

## Тема 11 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

*Лиття* є технологічним методом одержання виробу шляхом заливки розплавленого матеріалу в спеціальну порожнину, що має конфігурацію одержуваної виливки, з наступним затвердінням, що призводить до збереження матеріалом форми робочої порожнини.

*Ливарне виробництво* (ЛП) – це галузь обробки матеріалів, у якій одержують литі заготівлі ( *виливки* ) масою від кількох грамів для радіоелектронної та годинної промисловості до сотень тонн для подальшого виготовлення гідротурбін та станин пресів, станів та металорізальних верстатів. Ливарне виробництво – один із найпоширеніших методів формування заготовок. Воно є найважливішою заготівельною базою машинобудування.

Широке застосування лиття обумовлено такими особливостями:

- 1) універсальністю, що характеризується можливістю отримувати найрізноманітніші вироби по масі, конфігурації, механічним та експлуатаційним властивостям;
- 2) практично необмеженою можливістю виготовлення виливків за габаритами або з матеріалів, що не піддаються, наприклад, обробці тиском або різанням, що важко обробляються;
- 3) як правило, більшим наближенням за розмірами та формою до готових виробів, ніж заготовки, одержувані куванням, а іноді і гарячим об'ємним штампуванням;
- 4) порівняльною простотою та дешевизною необхідних пристроїв та обладнання.

Але при цьому слід зазначити і низку істотних недоліків лиття. Для деталей з литою структурою, як правило, характерні знижена міцність, нерівномірні властивості в різних частинах об'єму, підвищена ймовірність наявності дефектів у вигляді тріщин, усадкових або газових раковин, а також витрата металу, що значно перевищує той, який необхідний для виготовлення власне виливки (додатковий метал йде на освіту прибутків і численних елементів литникових систем, що детально розглядаються далі). Згаданий додатковий метал вимагає, відповідно, значної кількості трудомістких зачисних операцій, необхідні його видалення перед механічною обробкою виливки. Крім того, ливарне виробництво загалом характеризується великою трудомісткістю технологічних та особливо підйомно-транспортних операцій. Виробництво кожної тонни придатного лиття загалом пов'язані з необхідністю переміщення до 250–300 т різних вантажів. Тому сучасне ливарне виробництво потребує високого рівня комплексної механізації технологічних та транспортних операцій, що значно полегшує працю робітників, а іноді й повної автоматизації процесів отримання виливків.

Основним інструментом для виготовлення виливків є *ливарна форма*, якою називається система елементів, що утворюють робочу порожнину для формування виливка.

Якість виливки визначається, по-перше, ливарними властивостями матеріалу виробу, що впливають на заповнення форми, усадку та утворення різних дефектів; по-друге, умовами та способом заливки розплаву, а також якістю виготовлення ливарної форми, що впливають на геометричні характеристики та чистоту поверхні виливки; по-третє, умовами застигання та охолодження, визначальними можливістю отримання виливка з необхідними кристалічною будовою та однорідністю, а також ймовірністю появи в ній різних дефектів.

Для виготовлення виливків залежно від їх матеріалу, маси та габаритних розмірів, складності форми, вимог до розмірної точності, якості поверхні та структури, а також кількості виробів, що випускаються, застосовують безліч різноманітних способів лиття.

Залежно кількості заливок, обумовленого матеріалом ливарної форми, існуючі способи лиття можна розділити на дві групи: 1) лиття в разові форми, тобто. форми, які, як правило, використовуються один раз і руйнуються при витягуванні виливків; 2) лиття в багаторазово використовувані форми. До першої групи відносяться лиття в піщані форми, лиття в оболонкові форми, лиття за моделями, що виплавляються. До другої групи відносяться лиття в металеві форми.

Залежно від способу заповнення форми розплавленим металом розрізняють: 1) звичайне лиття; 2) відцентрове лиття; 3) лиття під тиском; 4) лиття під низьким тиском; 5)

лиття з протитиском; б) лиття вакуумним всмоктуванням.

### **11.1 Лиття в піщані форми. Елементи, необхідні для виготовлення ливарної форми. Вимоги до ливарних форм. Очищення виливків**

Лиття в піщані форми в даний час є універсальним і найпоширенішим способом виготовлення виливків. Цим способом виготовляють із усіх видів ливарних матеріалів різноманітні за складністю вилівки будь-яких розмірів та маси. Відмінними рисами цього виду лиття є малі теплопровідність і теплоємність піщаної форми, що дозволяє отримувати вилівки з малою товщиною стінки (2,5...5 мм).

Сутність лиття в піщані форми полягає у виготовленні виливків звичайною заливкою розплавленого металу в разову роз'ємну і товстостінну форму, виготовлену з формувальної суміші на основі піску за допомогою багаторазово використовуваних модельних комплектів, з подальшим затвердінням залитого металу, охолодженням вилівки у формі, вилученням очищення. Технологічний процес виготовлення виливків складається з низки основних та допоміжних операцій, що виконуються у певній послідовності (рис. 11.1). З цих операцій найбільш відповідальними та трудомісткими (60-75% загальної трудомісткості) є операції виготовлення ливарної форми та її збирання. Процес виготовлення разової ливарної форми називається *формовкою*, яка може бути ручною, машинною та автоматичною.

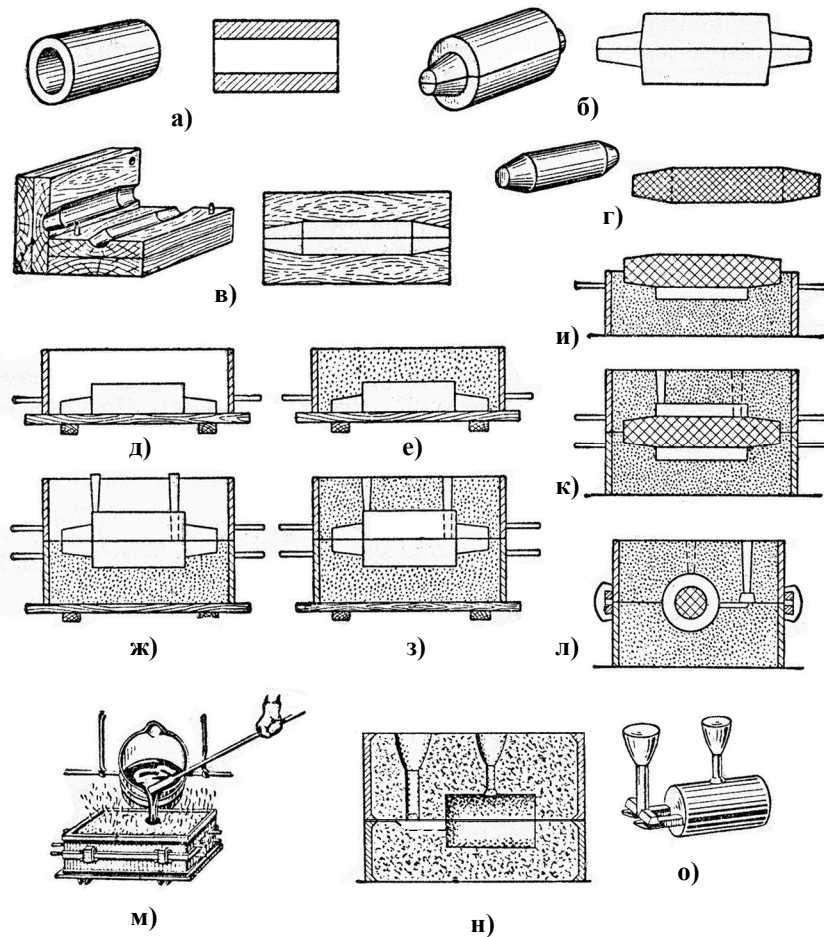
Розглянемо елементи, необхідних виготовлення піщаної форми.

*Формувальна суміш* - це багатокомпонентна суміш природних, а іноді і з добавкою штучних матеріалів, необхідна для безпосереднього утворення ливарної форми. У аналізованому вигляді лиття основою формувальної суміші є кварцовий пісок і глина або різні смоли, що мають сполучну здатність і термічну стійкість. У процесі виготовлення ливарної форми зволожену формувальну суміш для збереження нею необхідної конфігурації ущільнюють різними способами, наприклад, стисненням (пресуванням) або струшуванням.

*Ливарна опока* – це пристосування у вигляді жорсткої рами (відкритого ящика), що служить для утримання формувальної суміші в процесі виготовлення ливарної форми та її подальшого транспортування та заливання металом (рис. 11.2). Для утримання формувальної суміші при підйомах і переворотах опока має внутрішні виступи 1, 5. Для полегшення просушки форми, а також випуску газів у процесі заливання форми розплавленим металом у стінках опоки зроблені отвори 2. Форма виготовляється у тому числі опок, що необхідне безперешкодного вилучення моделі.

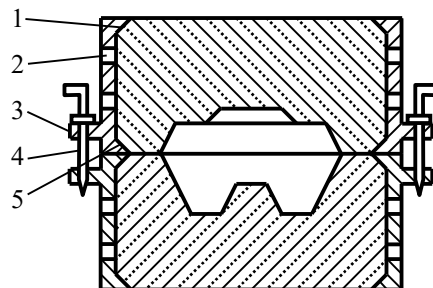
Піщана форма зазвичай складається з верхньої та нижньої напівформ, які виготовляють за ливарними моделями в опоках (рис. 11.1) і взаємно орієнтують за допомогою центруючих металевих штирів 4 вставляються в сполучені отвори припливів 3 у опок (рис. 11.2).

*Ливарна модель* – це пристосування, за допомогою якого в ливарній формі отримують порожнину з формою та розмірами, що відповідають конфігурації одержуваної вилівки. Моделі бувають нероз'ємні, роз'ємні, а також з відокремленими частинами.



