне між пуансонами й матрицями, інше – між матрицями, тобто рознімання взаємно перпендикулярні (рис. 8.5). Головне рознімання відбувається між пуансоном, що закріплений у блоці пуансонів 1 і рознімній матриці, розташованій у блоках матриць – нерухомому 3 і рухомому 4.

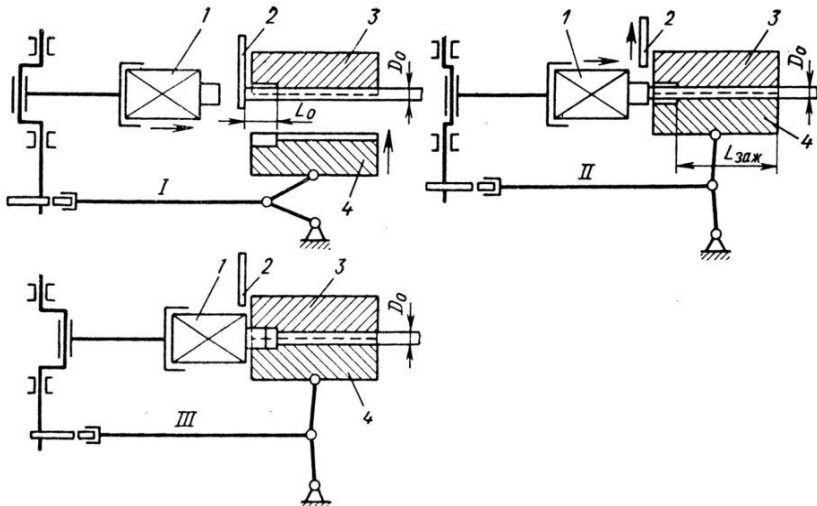


Рисунок 8.5 – Схема штампування на горизонтально-кувальних машинах (вигляд у плані)

На початку процесу пуансон і обидві половини матриці розімкнуті (положення I). Пруток металу діаметром  $D_0$  спрямовують у нерухому частину матриці до упору 2, положення якого відрегульовано для розміщення в порожнині матриці заданої ділянки прутка довжиною  $L_0$ . Потім включають машину на робочий хід при цьому рухомі частини штампів рухаються у такому порядку. Перш за все в робоче положення встановлюється рухома частина матриці, що знаходиться в блоці 4 (положення II). Це забезпечує щільний затиск прутка на довжині  $L_{зат}$ , після чого упор 2 відходить, а пуансон стикається із прутком металу. При подальшому русі пуансона висаджується вільна довжина  $L_0$  прутка, при цьому заготовка заповнює порожнину канавки (положення III).

При зворотному ході машини із порожнини матриці віддаляється пуансон з блоком 1, потім відходить блок 4 з частиною матриці, після чого встановлюється у вихідне положення упор 2, і штампувальник може вийняти із канавки пруток із висадженим кінцем. Такий порядок руху частин інструмента забезпечується кривошипною системою головного ходу та кулачковою системою бічного ходу машини.

На ГKM заготовки, як правило, штампують у декількох канавках штампа, розташованих вертикально по висоті блоків. Висаджувальний штамп має дві-три канавки, у виняткових випадках – чотири-п'ять залежно від довжини деформованої частини прутка і складності конфігурації поковки. Можливе закриття прошивання отвору в заготовці.

Канавки штампів горизонтально-кувальних машин поділяють на підготовчі та заключні. Форма остаточних канавок обумовлюється формою поковки, заданої кресленням. При поздовжньому штампуванні на ГKP попередні операції полягають в осаджуванні і формуванні заготовки головним чином для надання їй стійкості при обробці в наступних канавках.

Формувальні, остаточні канавки. Чим складніше конфігурація поковки, тим більше операцій потрібно для її формування. Формують канавки у матриці (рис. 8.6 а), в

пуансоні (рис. 8.6 б) або частково в матриці та пуансоні (рис. 8.6 в).