**Рисунок 11.1** Процес отримання виливки в піщаній формі :

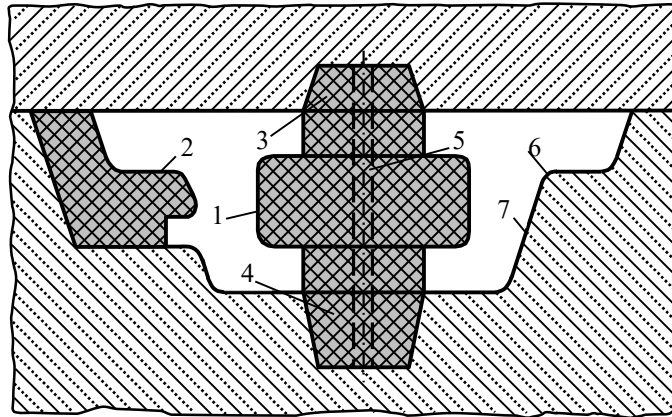
*a* - вилівок (втулка); *б* - роз'ємна дерев'яна модель втулки; *в* - стрижневий ящик; *г* - піщаний стрижень; *д* - встановлення нижньої половини моделі в нижню опоку, розташовану на модельній плиті; *е* - формування нижньої опоки; *ж* - переворот нижньої опоки, встановлення верхньої половини моделі та моделей литника та випору (чаша вгорі литника умовно не показана); *з* - формування верхньої опоки; *и* - зняття верхньої напівформи та встановлення стрижня в нижню напівформу; *до* - складання форми; *л* - скріплення бічними затискачами зібраної під заливку форми; *м* - заливання у форму розплавленого металу; *н* - литник та випор у ливарній формі; *о* - літницова система та випор у готовому виливку



**Рисунок 11.2** . Ливарні опоки : 1 - верхній виступ; 2 - вентиляційний отвір; 3 - приплив; 4 - центруючий штир; 5 - нижній виступ

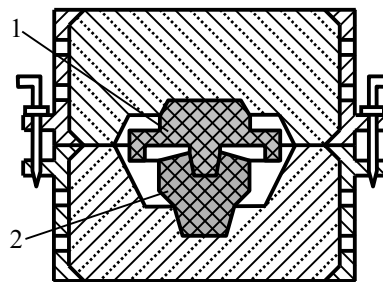
Поверхні роз'єму як моделі, і форми повинні забезпечувати вільне вилучення моделі після формування. Крім того, для запобігання руйнуванню форми при витягуванні з неї моделі в напрямку вилучення виконують *формувальні ухили*. 7, а в місцях сполучення різних

поверхонь – заокруглення б (рис. 11.3). Зрозуміло, що формувальні ухили і округлення, спочатку виконані на моделі, потім переходять у форму ливарної порожнини, отриманої за допомогою даної моделі, а після - і в геометрію отриманої в даній порожнині виливки. Тому заокруглення також потрібні для більш рівномірного охолодження виливки та запобігання виникненню тріщин і усадкових раковин у місцях сполучення різних поверхонь.



**Рисунок 11.3 .** Ливарні стрижні та особливості зміни порожнини ливарної форми :  
 1 – стрижень для утворення отвору із внутрішньою порожниною; 2 - стрижень для утворення ділянки зовнішньої поверхні; 3 – верхній стрижневий знак; 4 – нижній стрижневий знак; 5 – вентиляційний канал; 6 – заокруглення; 7 – формувальний ухил

*Ливарні стрижні* – це відокремлені формуючі елементи, необхідні для утворення порожнин або отворів необхідної конфігурації, а також інших складних контурів, у тому числі і ділянок зовнішніх поверхонь (рис. 11.3). Ливарні стрижні фіксують за допомогою виступів, що входять у відповідні западини у формі і званих *стрижневими знаками* . Конфігурація та розміри стрижневих знаків повинні забезпечувати зручність встановлення та стійке кріплення стрижнів у формі.

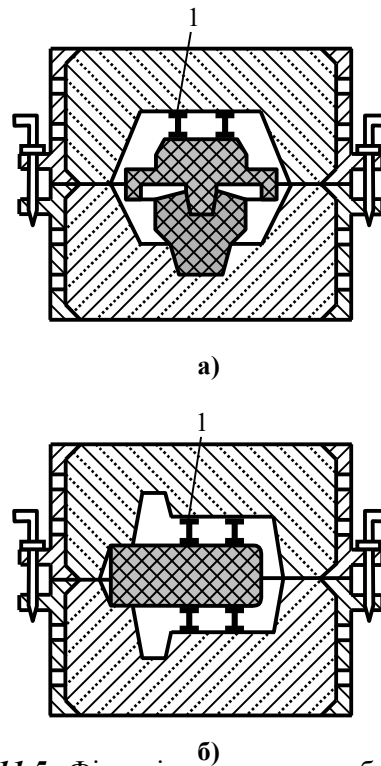


**Рисунок 11.4 .** Складовий ливарний стрижень, що утворює у виливку порожнину складної форми :

1 – верхній стрижень; 2 – нижній стрижень

Ливарні стрижні виготовляють за допомогою *стрижневих ящиків* (рис. 11.3- в ), у яких виробляють формування спеціальної стрижневої суміші, основою якої є кварцовий пісок з різним сполучним (наприклад, синтетичною смолою або рідким склом). У процесі виготовлення стрижня всередині нього металевою голкою зазвичай роблять вентиляційний канал 5 (рис. 11.3), який служить для кращого видалення газів, що утворюються при контакті з розплавленим металом у процесі лиття. Стрижні складної форми можуть складатися з двох і більше частин (рис. 11.4), які можуть як попередньо склеюватися один з одним, так і вставлятися одна в одну в процесі складання ливарної форми. Якщо конструкція литої

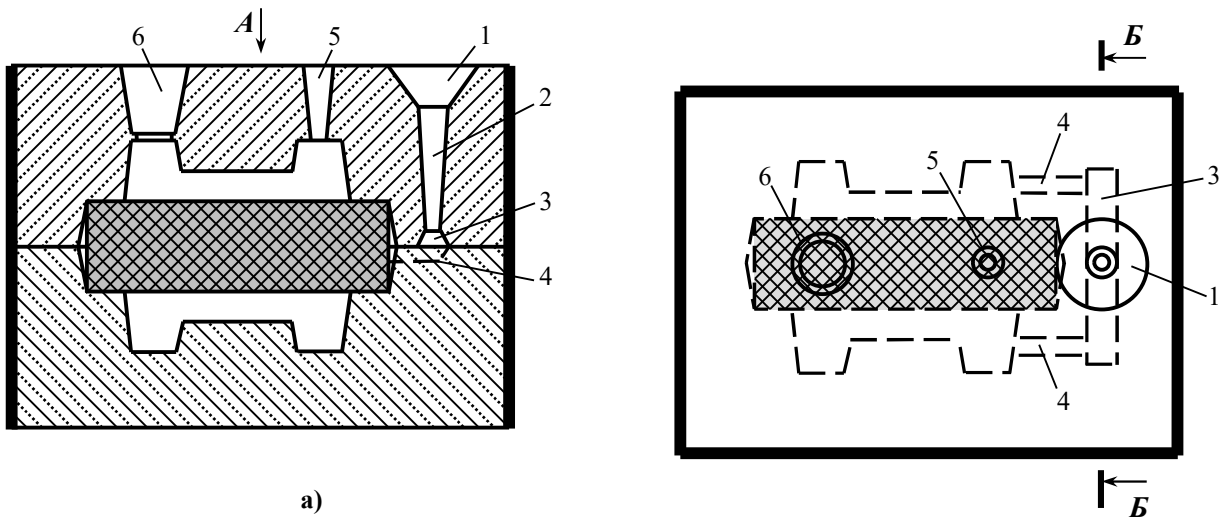
деталі не дозволяє надійно встановлювати стрижні у формі, то їх доводиться додатково фіксувати за допомогою *лошток*, які є невеликими стійками з опорними торцями (рис. 11.5). Зокрема застосування жеребок на рис. 11.5- *а* запобігає можливе спливання стрижня під дією сили, що виштовхує заливається металу. Ту ж функцію виконують і верхні жеребки на рис. 11.5- *б*; нижні жеребки не дають впасти або змістити вниз консольно встановленому горизонтальному стрижню. Застосування лоша збільшує трудомісткість лиття через необхідність їх виготовлення та встановлення; після заливки жеребки потрапляють у тіло виливки, порушуючи її герметичність і зумовлюючи можливість поломки ріжучого інструменту при механічній обробці виливки в місцях установки лоша, міцності яких зазвичай відрізняються від властивостей матеріалу виливки (наприклад, для чавунних виливків часто використовують жеребки зі сталі). Тому бажано, щоб конструкція литої деталі не вимагала застосування лоша.



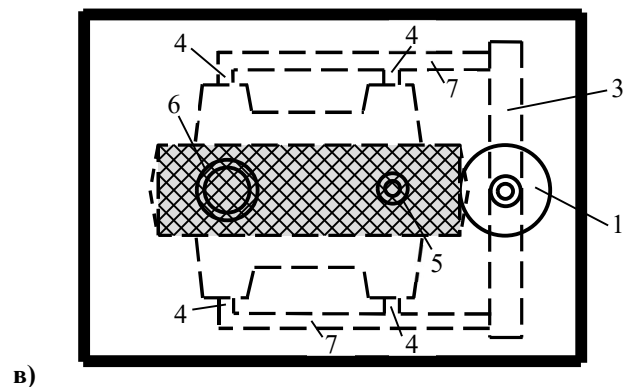
**Рисунок 11.5** . Фіксація стрижня жеребками 1 :

*а* – у вертикальному положенні; *б* – у горизонтальному положенні

*Літникова система* - це система каналів і резервуарів для підведення розплавленого металу в порожнину ливарної форми, її заповнення та живлення виливки при затвердінні. Літникова система повинна забезпечувати заповнення ливарної форми з необхідною швидкістю, затримку шлаку та інших неметалевих включень, вихід парів і газів із порожнини форми, безперервну подачу металу до виливки, що твердіє. Після закінчення лиття надлишковий метал, що заповнює літникову систему, застигає, зберігаючи форму її каналів (рис. 11.6 ) і утворюючи відхід, що підлягає відділенню від самої виливки.

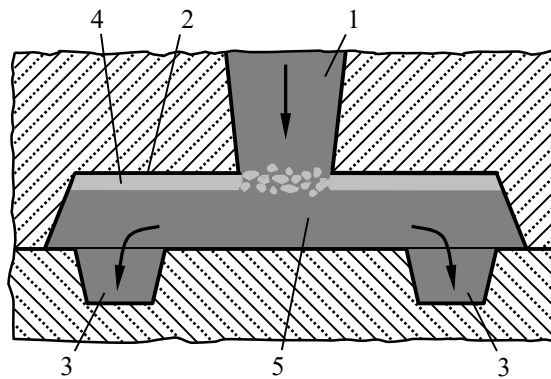


Вид *A* (варіант)



**Рисунок 11.6** Літникова система на фронтальному вигляді і вигляді зверху *б*, *в* :  
 1 – литникова чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловлювач; 4 – живильник; 5 – випір; 6 – прибуток; 7 – колектор

Основними елементами литникової системи (рис. 11.6) є: *1* – литникова чаша (лійка), яка призначена для прийому струменя розплаву, що випливає з розливного ковша, і часткового затримання шлаку, що потрапляє разом з розплавом; *2* – стояк – вертикальний або похилий канал, що передає розплав із литникової чаші всередину литникової системи; *3* – шлакоуловитель – горизонтальний канал, розташований, як правило, у верхній напівформі і службовець для затримання шлаку та передачі розплаву зі стояка до живильників; *4* – живильник - канал, що подає розплав безпосередньо в порожнину ливарної форми (живильник може бути як один, так і кілька, і вони зазвичай розташовуються в нижній напівформі); *5* – випір – вертикальний канал для виведення газів із порожнини форми, сигналізації про закінчення заливки, живлення виливки розплавом при затвердінні; *6* – прибуток - резервуар з розплавленим металом, що забезпечує його безперервне підведення до масивної частини виливки, що застигає останньої (за наявності декількох масивних частин прибутків також може бути кілька); *7* – колектор – розподільний горизонтальний канал, який іноді виконується між шлакоуловителем і живильниками для одночасного напрямку розплаву до різних частин порожнини ливарної форми.



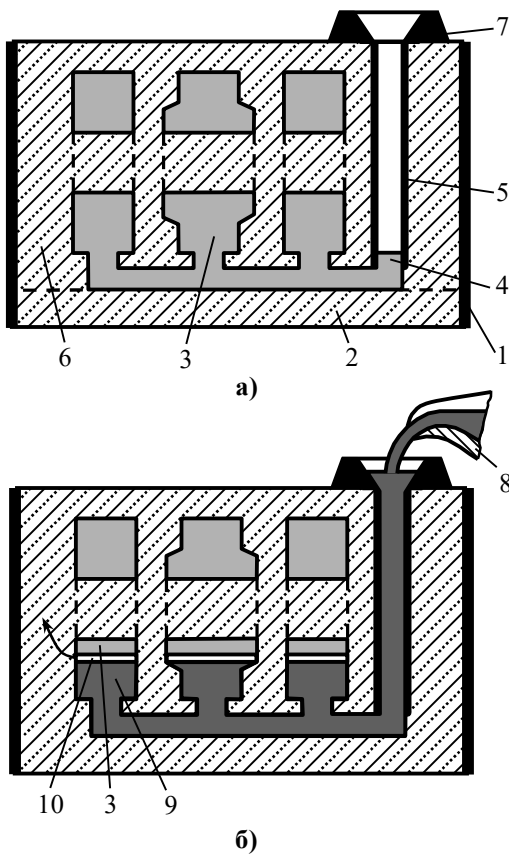
**Рисунок 11.7.** Принцип роботи шлакоуловлювача (відповідає перерізу Б-Б на рис 11.):  
1 – стояк; 2 - йшла коуловлювач ; 3 – живильники; 4 – шлак; 5 – розплавлений метал

Принцип роботи шлакоуловлювача (рис.11.7) заснований на тому, що шлак має значно меншу щільність, ніж розплавлений метал, у зв'язку з чим, потрапивши зі стояка 1 в шлакоуловлювач 2 він спливає наверх і залишається у верхній частині шлакоуловлювача, що не має з'єднання з порожниною ливарної форми, а розташовані нижче живильники 3, що виходять безпосередньо в порожнину форми, надходить лише більш важкий розплавлений метал.

Літникові системи бувають звужуються і розширюються. Звуження литникова система використовується при виготовленні чавунних виливків і має послідовне зменшення площ  $S$  поперечних перерізів стояка 1 (рис. 11.7), шлакоуловлювача 2 і живильників 3, тобто.  $S_3 > S_{ш} > S_п$ . Така літнікова система забезпечує швидке заповнення розплавом всіх каналів та краще вловлювання шлаку. Однак у порожнину ливарної форми розплав надходить з високою швидкістю, що може призводити до розбризування та окислення розплаву, захоплення повітря та розмиву форми. Розширювана литникова система використовується при виготовленні сталевих виливків, а також виливків з алюмінієвих, магнієвих, мідних та інших легкоокислюваних сплавів, і характеризується послідовним збільшенням площ поперечних перерізів стояка 1 *шлакоуловителя* 2 і живильників 3 тобто.  $S_3 < S_{ш} < S_п$ . У такій літніковій системі швидкість потоку розплавленого металу знижується від стояка до живильників, внаслідок чого метал надходить у порожнину ливарної форми спокійно, з меншими розбризуванням, окисленням та розмиттям стінок форми.

*Модельна плита* – це плита, яка формує роз'єм ливарної форми, і до якої перед початком формування кріплять опоку, моделі виливки та елементів литникової системи (рис. 11- д).

Моделі, стрижні ящики та модельні плити утворюють *модельний комплект* і для одиничного та серійного виробництва виготовляються дерев'яними, а для великосерійного та масового виробництва – металевими або пластмасовими. Виготовлення ливарних форм із застосуванням металевих пристосувань замість дерев'яних забезпечує більшу точність і більш високу якість поверхні виливків.



**Рисунок 11.8.** Застосування форми з моделлю, що газифікується :

1 – опока; 2 – ліжко з формувальної суміші; 3 – модель, що газифікується, виливки; 4 – центруючий виступ моделі; 5 – керамічний стояк; 6 – верхня частина формувальної суміші; 7 – керамічна литникова чаша; 8 – розливний ківш; 9 – розплавлений метал; 10 – газовий прошарок між розплавленим металом та моделлю, що газифікується.

Для виготовлення досить великих (масою до 20 т) одиничних виливків з чавуну, сталі та кольорових металів замість звичайного формування виявляється дуже ефективним застосування формування за газифікованими моделями, виготовленими з пінополістиролу. Формування за газифікованими моделями здійснюється наступним чином (рис. 11.8- а ). Спочатку в опоку 1 робиться ліжко 2 з формувальної суміші, на яку встановлюють модель 3 , яка покрита протипригарним покриттям і точно повторює конфігурацію виливки, що дозволяє не виготовляти стрижні для отримання порожнин, отворів і виступаючих частин виливки. На центруючий виступ моделі 4 надягається керамічний стояк 5 , після чого опока заповнюється догори формувальної сумішшю 6 і на стояк встановлюється керамічна литникова чаша 7 .

Особливість даного виду формування полягає в тому, що модель, що газифікується, з форми перед заливкою не вилучають (рис. 3.8- б ), а розплавлений метал з ковша 8 через литникову систему заливають безпосередньо на модель. Під дією теплоти розплав 9 модель 3 газифікується, і між нею і металом, що заливається, утворюється газовий прошарок 10 , яка безперервно йде в матеріал форми, звільняючи чергові ділянки порожнини для заповнення рідким металом. Для послідовної газифікації моделі розплавлений метал підводять знизу, не роблячи при цьому відкритих прибутків і випорів, щоб уникнути виділення газів та сажі в атмосферу. цеху. Для зменшення кількості са-

жи одночасно із заливкою металу у форму подають вуглекислий газ  $CO_2$  , який сприяє окисленню продуктів розкладання моделі і значно знижує кількість сажі, що утворюється.

Порівняно із звичайним формуванням за газифікованими моделями має такі переваги: 1) стає можливим отримання виливків складної конфігурації без застосування стрижнів; 2) значно спрощується процес виготовлення ливарної форми, а при використанні сухих формувальних сумішей (сухого піску без глини) значно знижується трудомісткість не тільки формування, а й вибивання форми після заливання; 3) завдяки нероз'ємній формі та відсутності операції вилучення моделі відпадає необхідність виконання формувальних ухилів, підвищується точність виливки, виключаються затоки по площині роз'єму, що ускладнюють очищення виливка.

У процесі будь-яких видів лиття відбуваються силова, теплова та хімічна взаємодія між виливком і формою, що зумовлюють певні основні вимоги, згідно з якими ливарні форми повинні мати: 1) міцність, тобто. здатністю зберігати конфігурацію та розміри порожнини при виготовленні, транспортуванні до місця заливки металом та подальшому затвердінні та охолодженні виливки; 2) вогнетривкістю, тобто. здатністю при високій температурі не розм'якшуватися, не розплавлятися і не вступати в хімічну взаємодію з металом, що заливається; 3) високою газопроникністю, тобто. здатністю безперешкодно пропускати крізь себе гази і пари вологи, що утворюються при заливанні розплавленого металу; 4) податливістю, тобто. здатністю стискатися і не чинити надмірного опору усадці виливки.

Після достатнього охолодження виливки в ливарній формі здійснюється її



очищення, що включає перелічені далі операції.

Спочатку здійснюють *вибивання виливки*, що виробляється з руйнуванням форми на різних вибивних установках, наприклад, вібраційних ґратах. Вибивання стрижнів здійснюють вібраційно-пневматичними або гідравлічними пристроями, що подають струмінь води під високим тиском близько 10 МПа (для порівняння: межа плинності свинцю при кімнатній температурі дорівнює 20 МПа).