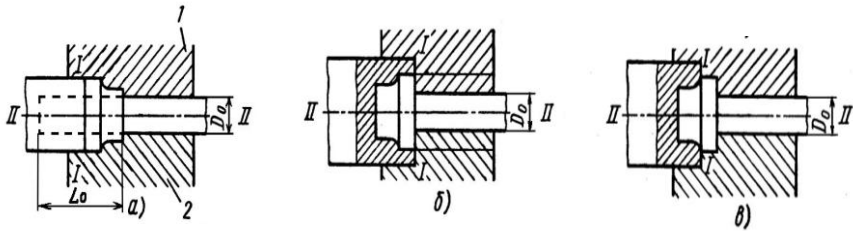


Рисунок 8.6 – Схеми розташування поковки у штампах (горизонтальний розріз штампів, вигляд зверху):

1 – нерухома частина матриці; 2 – рухома частина матриці

Положення головної площини рознімання на рис. 8.6 позначено лінією I–I, а додаткової площини рознімання, що проходить через матрицю, лінією II–II. Формування у рознімній матриці (рис. 8.6 а) дозволяє штампувати без ухилів. Але при цьому отримуємо точність, меншу ніж при штампуванні в пуансоні (рис. 8.6 б), оскільки зсув частин матриці один щодо іншого призводить до спотворення форми поковки.

Формування в пуансоні забезпечує повну відповідність форми поковки, але при цьому необхідні штампувальні уклони ( $1-2^\circ$ ), що призводять до напуску металу.

За необхідності висаджувати пруток на велику відстань від його кінця частина прутка не може бути розміщена у пуансоні. У цих випадках застосовують ковзні матриці (рис. 8.7). Задні частини блоків матриць 3 і 4 затискають пруток силою  $N_1$  на довжині  $L_{зат}$ . У передніх частинах цих блоків розміщують ковзні повзуни 1 і 5 із порожнинами матриць і додатковою затискною канавкою на ділянці  $L'_{зат}$ . Таким чином, пруток виявляється затиснутим по обидва боки ділянки  $L_1$ , що підлягає висадці. При натисканні пуансона 6 на пруток або на ковзні частини матриць вони переміщуються на величину  $l$ ; при цьому відбувається деформація на ділянці прутка  $L_1$ . При зворотному ході пуансона після розтискання матриць ковзні їх

частини повертаються у вихідне положення за допомогою пружин 2.

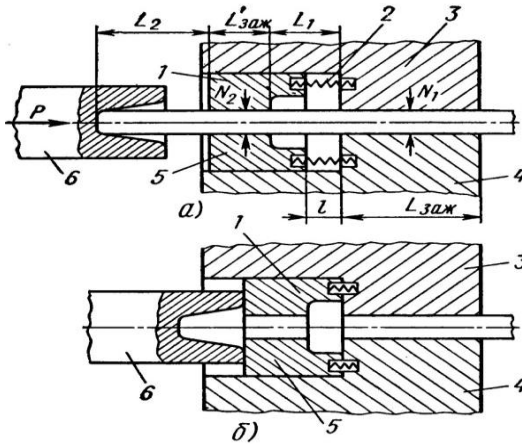


Рисунок 8.7 – Схеми висадки у ковзних матрицях:  
а – початкова; б – кінцева стадії (переріз, вигляд зверху)

Одночасно із висадкою в ковзних матрицях можна висаджувати на кінці прутка (на довжині  $L_2$ ). У ковзних матрицях можна також висаджувати одночасно кілька потовщень (рис. 8.8).