Потім виконують *обрубування виливки*, тобто. видалення литників, випорів, прибутків, а також можливих заток по площині поєднання напівформ. Для обрубування чавунних виливків використовують молотки, кувалди та пневматичні зубила (відбійні молотки). Обрубування сталевих виливків виконують за допомогою газового або плазмового різання, а також на обрізних пресах. Для обрубування виливків із алюмінієвих, магнієвих або мідних сплавів використовують стрічкові та дискові пилки.

Після обрубки виконують *зачистку виливки*, видаляючи дрібні затоки, залишки литників, випорів і прибутків за допомогою переносних або стаціонарних шліфувальних кіл, пневматичних зубил, а також газової або плазмової обробки.

На завершення роблять остаточне очищення виливки, видаляючи залишки формувальної та стрижневої суміші, а також дефектний шар, що пригорів, з її зовнішніх і внутрішніх поверхонь. Для цього поміщають вилівок в галтувальний барабан (тобто обертовий барабан, наповнений абразивними матеріалами типу піску, наждака або корунду), а також використовують гідропіскоструминні або дробометні установки (що створюють ударний вплив струменем металевого дробу), хімічну або електрохімічну обробку.

### 11.3. Ливарні властивості матеріалу

Не всі матеріали однаково придатні для виготовлення фасонних виливків. З одних матеріалів (сірого чавуну, силуміну) можна легко виготовити вилівок складної конфігурації, а з інших (магнієві та титанові сплави, леговані сталі) отримання виливків важко. Ливарність, тобто. придатність матеріалу для лиття, визначають аналізовані далі ливарні властивості.

*Рідкотекучість* – здатність розплавленого матеріалу текти каналами ливарної форми, заповнювати її порожнини і чітко відтворювати контури виливки. При високій рідині ливарний матеріал добре заповнює всі елементи ливарної форми, при низькій - порожнина форми заповнюється частково, і у вузьких перерізах утворюються недоливи.

Рідина залежить від багатьох факторів. Підвищення температури заливки або температури форми збільшує рідкість усіх матеріалів. Підвищення теплопровідності матеріалу форми призводить до швидшого відведення теплоти залитого металу і відповідного зниження рідини. Наприклад, піщана форма забирає теплоту розплавленого металу повільніше і тому заповнюється краще, ніж металева форма, що викликає значно швидше охолодження залитого металу. На рідинну текучість впливає хімічний склад сплавів: зі збільшенням вмісту сірки, кисню і хрому рідина знижується, а з підвищенням вмісту фосфору, кремнію, вуглецю та алюмінію, навпаки, зростає.

Залежно від рідини сплаву вибирають мінімальну товщину стінок виливків. Наприклад, при лиття в піщані форми мінімальна товщина невеликих виливків із сірого чавуну 3 мм, а сталевих – 5 мм тобто. майже вдвічі більше.

*Усадка*, тобто. зменшення об'єму при затвердінні сплаву, в основному залежить від хімічного складу і температури заливки сплаву і в технологічному відношенні поділяється на об'ємну та лінійну. *Об'ємна усадка* - зменшення обсягу сплаву при його охолодженні від температури заливки до температури навколишнього середовища (20° °С). *Лінійна усадка* - зменшення лінійних розмірів виливки при її охолодженні до температури навколишнього середовища. Відносне лінійне усадження при литті

$$\varepsilon_{\text{л}} = \frac{l_{\text{ф}} - l_{\text{от}}}{l_{\text{ф}}} \cdot 100\%, \quad (11.1)$$

де  $l_{\phi}$  і  $l_{\text{від}}$  - Розміри порожнини форми і виливки при температурі 20 °С.

З формули (11.1) випливає, що

$$l_{\phi} = \frac{l_{\text{от}}}{1 - \frac{\varepsilon_{\text{л}}}{100\%}}. \quad (11.2)$$

З формули (11.2) видно, що лінійна усадка визначає розмірну точність отриманих виливків. Тому вона враховується при проектуванні та виготовленні модельної оснастки та, відповідно, ливарної форми. Кожен сплав має свою певну лінійну усадку: сірі чавуни приблизно 1,1%; сталі - 2,2%; алюмінієві сплави – 1,2%; магнієві сплави – 1,3%; мідні метали – 2,0%. Якщо нам необхідно виготовити, наприклад, вилівок з мідного сплаву з розміром  $l_{\text{від}}=100$  мм, то за формулою (11.2) відповідний розмір моделі з урахуванням  $\varepsilon_{\text{л}}=2\%$  повинен мати більшу величину  $l_{\phi}=102$  мм.

*Ліквация*, тобто. неоднорідність хімічного складу литого матеріалу в різних частинах виливки виникає внаслідок затвердіння окремих компонентів сплаву не при одній і тій же певній температурі. Ліквация залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки, швидкості охолодження, конфігурації виливки. Ліквация викликає неоднорідність механічних властивостей у різних частинах виливки.

*Схильність до утворення гарячих тріщин*, тобто. дефектів у вигляді надривів усадкового походження, що виникають у процесі кристалізації сплаву. Схильність до утворення гарячих тріщин залежить від складу сплаву та посилюється за наявності у розплаві домішок та неметалевих включень типу водню, азоту, кисню, сірки, оксидів, нітридів, а також при перегріві металу перед заливкою.

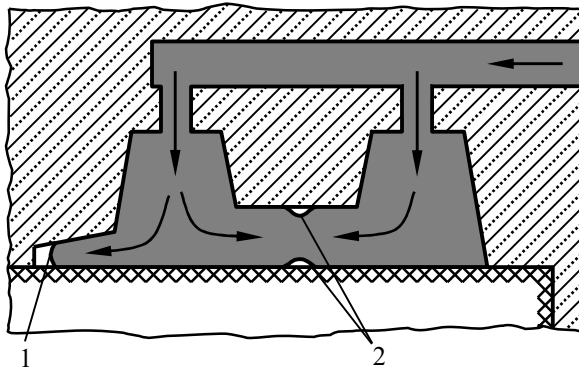
*Газопоглинання (газонасичення)*, тобто. здатність розплавлених ливарних сплавів розчиняти у собі водень, азот, кисень та інші гази. Газопоглинання залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки (при перегріві воно різко підвищується) та властивостей ливарної форми та призводить до газових раковин та пористості.

#### **11.4. Процеси взаємодії виливка з ливарною формою. Можливі дефекти у виливку та шляхи їх усунення**

При лиття вилівок і форма відчувають теплову, силову та хімічну взаємодію, що впливають на розмірну точність, якість поверхні, макро- та мікроструктуру, механічні та експлуатаційні властивості одержуваного литого виробу.

Теплова взаємодія виливки та форми можна умовно розбити на періоди, тривалість яких залежить від складу та теплофізичних властивостей сплаву та формувальної суміші, температури заливки та маси виливки: 1) заповнення форми розплавленим металом; 2) перехід теплоти у форму, що викликає остигання металу до досягнення температури початку кристалізації; 3) затвердіння виливка; 4) охолодження затверділої виливки у формі.

У процесі заповнення форми можуть виникнути два основних дефекти (рис. 3.9): *недолив*, тобто. неповне утворення виливки через незаповнення порожнини форми розплавленим металом, і *спай* - заглиблення на поверхні виливки, що утворилося через неповне злиття зустрічних потоків металу, що остигають по ходу течії.



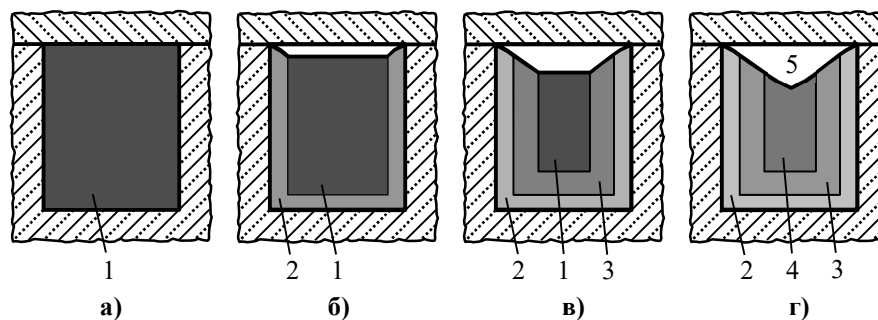
**Рисунок 11.9.** Дефекти виливки у вигляді недоливу 1 та спаю 2 (перетин відповідає верхній частині рис. 11.6-в)

Для запобігання цим дефектам використовують технологічні та конструктивні заходи. До технологічних заходів відносяться: підвищення температури заливки, збільшення швидкості заповнення форми розплавом, зменшення втрат теплоти при заповненні форми розплавом шляхом її попереднього нагрівання або виготовлення малотеплопровідних матеріалів. До конструктивних заходів відноситься вибір мінімально допустимої товщини стінки в залежності від складу сплаву, габаритних розмірів та складності виливки.

В цілому процеси застигання і, відповідно, структура кристалізованої відливки подібні до застигання і структурі зливка, показаної на рис. 2.8. У процесі кристалізації виливки також виникають ліквіація, усадка та виділення газових бульбашок. Межа міцності змінюється по товщині виливки, зменшуючись у напрямку поверхневої кірки до серцевини.

Для зменшення зональної ліквіації, яку не можна усунути наступною термообробкою, необхідно вирівнювати товщину стінок виливки, уникаючи утворення масивних вузлів, збільшувати швидкість затвердіння виливки, знижувати температуру заливки. На відміну від зональної дендритної ліквіації можна усунути відпалом отриманої виливки.

Усадка може призводити до утворення усадкових раковин, усадкової пористості, короблення та утворення тріщин.

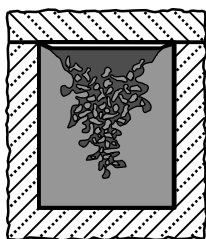


**Рисунок 11.10.** Формування усадкової раковини у виливку :

1 – розплав; 2 - затверділа кірка; 3 - затверділий проміжний шар; 4 - затверділа серцевина; 5 – усадкова раковина

*Усадкова раковина* – це дефект у вигляді досить великої відкритої або прихованої порожнини, розташованої в частині виливки, яка тверділа останньою. Утворення усадкової раковини характерно для сплавів, що мають вузький температурний інтервал кристалізації. Усадкова раковина утворюється в такий спосіб (рис. 11.10). Після попадання розплаву 1 в порожнину ливарної форми (рис. 3.10- а) він починає віддавати тепло її стінкам, в результаті чого в зоні контакту утворюється затверділа кірка 2 (рис. 3.10- б), яка містить в собі частину розплаву, що залишилася подібно до склянки, наповненому рідиною. В результаті затвердіння і охолодження відбувається об'ємна усадка кірки, що викликає зменшення товщини її стінок і дна і, відповідно, збільшення обсягу внутрішньої порожнини, що

призводить до зниження рівня укладеної в ній частини розплаву (мал. 11.10- б ). Після цього застигає проміжний шар 3 (рис. 11.10- в ), призводячи до нового зниження рівня частини розплаву, що залишилася. Оскільки процеси затвердіння, усадки та зниження рівня розплаву йдуть безперервно, то в момент остаточного застигання серцевини 4 (рис. 11.10- г ) формується характерна увігнута поверхня усадкової раковини 5 .



**Рисунок. 11.11 .**  
Формування усадкової пористості

*Усадкова пористість* - це дефект у вигляді скупчення дрібних, переважно, роз'єднаних порожнеч (пор), що утворюються в частині виливка, яка тверділа останньою. Усадкова пористість утворюється у разі, якщо сплав має широкий температурний інтервал кристалізації, тобто. якщо окремі фази сплаву застигають неодноразом, у результаті місцями утворюються кристали (рис. 11.11), які з'єднуються між собою, роз'єднуючи осередки, що ще містять залишки рідкої фази. Затвердіння таких осередків відбувається без доступу до них розплаву живлення, і тому в результаті усадки всередині осередків утворюються маленькі усадкові раковини, що утворюють пористість, що розташовується по кордонам зерен. Таким чином, в даному випадку

сумарне скорочення обсягу металу в результаті усадки проявляється не у вигляді великої, зосередженої в одному місці, порожнини 5 (рис. 11.10- г ), а у вигляді локалізованих у різних місцях невеликих порожнин, що надають металу губчасту будову (рис. 11.11).

Усадочні раковини та пористість порушують суцільність виливки та знижують її міцність. Деяке зменшення об'єму цих дефектів дає зниження температури заплавленого розплаву. Але більш надійне запобігання усадкових дефектів здійснюють двома іншими способами.

Перший спосіб полягає в безперервному підведенні розплавленого металу до найбільш масивних частин виливка, що остигає останніми, за допомогою прибутків, в яких розплав повинен застигати вже після того, як застигнуть ці масивні частини. Відповідно, усадкові раковини і пористість утворюватимуться не у виливку, а в прибутках, що підлягають видаленню.

Другий спосіб полягає у вирівнюванні швидкостей затвердіння масивних і тонких частин виливків за допомогою установки в місця утворення масивних частин спеціальних холодильників , які можуть бути як зовнішні (зовнішні), так і внутрішні. Металеві холодильники мають високу теплопровідність і теплоємність, що дозволяють відводити теплоту від масивних частин виливки значно інтенсивніше відведення теплоти від тонких частин виливки в менш теплопровідний формувальний матеріал. Внутрішні холодильники виготовляють з того ж сплаву, що і виливок, і встановлюють внутрішню порожнину форми, що утворює масивну частину виливка. При заповненні форми розплавом внутрішні холодильники частково розплавляються та зварюються з основним металом.

плавно збільшується перехід між вузлами. Цим буде цілеспрямовано забезпечена необхідна послідовність затвердіння, що забезпечує отримання хорошої якості виливки по всьому обсягу металу.

З моменту заливання металу починається силова взаємодія між виливком та формою. У процесі заливання вплив поточного металу на форму може призвести до руйнування її окремих частин, що викликає спотворення конфігурації і розмірів відливки, а шматки формувальної суміші, що відвалилися, потрапивши в розплав, призведуть до *шлюбу виливки по піщаних раковинах* . Рідкий метал створює значну силу, що виштовхує, яка може змусити недостатньо закріплений стрижень зміститися або спливати, а іноді і зруйнуватися. Виштовхувальна сила може підняти верхню напівформу, що призведе до розливу металу по площині роз'єму форми. Для запобігання цим дефектам формування треба проводити з гарним ущільненням формувальної суміші, а всі елементи, що утворюють форму, повинні бути надійно закріплені.

З моменту початку затвердіння розплаву розвивається усадка, що призводить до

зменшення об'єму і розмірів виливка, яка починає стискати елементи ливарної форми, що охоплюються нею. Виступаючі частини форми і стрижні перешкоджають вільному усадці виливки, викликаючи в ній *усадкові напруги*  $\sigma_{yf}$ . Але перешкоджати усадці можуть не лише елементи ливарної форми, а й ті частини виливка, які затверділи раніше за сусідні. Наприклад, більш тонка опорна ніжка 3 охолоне і твердне швидше сполученого з нею потовщення 4 і може почати перешкоджати його вільному усадці в напрямку, перпендикулярному площині креслення, в якому немає перешкоди усадці з боку форми. В результаті в цих сполучених частинах виливки виникнуть взаємні усадкові напруги  $\sigma_{yo}$ . Крім того, через нерівномірний розподіл температур між окремими частиними або по товщині виливки виникнуть *термічні напруження*  $\sigma_T$ . Зрештою, можуть з'явитися ще й *фазові напруження*  $\sigma_f$ , обумовлені нерівномірністю виділення за обсягом виливки різних фаз та структурних утворень у процесі затвердіння. Наприклад, при виготовленні виливка із сірого чавуну на її зовнішній поверхні може формуватися цементитна структура, а в центральній частині – структура з виділенням графіту. Це збільшить обсяг центральної частини, що призведе до виникнення розтягуючих напружень у зовнішніх шарах і стискаючих напружень у серцевині.

Загальні ливарні напруги  $\sigma_l$  визначаються сумою усадкових, термічних і фазових напруг:

$$\sigma_l = \sigma_{yf} + \sigma_{yo} + \sigma_T + \sigma_f, \quad (11.3)$$

і, з урахуванням властивостей матеріалу виливки, при певній величині можуть викликати дефекти у вигляді короблення, гарячих чи холодних тріщин.

*Короблення* - це спотворення форм і розмірів виливки під впливом ливарних напруг. Імовірність короблення зростає зі збільшенням протяжності частин виливки, зменшенні їх товщини та ускладнення зміни, що призводить до нерівномірного охолодження об'єму виливка. Для запобігання коробленню потрібно вирівнювати охолодження за допомогою холодильників, а при виготовленні складних виливків використовувати сплави з підвищеною пластичністю або передбачати ребра жорсткості, що зміцнюють тонкостінні елементи литих конструкцій.

*Гарячі тріщини* зазвичай виникають наприкінці затвердіння виливки. Для попередження появи цих тріщин необхідно створювати умови, що сприяють формуванню дрібнозернистої структури, уникати різких переходів між тонкими та масивними частинами виливки, ретельно очищати розплавлений метал від газів та шкідливих домішок, наскільки можна знижувати температуру заливки.

*Холодні тріщини* зазвичай виникають наприкінці охолодження виливка. Вони найчастіше утворюються в тонкостінних виливках складної конфігурації, при схильності сплаву до великої усадки, а також за наявності сплаву шкідливих домішок (наприклад, фосфору в сталі). Для запобігання появи цих тріщин необхідно вирівнювати охолодження за допомогою холодильників, а при виготовленні складних виливків використовувати сплави з підвищеною пластичністю.

У процесі затвердіння розплавленого металу, залитого у форму, виділятимуться розчинені у ньому гази. Аналогічно розглянутому вище утворення усадкових дефектів, для сплавів, що мають вузький температурний інтервал кристалізації, це може призводити до утворення *газових раковин*, а для сплавів, що мають широкий температурний інтервал кристалізації, це може призводити до утворення *газової пористості*. Для зменшення ймовірності утворення газових раковин та пористості плавку металу слід вести під шаром флюсу або в середовищі захисних газів, а перед заливкою розплавлений метал доцільно дегазувати вакуумуванням або продуванням інертними газами. Крім того, слід збільшувати газопроникність форм і стрижнів, а також підсушувати форму, знижуючи вологість формувальної суміші.

На поверхні контакту розплавленого металу з формою в результаті нагрівання

останньої може утворитися *пригар*, що представляє собою важковідокремлений від поверхні виливки шар металу, що включає оксиди і частинки формувальної суміші. Пригар погіршує стан поверхні оливної, збільшує трудомісткість її очищення, знижує стійкість при обробці різанням. Для зменшення пригару робочу поверхню форми перед заливкою покривають захисними протипригарними покриттями або використовують для формування цієї поверхні спеціальні облицювальні суміші.

Ще одним можливим дефектом лиття є *перекіс*, тобто. зміщення однієї частини виливки щодо іншої, що виникає в результаті недбалого складання частин форми, зносу центруючих штирів, невідповідності знакових частин моделі та стрижня, неправильної установки стрижня у форму.

Крім перерахованих запобіжних заходів, для виправлення незначних дефектів виливків використовують такі способи: 1) газове або електричне зварювання, за допомогою яких на необроблених поверхнях заварюють раковини, тріщини або наскрізні отвори, що випадково утворилися; 2) просочування спеціальними складами, які усувають пористість шляхом утворення оксидів, що заповнюють пори; 3) декоративне виправлення дрібних поверхневих раковин чи тріщин шляхом їх заповнення замазками чи мастиками.