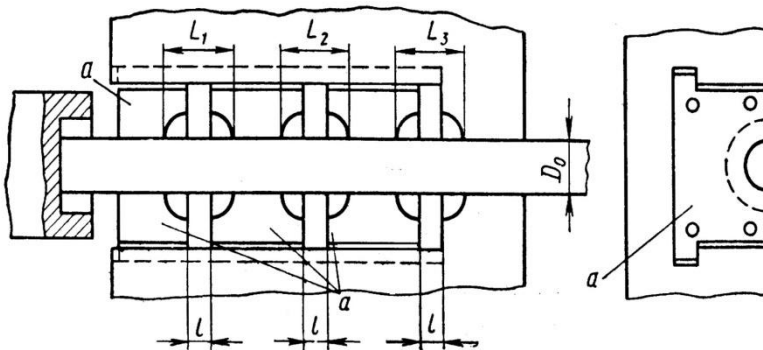


Рисунок 8.8 – Схема одночасної висадки чотирьох потовщень, три з яких отримують у ковзних матрицях:  
 $L$  – хід ковзної матриці;  $L_1$ – $L_3$  – вихідні довжини висадки;  
а – ковзні частини матриць (вигляд на правий бік матриць)



Прошивні канавки. Призначення прошивання полягає в утворенні порожнин у поковках із глухими чи наскрізними отворами. Прошивка називається глибокою, якщо глибина, на яку прошивають порожнини, значно більша від діаметра заготовки. Для глибокої прошивки застосовують пуансони різної форми залежно від необхідної форми дна порожнини поковки, види наступної операції та співвідношення розмірів заготовки ( $L_0: D_0$ ).

Прошивку виконують при  $D_N: D_0 \leq 0,75$ .

На практиці беруть  $D_N: D_0 \leq 0,5-0,6$ . При  $D_u = 20$  мм не забезпечується достатня стійкість пуансона через швидке його розігрівання.

Осад при прошивці більш ймовірний на початку процесу. Чим більший  $D_N: D_0$  і  $L_0: D_0$ , тим більш ймовірний осад при прошивці. При  $L_0: D_0 > 3$  відбувається поздовжній вигин заготовки.

Канавки для трубних заготовок. Горизонтально-кувальні машини зручні для обробки труб особливо великої довжини, коли висадка є єдино можливим способом отримання фланців і потовщень на кінці труб. На практиці широко застосовується висадка труб для великої кількості різноманітних трубних поковок (рис. 8.9).

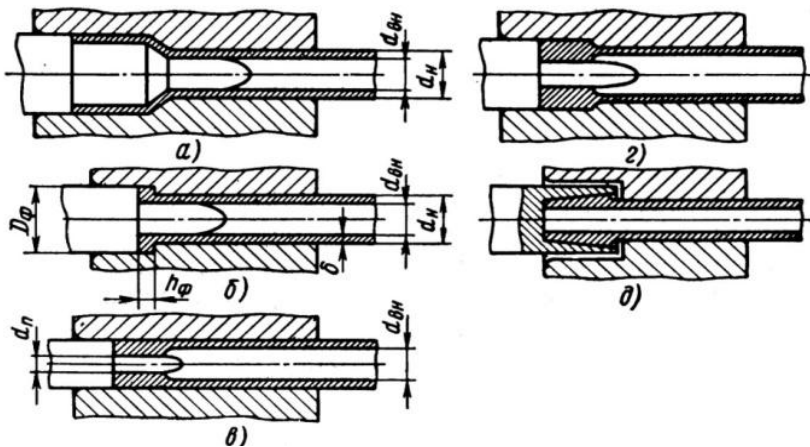


Рисунок 8.9 – Висадка трубних заготовок

Внутрішній і зовнішній діаметри труби (рис. 8.9 а) можна збільшити за рахунок стоншення труби та без нього. За необхідності можна отримати фланець (рис. 8.9 б), потовщення всередину (рис. 8.9 в), а також потовщення, що виступає назовні та всередину труби (рис. 8.9, г).

Відповідно до ГОСТ 7505-89 до маси поковки повинна входити частина стрижня, що затискається штампами.

### **Контрольні питання**

1. Принцип роботи КГШП, його переваги.
2. Основні технологічні операції на КГШП.
3. Визначення маси вихідного металу при штампуванні на КГШП.
4. Принцип роботи гідропреса. Сфера застосування.
5. Принцип роботи дугостаторного преса.
6. Принцип роботи ГKM, основні технологічні операції.
7. Основні три типи формувальних канавок на ГKM.
8. Схема штампування у ковзних матрицях.

## ТЕМА 9 ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНИХ І КОМБІНОВАНИХ ЗАГОТОВОК

### План лекції

- 9.1. Принципи конструктивно-технологічного проектування зварних конструкцій.
- 9.2. Комбіновані зварні заготовки.
- 9.3. Напрямки вдосконалення зварних конструкцій.  
Контрольні питання.

### 9.1. Принципи конструктивно-технологічного проектування зварних конструкцій

Відомо, що конструкція виробу впливає на вибір технології виготовлення. Це означає, що прийняті конструктивні рішення обмежують вибір прийомів і способів зварювання. Так, наприклад, при виготовленні корпусу гідروциліндра можливі як мінімум два проектних варіанти, залежно від прийнятих конструктивних рішень. Вплив конструктивного оформлення оброблення кінців циліндра та днища під зварювання на технологію наведено на рис. 9.1.

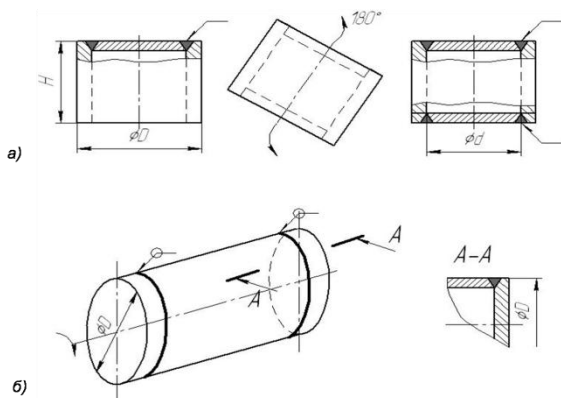


Рисунок 9.1 – Варіанти зварювання днищ циліндра:  
а – незадовільне; б – оптимальне

Варіант «а» є незадовільним, оскільки при такій схемі оброблення кінців для кутового зварювання необхідно кантувати циліндр на  $180^\circ$ , щоб уникнути стельового шва.

Варіант «б» оптимальний, оскільки при іншій схемі оброблення кінців можливе застосування напівавтоматичного зварення днищ з обох боків циліндра одночасно. Це підтверджує взаємний вплив прийнятого конструктивного рішення виготовлення виробу на технологію. Технологічність нового конструктивного оформлення вища. В інших випадках вибрані конструктивні рішення у звареному виробі впливають на зміну вихідних властивостей матеріалу, на точність збереження проектних розмірів і форми конструкції і на виникнення в ній того чи іншого напруженого стану, що впливає на працездатність зварної конструкції. Оптимальний варіант конструкції повинен враховувати ці технологічні впливи при виготовленні. Отже, необхідне комплексне проектування зварної конструкції й технологічного процесу її виготовлення. Викладене розберемо на прикладі розроблення конструкції і технології виготовлення редукторного колеса (рис. 9.2).