## 11.5. Виготовлення виливків спеціальними способами лиття.

### Лиття в оболонкові форми

При найбільш поширеному лиття в піщані форми невисока інтенсивність охолодження призводить до зниження швидкості затвердіння виливки, укрупнення структури і появи в масивних вузлах усадкових раковин або пористості. Порівняно низька вогнетривкість матеріалу піщаної форми може сприяти розвитку пригару на контактних поверхнях виливки. Точність розмірів або шорсткість поверхні виливків, отриманих у піщаних формах, часто не задовольняють вимоги сучасної техніки. Досить тривалий процес виготовлення піщаних форм та стрижнів знижує продуктивність.

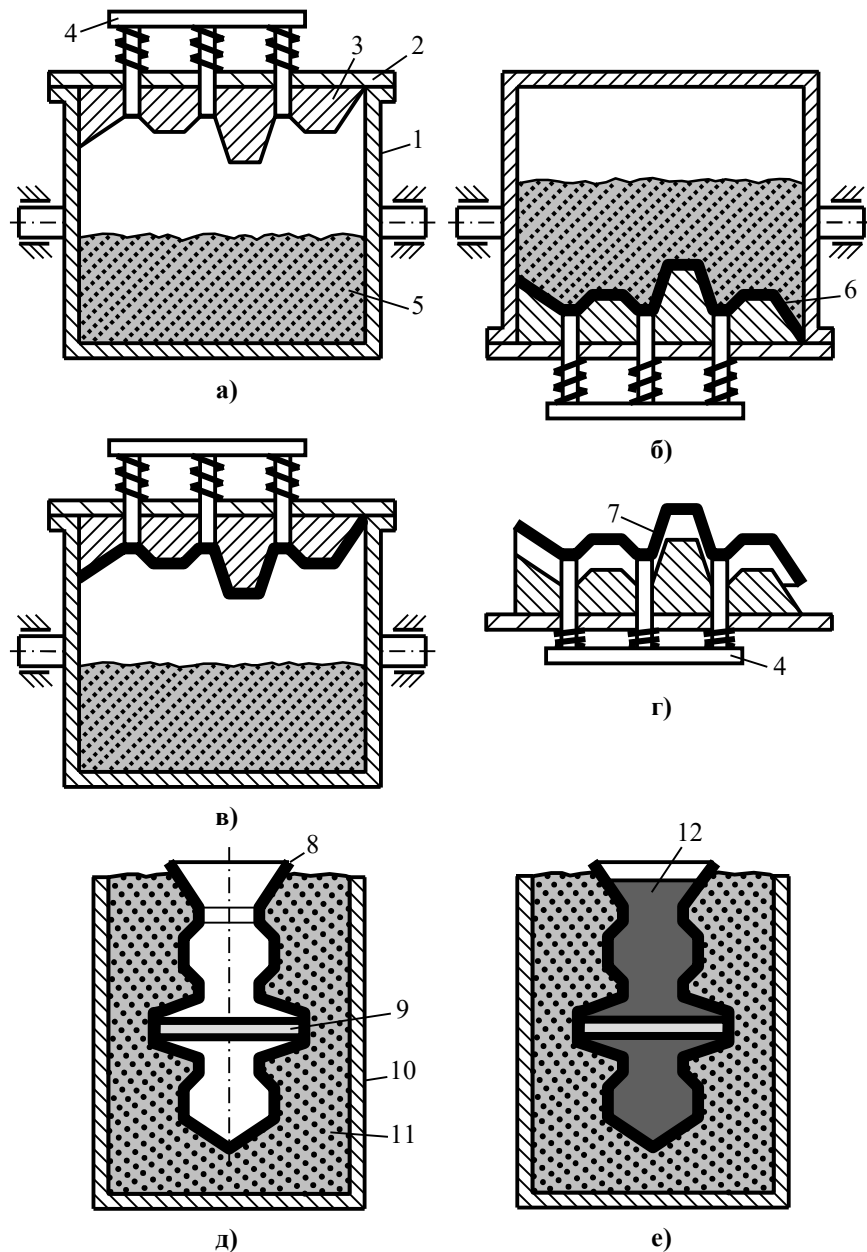
У зв'язку з цими недоліками безперервно розвиваються спеціальні високопродуктивні способи лиття, що дозволяють отримувати виливки підвищеної точності, з малою шорсткістю поверхні та мінімальними припусками на механічну обробку, а іноді й зовсім виключають необхідність останньої.

У 1940 г. в Німеччині був запатентований спосіб лиття в оболонкові форми, що отримав з 1950 г. повсюдне застосування. Сутність лиття в оболонкові форми полягає у виготовленні виливків шляхом заливки розплавленого металу в тонкостінну разову форму, виготовлену із суміші дрібного піску з порошкоподібною термореактивною смолою, що виявляє сполучні властивості в результаті контакту з нагрітим металевим модельним оснащенням.

Оболонкові форми виготовляють в такий спосіб.

Металеву модельну плиту 2 (рис. 11.12- а) із закріпленою на ній металевою моделлю 3 нагрівають у печі до температури 200...250 °С, пульверизатором наносять на них розділовий склад з термостійкого каучуку для полегшення наступного знімання оболонки, після чого закріплюють на поворотному бун., що містить формувальну суміш 5, що складається з дрібнозернистого кварцового піску (близько 94%), термореактивної смоли (5%), зволожувача (гас або гліцерин, 0,5%) та розчинника (ацетон або етиловий спирт, 0,5%). Потім бункер перевертають (рис. 11.12- б), в результаті чого формувальна суміш потрапляє на нагріту модельну плиту і витримується 10...30 с. Від теплоти модельної плити термореактивна смола в контактному шарі переходить у рідкий стан і склеює піщинки з утворенням напівтвердої піщано-смоляної оболонки 6 має залежно від часу витримки товщину 5 ... 20 мм.

Далі бункер повертають у вихідне положення (рис. 11.12- в), в результаті чого надлишки формувальної суміші зсипаються на його дно. Модельна плита з напівтвердою оболонкою 6 знімається з бункера і протягом 1...1,5 хв нагрівається в печі при температурі 300...350 °С, внаслідок чого оболонка остаточно переходить у твердий незворотний стан. Затверділа оболонка 7 (рис. 11.12- г), що є першою напівформою, знімається з моделі блоком виштовхувачів 4.



**Рисунок 11.12 .** Виготовлення та заливання оболонкової форми :

*a* – модельний пристрій у вихідному положенні; *б* – поворот бункера та формування напівтвердої оболонки на модельній плиті; *в* – повернення бункера у вихідне положення; *г* – знімання затверділої оболонки з модельної плити; *д* – встановлення зібраної оболонкової форми в контейнерне опоку та засипання підпiрного матеріалу; *е* – заливання оболонкової форми розплавом: 1 – поворотний бункер; 2 – металева модельна плита; 3 – металева модель; 4 – блок виштовхувачів; 5 - формувальна суміш; 6 – напівтверда оболонка; 7 – затверділа оболонка; 8 – склеєна оболонкова форма; 9 – оболонковий стрижень; 10 - контейнерна опока; 11 - підпiрний матеріал; 12 – розплав

Аналогічно виготовляють і другу напівформу. При необхідності тим самим способом виготовляють і оболонкові стрижні.

Готові оболонкові напівформи з встановленим всередину стрижнем 9 (рис. 11.12- д) склеюють швидкозатвердуючим клеєм на спеціальних пресах, що забезпечує високу міцність шва складової оболонкової форми 8, яку поміщають всередину контейнерної опоки 10 і засипають кварцовим піском або чавун що запобігає руйнуванню оболонки при заливці розплаву.

Лиття в оболонкові форми забезпечує високу точність виливків, малу шорсткість

поверхні, знижує витрату формувальних матеріалів та обсяг механічної обробки, є високопродуктивним процесом.

### 11.6. Лиття по виплавлюваних моделях

Сутність лиття по моделях, що виплавляються полягає в застосуванні разових форм, що не вимагають роз'єму внаслідок утворення порожнини необхідної конфігурації за допомогою одноразових моделей, виконаних з легкоплавких матеріалів, що видаляються з отриманих форм при їх попередньому нагріванні.

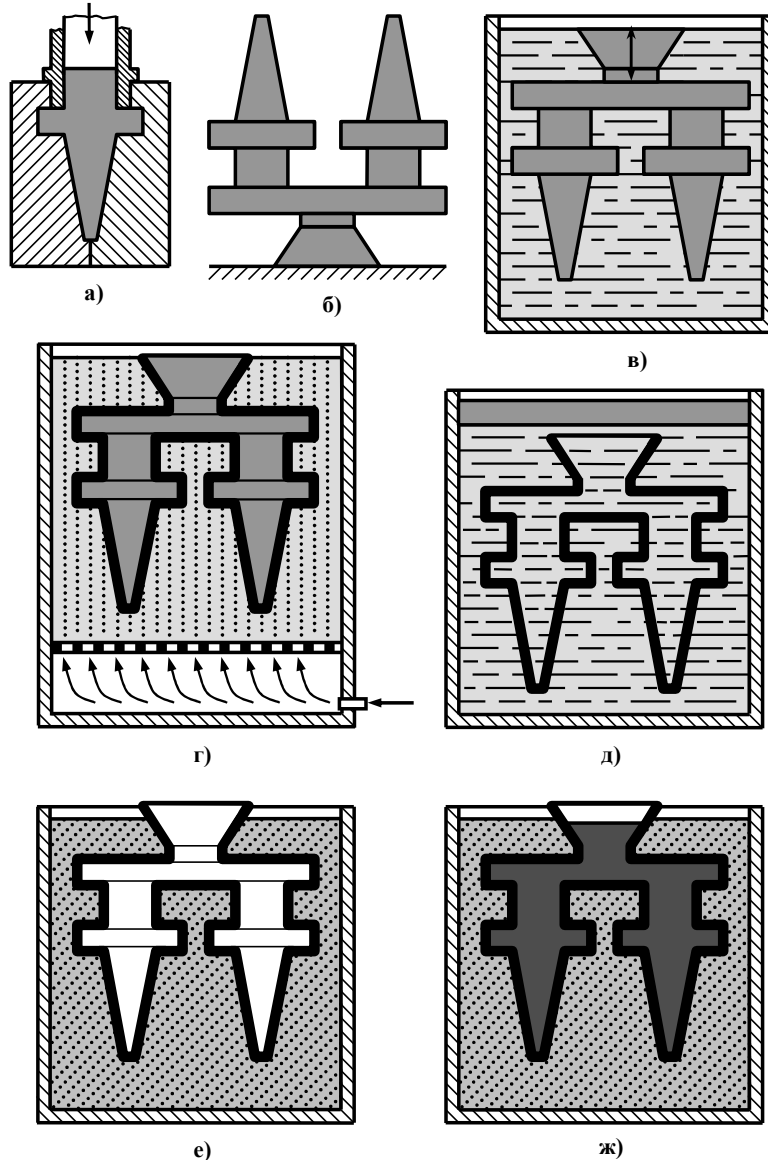


Рисунок 11.13 . Послідовність операцій під час лиття за виплавлюваними моделями:

*a* – запресування пастоподібного модельного складу прес-форму; *б* - складання блоку моделей з моделлю загальної літничкової системи; *в* – нанесення на модельний блок рідкої вогнетривкої суспензії; *г* – нанесення на поверхню модельного блоку шару сухого кварцового піску в спеціальній установці, що продувається; *д* – виплавлення модельного блоку з форми у гарячій воді; *е* – встановлення тонкостінної форми в контейнерне опоку та засипання підпiрного матеріалу; *ж* – заливання тонкостінної форми розплавом

Для виготовлення моделей, що виплавляються використовують легкоплавкі модельні з залишки на основі парафіну, воску, стеарину, церезину і т.п. матеріалів. Модельний склад у пастоподібному стані запресовують у прес-форму необхідної конфігурації (рис. 11.13- *a* ), що складається з двох і більше частин з відповідним числом вертикальних або

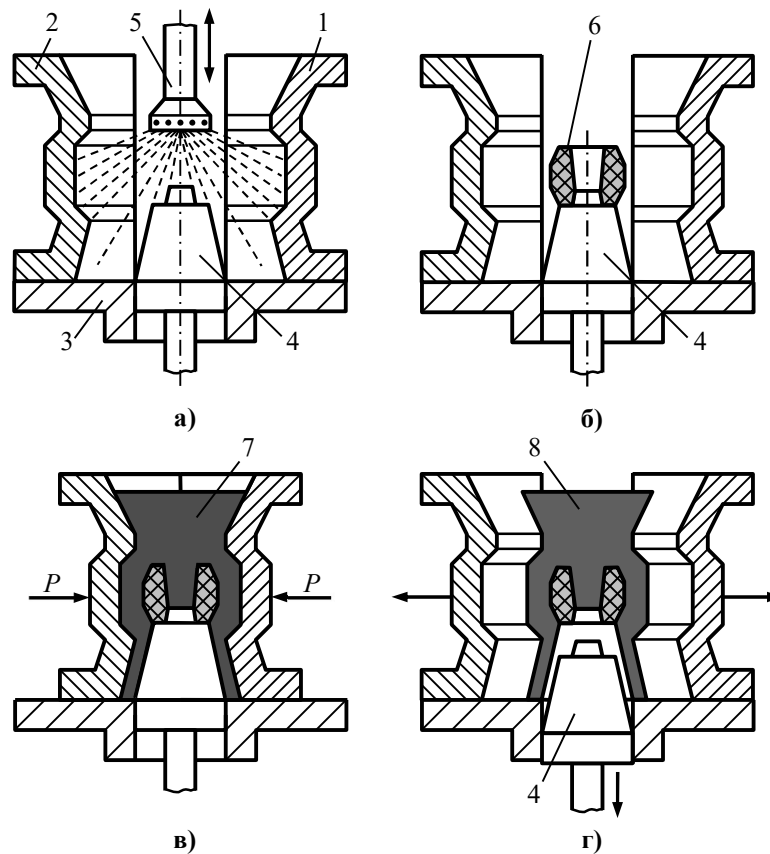


горизонтальних роз'ємів. Після затвердіння модельного складу прес-форма розкривається і виштовхується у ванну з холодною водою. Потім моделі збирають припаюванням або приклеюванням в блок із загальною легкоплавкою моделлю литникової системи (рис. 11.13- б ). В один блок поєднують від 2 до 100 моделей. Для отримання форми на поверхню модельного блоку шляхом багаторазового занурення (рис. 11.13 - в ) наносять рідку вогнетривку керамічну суспензію, після чого в спеціальній установці, що продувається (рис. 11.13- г ) наносять на вологу суспензійну поверхню модельного блоку шар сухого. Потім модельний блок з нанесеним шаром сушать близько 2:00 на повітрі або близько 30 хвилин в середовищі аміаку. Повторюючи процедури нанесення рідкої суспензії, сухого піску та просушування, на модельний блок наносять від 3 до 6 шарів вогнетривкого покриття, отримуючи нероз'ємну тонкостінну форму. З цієї форми модельний блок видаляється шляхом занурення на кілька хвилин у бак з гарячою водою (рис. 11.13- д ), внаслідок чого модельний склад розплавляється і спливає на поверхню, звідки періодично видаляється для нового використання. Після вилучення з води оболонкову форму сушать, а потім встановлюють у контейнерну опоку і засипають підпирним матеріалом (рис. 11.13- е ), в якості якого зазвичай використовують сухий кварцовий пісок. Потім опоку з формою встановлюють в електричну піч і прожарюють не менше 2 годин при температурі 900 °С для випаровування води, вигорання залишків модельного складу і спікання частинок сполучного з частинками вогнетривкого матеріалу. Відразу після прокалювання гарячу форму заливають розплавленим металом (рис. 11.13- ж ), що дозволяє поліпшити заповнення тонкостінних частин форми і отримати високоякісні виливки зі сплавів з низькою рідиною (наприклад, високолегованих сталей).

Лиття по виплавлених моделях значно знижує припуски і, відповідно, обсяг механічної обробки виливків. Але при цьому висока початкова температура форми призводить до зниження швидкості затвердіння виливків, укрупнення кристалічної структури, можливої появи в масивних вузлах і товстих стінках усадкових раковин і пористості.

### 11.7. Лиття в кокіль

Сутність цього лиття полягає у виготовленні виливків шляхом заливання розплаву багаторазово використовувану металеву форму, звану *кокілем*. Кокілі зазвичай виготовляють литтям або механічною обробкою із сірого чавуну, сталі або кольорових сплавів. Стрижні часто виконують із легуваних сталей, оскільки на них діють високі температури та механічні навантаження. При отриманні порожнин, форма яких не допускає вільне вилучення стрижня з вилівка, використовують комбіновані стрижні, одна частина яких – металева, а інша – піщана або оболонкова (цю частину, що утворює складне піднутрення, при витягуванні просто руйнують).



**Рисунок 11.14.** Послідовність операцій при лиття в кокіль:

**а** – нанесення вогнетривкого покриття на робочі поверхні кокіля та металевго стрижня; **б** - встановлення піщаного стрижня; **в** – з'єднання напівформ кокіля та заливання розплаву; **г** – розкриття кокіля та витягування металевго стрижня із застиглої виливки: 1 – права напівформа кокіля; 2 – ліва напівформа кокіля; 3 – піддон; 4 – металевий стрижень; 5 – пульверизатор; 6 – піщаний стрижень; 7 – розплав; 8 – застигла виливка

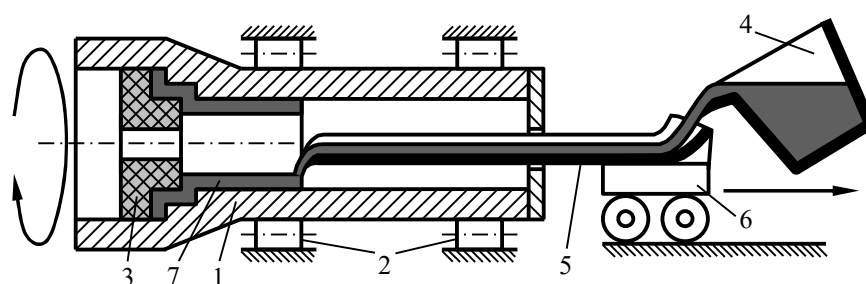
Робочі поверхні кокіля з вертикальною площиною роз'єму (рис. 11.14- *а*), що складаються з правої 1 і лівої напівформ 2, піддону 3 і металевго стрижня 4, попередньо нагрівають до температури 150 °С і покривають з пульверизатора 5 шаром вогнетривкого покриття, від різкого нагріву та схоплювання з виливком, а також дозволяє регулювати швидкість охолодження розплаву для забезпечення високої якості. Вогнетривкі покриття виробляють з вогнетривких матеріалів (пилоподібного кварцу, тальку, крейди, графіту), сполучного (рідкого скла) і води. Далі на металевий стрижень 4 встановлюють піщаний стрижень 6 (рис. 11.14- *б*), призначений для утворення частини порожнини виливки, що розширюється. Потім половини кокіля з'єднують один з одним, скріплюють і заливають розплавом 7. Після затвердіння та охолодження виливки 8 (мал. 11.14- *г*) кокіль розкривають і витягують металевий стрижень. Звільнений виливок подається на подальші операції очищення та механічної обробки.

Лиття в кокіль є високопродуктивним і дозволяє скоротити, а в багатьох випадках повністю уникнути витрати формувальних і стрижневих сумішей, працю ємних операцій формування і вибивання форм, підвищити точність розмірів виливків і зменшити шорсткість поверхні, знизити вдвічі припуски на механічну обробку порівняно з литтям у піщані форми. Затвердіння виливків в умовах інтенсивного відведення теплоти забезпечує вищу щільність металу та механічні властивості, ніж у виливків, отриманих литтям у піщані форми.

До недоліків кокільного лиття відносяться висока трудомісткість виготовлення кокілів, їх обмежена стійкість, а також труднощі виготовлення складних конфігурацій виливків.