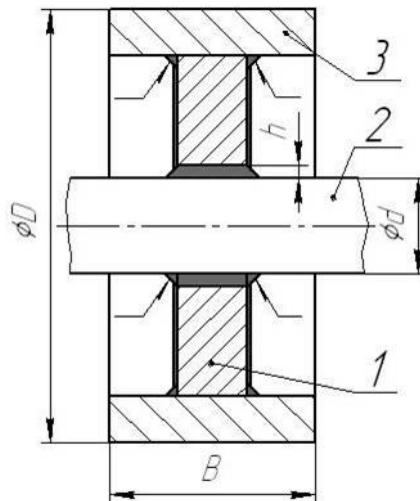


Рисунок 9.2 – Ескіз редукторного колеса:  
1 – диск; 2 – вал; 3 – обід

Припустимо, що при проектуванні зубчастого колеса редуктора як матеріал обода і вала вибрали високоміцну гартовану сталь, що вимагає підігріву при зварюванні. У результаті цього пара обід із дисками буде працездатною, а в сполученні дисків із валом виникнуть тріщини вже у процесі виготовлення. Обід при охолодженні буде викликати у швах, що з'єднують його з дисками, напруги розтягнення. Підігрів вала перед зварюванням призведе до того, що при його охолодженні після зварювання у швах, що з'єднують його з дисками, виникнуть напруження розтягнення. Відбудеться відрив дисків від вала. У результаті при з'єднанні зварюванням двох сталей одна й та сама технологія в одних конструктивних умовах дає позитивні, а в інших – негативні результати.

Отже, вибрати технологію зварювання матеріалів без урахування особливостей зварюваної конструкції неприпустимо, а з іншого боку, неприпустимо вибирати конструктивні форми зварних з'єднань без урахування конкретної технології виготовлення конструкції.

У розглянутому випадку для запобігання відриву дисків від вала, зварювання необхідно проводити без застосування підігріву, а для запобігання підгартуванню зони біля шва треба змінити конструкцію сполучення. На вал у місцях примикання дисків наплавити буртик із металу, що не піддається гартуванню. Висота  $h$  буртика повинна бути такою, щоб при зварюванні з диском температура нагріву основного металу вала була нижчою від критичної температури  $AC_1$ , що виключає підгартування основного металу. Висота  $h$  визначається розрахунком, що базується на теорії поширення тепла при зварюванні.

Таким чином, доведена очевидна необхідність обґрунтування тих чи інших рішень не лише розрахунками міцності, але й технологічними розрахунками. Комплексне конструктивно-технологічне проектування є необхідною умовою, що забезпечує раціональність проектованої конструкції. Однак одночасності розроблення проекту конструкції та проекту технологічного процесу її виготовлення

ще недостатньо для максимального використання всіх можливостей зварювання та для повної гарантії надійної роботи зварної конструкції.

Існуючі методи розрахунків міцності, як правило, не враховують дій, що впливають на конструкцію процесом її виготовлення. Тому у, як правило, виконуваних розрахунках міцності виходять із нормативних властивостей матеріалу без урахування змін, що викликаються процесом зварювання, без урахування наявності у зварних з'єднаннях неоднорідності властивостей у різних зонах. Розрахунки міцності проводять, орієнтуючись на напружений стан, який викликається лише зовнішнім навантаженням, і не враховують того поля напружень, що створене процесом виготовлення конструкцій. При розрахунках виходять із проектних розмірів і форм окремих зварних з'єднань і елементів без урахування тих спотворень, що викликаються зварювальними деформаціями. Усе це призводить до того, що розрахунки перестають правильно відтворювати дійсні умови роботи конструкції та в ряді випадків не можуть гарантувати надійність роботи конструкції. Тому необхідно в розрахунках міцності та стійкості враховувати технологічні впливи.

Якщо у цей час і враховують в окремих випадках технологію при розрахунках, то це роблять введенням поправкових коефіцієнтів у допустимі напруження, граничні навантаження. Такий підхід призводить до зайвих витрат матеріалу, оскільки знижувальні коефіцієнти доводиться застосовувати і там, де вони не потрібні, і, крім того, вони не дають гарантії надійності. Тому необхідні уточнення методу розрахунків міцності, в яких би враховувалися технологічні чинники. Поряд із розрахунками міцності повинні виконуватися і розрахунки точності, які майже не здійснюються. Існують методи розрахунків деформацій при зварюванні. Вони дозволяють розрахунковим шляхом оцінювати точність зварного елемента, а, отже, ще при проектуванні конструкції передбачати ті заходи підвищення точності, які доведеться приймати при виготовленні конструкції, якщо конструктивними

засобами досягти необхідної точності неможливо. Таким чином, при конструктивно-технологічному проектуванні зварних заготовок необхідно застосовувати уточнені методи розрахунків міцності, також розрахункові методи оцінки технологічності й точності зварних конструкцій.

Очевидно, що застосування нових методів розрахунків, що базуються на комплексному підході різноманітних конструктивних і технологічних факторів, потребує в ряді випадків перегляду норм і критеріїв якості зварних конструкцій.

Вибір схеми технологічного процесу визначається характером чи типом виробництва.

## **9.2. Комбіновані зварні заготовки**

Комбіновані заготовки характеризуються більшою технологічністю, ніж виливки, поковки. Їх впровадження знижує терміни освоєння виробництва, скорочує витрати на ливарне та штампувальне оснащення.

Види комбінованих заготовок:

- зварювально-литі заготовки – станини пресів, верстатів, корпусів редукторів тощо. При конструюванні зварювально-литих заготовок додатки на литві розміщені далеко від кінців, що підлягають зварюванню. Підвищений вміст сірки та вуглецю в місцях розміщення додатків призводить до появи дефектів у зварних швах і в прилеглих до них зонах металу виливка. При конструюванні зварювально-литих заготовок, що утворюють жорсткий контур, необхідно передбачати з'єднання окремого елемента з іншою частиною конструкції не більш ніж двома зварними швами. У разі більшої кількості стиків здійснити зварювання набагато складніше. При конструюванні великогабаритних зварювально-литих заготовок намагаються, щоб габаритні розміри дрібних виливків забезпечували можливість машинного формування, а довжина окремих частин сприяла уникненню викривлення не більше 4–5 м;

- штампувально-зварні заготовки – рами, шківні, ободи й інші, виготовляються, як правило, з листового матеріалу. Конструкція штампувально-зварної заготовки повинна одночасно відповідати умовам технологічності, листового штампування і зварювання;
- зварювально-ковано-литі заготовки – виготовляються поєднанням литих елементів із поковками або заготовками із прокату, що з'єднуються зварюванням – ротори турбін, масивні вали тощо.

Проектування комбінованих зварних конструкцій передбачає вирішення технічного завдання комплексного використання багатьох сучасних технологічних і конструктивних можливостей для підвищення працездатності конструкції, зниження трудомісткості, полегшення механізації і підвищення продуктивності праці. Безпосередньо зварювання використовується як технологічний процес, що дозволяє застосувати в одній конструкції будь-які прогресивні технологічні засоби для виробництва окремих її частин, окремих заготовок, з яких складається ціла (у результаті перетворюючись у монолітну) конструкція. Більше того, застосування комбінованих конструкцій замість суцільнолитих, суцільнокованих і суцільнозварних дозволяє не лише вдосконалювати виробництво конструкцій в цілому, але й полегшує виробництво заготовок. Замінюючи, наприклад, суцільнолиту конструкцію на зварну, що включає і лиття деталей, створюються умови для використання більш прогресивних механізованих методів лиття, які, як правило, виявляються неприйнятними при виробництві суцільнолитої конструкції. При цьому якість литих заготовок виявляється значно вищою від якості суцільнолитих конструкцій, для яких заварка браку, виявленого після лиття, перетворилася в нормальну та обов'язкову операцію. Те саме має місце і у поковок. Їх якість знижується зі збільшенням розмірів. Зростають труднощі досягнення однорідності властивостей матеріалу в різних частинах великих поковок.



Зростаючі вимоги до якості виробів та підвищення продуктивності праці вже неможливо вирішити застосуванням одного технологічного процесу. Тому при проектуванні та виготовленні машинобудівних конструкцій повинні комплексно використовуватися всі сучасні способи обробки металів тиском, лиття, методи зварювальної технології.

Заміна суцільнолитих деталей зварними часто обмежується лише розчленуванням одного великого виливка на декілька більш дрібних, які потім зварюються між собою. Навіть такий, найбільш примітивний прийом проектування комбінованої звареної конструкції дозволяє отримати значущий технічний і економічний ефект за рахунок підвищення продуктивності праці при виготовленні більш дрібних виливків і за рахунок підвищення якості виливків, які можуть не вимагати заварки браку після лиття, неминучого при виготовленні великих виливків.

При завчасному розчленуванні конструкції на дрібні деталі можна здешевити їх виготовлення, створити відповідне оснащення та механізувати зварювальні роботи.

Ще більший ефект може бути отриманий при використанні в одній конструкції не лише виливків, але і поковок, заготовок із листового та профільного прокату й заготовок, виконаних іншими технологічними процесами.

### **9.3. Напрямки вдосконалення зварних конструкцій**

Напрямки вдосконалення зварних конструкцій:

- перехід на нові принципи конструктивно-технологічного проектування зварних конструкцій (комплексне вирішення питань міцності, точності, технологічності й економічності для вирішення раціональності зварних конструкцій). Це забезпечить найменші витрати матеріалів, часу та праці на їх виготовлення та забезпечить найбільшу їх довговічність;

- розширення застосування комбінованих зварних конструкцій із використанням в одній конструкції різних матеріалів і різних технологічних процесів;
- застосування попередньо напружених конструкцій і використання місцевих попередніх напружень для підвищення працездатності окремих вузлів і з'єднань у зварних конструкціях.

### **Контрольні питання**

1. Перелічіть основні принципи конструкторсько-технологічного проектування зварних конструкцій.
2. Основні види комбінованих зварних заготовок.
3. Напрями вдосконалення зварних конструкцій.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Руденко П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач. – Киев : Вища школа, 1991. – 247с.
2. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М. Г. Афонькин, М. В. Магницкая. – М. : Машиностроение, 1987. – 256 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1986. – 656 с.
4. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – Мн. : Вышэйшая школа, 1983. – 256 с.
5. Ковка и объемная штамповка стали : справочник / под ред. М. В. Сторожева. – М. : Машиностроение, 1987. – 68 с.
6. Цветное литье : справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др.; под ред. Н. М. Галдина. – М. : Машиностроение, 1989. – 528 с.
7. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с.
8. Кечин В. А. Проектирование и производство литых заготовок : учеб. пос. / В. А. Кечин, Г. Ф. Селихов, А. Н. Афонин. – Владимир : Владим. гос. ун-т, 2002. – 228 с.
9. Килов А. С. Производство заготовок. Объемная штамповка : Проектирование и производство поковок (штампованных заготовок) / А. С. Килов, С. В. Вольнов, К. А. Килов. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – Кн. 1. – 155 с.
10. Килов А. С. Производство заготовок. Литье : Проектирование и производство отливок (литых заготовок) / А. С. Килов, А. В. Попов, В. А. Недыхалов. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – Кн. 3. – 171 с.

Навчальне видання

**ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА  
ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів напряму підготовки 6.050502  
«Інженерна механіка»  
за професійним спрямуванням «Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск В. О. Залога  
Редактор Н. А. Гавриленко

Комп'ютерне верстання В. О. Іванова, Д. О. Міненка

Підписано до друку 19.11.2014, поз.  
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Обл.-вид. арк. \_\_\_\_\_. Тираж 100 пр. Зам. № \_\_\_\_\_  
Собівартість видання            грн        к.

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

До друку та в світ дозволяю на підставі  
«Єдиних правил», п.2.6.14

Начальник організаційно-методичного  
управління

В. Б. Юскаєв

**ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА  
ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

для студентів напряму підготовки 6.050502  
«Інженерна механіка»  
за професійним спрямуванням «Технології машинобудування»  
усіх форм навчання

Усі цитати, цифровий та фактичний матеріал,  
бібліографічні відомості перевірені,  
запис одиниць відповідає стандартам

Укладачі

Д. О. Міненко

В. О. Іванов

Відповідальний за випуск

В. О. Залога

Декан факультету технічних систем  
та енергоефективних технологій

О. Г. Гусак

Суми  
Сумський державний університет  
2014