## 11.8. Відцентрове лиття

*Відцентрове лиття* – це процес отримання виливків у формах, що обертаються. Внаслідок обертання формування виливка відбувається під дією відцентрових сил, що подрібнює структуру, очищає розплав від неметалевих включень, підвищує механічні властивості та герметичність виливків. Відцентрове лиття здійснюють у металевих виливницях, виконаних з чавуну або сталі і мають товщину в 1,5-2 рази більше за товщину виливка. Виливниці встановлюють у спеціальні машини з горизонтальною або вертикальною осями обертання. Зовнішня конфігурація виливків формується порожниною виливниці, а внутрішня поверхня у багатьох випадках формується без безпосередньої участі виливниці, що призводить до невисокої якості цієї поверхні. Для збільшення терміну служби, запобігання приварюванню та зменшення швидкості затвердіння виливків на робочу поверхню виливниць наносять теплозахисні покриття (фарби або порошкоподібні облицювання), а їх зовнішню поверхню в процесі лиття охолоджують водою або повітрям. Перед початком роботи виливниці підігрівають до температури 200° С .



**Рисунок 11.15** . Виготовлення виливки на горизонтальній відцентровій машині :

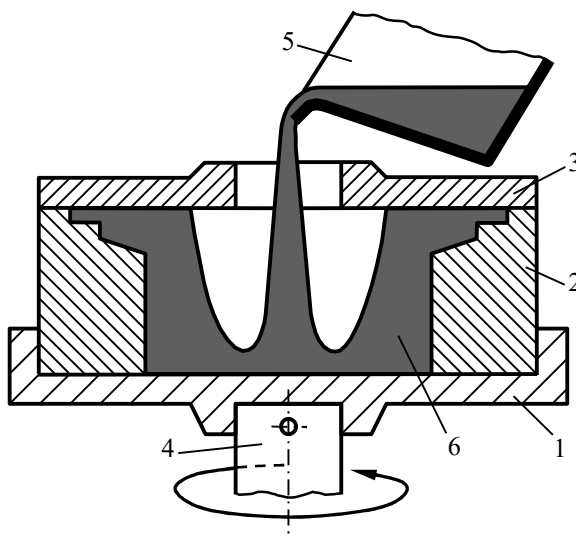
1 – металева виливниця; 2 – опорні ролики; 3 – піщаний стрижень; 4 - розливний ківш; 5 – жолоб; 6 – візок; 7 - виливок, що утворюється

Для прикладу розглянемо отримання на горизонтальній відцентровій машині відливки чавунної водопровідної труби з розтрубом (рис. 11.15). Металева виливниця 1 закріплена в опорних роликах 2 і забезпечена механізмом обертання навколо горизонтальної осі, що приводиться в дію електродвигуном. Для утворення розтруба труби у виливницю перед початком роботи вставляють стрижень 3 який виконують або піщаним, або оболонковим. Після того, як електродвигун приводить виливницю 1 у обертання (з частотою 150-1200 хв<sup>-1</sup>), Розплавлений чавун з розливного ковша 4 заливають у виливницю по жолобу 5 , встановленому на візку 6 . В процесі заливання жолоб 5 синхронно з ковшем 4 переміщують вправо з постійною швидкістю, що забезпечує отримання однакової товщини труби, що відливається 7 по її довжині. Изложница обертається до затвердіння залитого розплаву, після чого відлиту трубу витягують.

Аналогічно можна виготовити втулки, гільзи, кільця тощо. Крім того, по черзі заливаюкою можна отримувати багатошарові заготовки, наприклад, двошарові (біметалічні) труби (залити спочатку шар чавуну, а слідом, наприклад, шар бронзи).

При отриманні виливків на вертикальній відцентровій машині (рис 11.15 ) піддон 1 із закріпленою на ньому виливницею 2 закритою кришкою 3 встановлюють на шпиндель 4 який може обертатися за допомогою механізму, забезпеченого електродвигуном. Після досягнення необхідної частоти обертання всередину ливарної порожнини за допомогою розливного ковша 5 заливається розплавлений метал, який розтікається по піддону 1 захоплюється відцентровими силами і притискається ними до вертикальної стінки изложницы 2 , повторюючи її рельєф, в результаті чого починає утворюватися . Обертання форми проводиться до повного затвердіння виливки. Таким способом отримують виливки типу кілець або вінців зубчастих коліс, що мають порівняно невелику висоту, але досить великий діаметр. Оскільки при обертанні навколо вертикальної осі вільна внутрішня поверхня розплаву

набуває характерної форми параболоїда обертання, що призводить до різновисочинності виливки по висоті та стримує застосування таких машин.



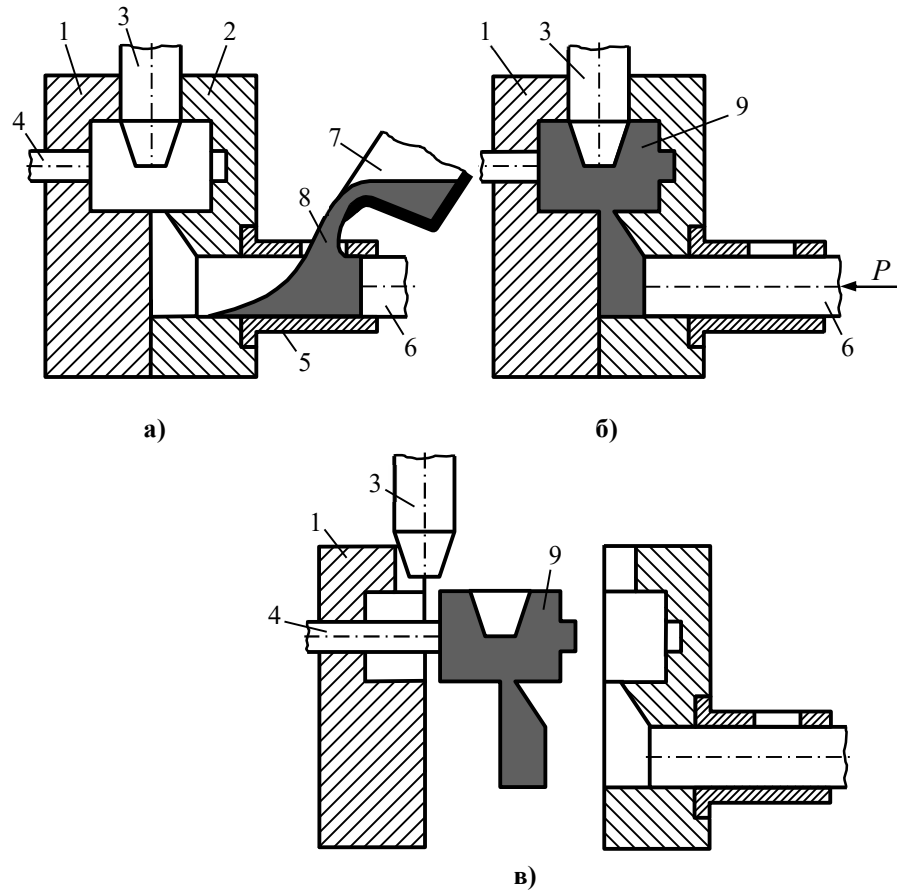
**Рисунк 11.15.** Виготовлення виливки на вертикальній відцентровій машині :  
1 – піддон; 2 – виливниця; 3 – кришка; 4 – шпиндель; 5 - розливний ківш; 6 - виливок, що утворюється

У цілому нині технологічними перевагами відцентрового лиття є отримання внутрішніх порожнин порожнистих заготовок майже використання стрижнів і велика економія металу рахунок відсутності литникової системи.

### 11.9. Лиття під тиском

*Лиття під тиском* – це процес отримання виливків у металевих прес-формах, при якому подача розплавленого металу в порожнину форми та формування виливка здійснюються під дією спеціально створюваного значного тиску, що досягає 100 МПа і більше. Сильне тиск на розплав обумовлює високу швидкість руху потоку металу в прес-формі, яка може сягати 120 м/с. Форма заповнюється за десяті або соті частки секунди, що дозволяє отримувати виливки з товщиною стінки менше 1 мм. Висока інтенсивність теплової взаємодії між розплавом та металевою прес-формою сприяє подрібненню структури в поверхневих шарах виливки та підвищенню її міцності. Разом з тим, висока швидкість заповнення форми не дозволяє повітрю і продуктам розкладання мастила повністю видалитись із порожнини, в результаті чого вони можуть потрапляти в розплав і призводити до утворення газоповітряних пір, що знижують щільність, герметичність і пластичність виливків. Лиття під тиском в основному використовують для кольорових металів і сплавів і здійснюють на спеціальних машинах, які поділяють на машини з холодною або гарячою камерою пресування.

Прес-форма машини з холодною камерою пресування (рис. 11.16- а) складається з рухомий 1 і нерухомих напівформ 2, а також металевого стрижня 3, службовця для утворення порожнини у виливку, і виштовхувача 4, необхідного для вилучення виливки. Перед заливкою прес-форму зазвичай нагрівають до температури 100-300 °С і наносять на робочі поверхні захисне вогнетривке мастило, що запобігає приварюванню виливки. Потім усередину камери пресування 5, замкненої з правого боку плунжером 6 через вікно за допомогою розливного ковша 7 наливають порцію розплавленого металу 8. Після цього до плунжера 6 (рис. 11.16 б) прикладається тиск, що викликає рух плунжера вліво і послідовне замикання вікна для заливки металу і запресування розплаву в порожнину прес-форми з утворенням виливки 9. Для зменшення усадкової пористості в кінцевий момент пресування застосовується підпресування розплаву, тиск якої може досягати величини 500 МПа.



**Рисунок 11.16 .** Виготовлення виливки литтям під тиском на машині з холодною камерою пресування:

**а** – заливання порції розплавленого металу камеру пресування; **б** – подача розплаву плунжером у порожнину прес-форми та формування виливка; **в** – розкриття прес-форми та видалення виливка з її порожнини: 1 – рухлива напівформа; 2 – нерухома напівформа; 3 – стрижень; 4 – виштовхувач; 5 – камера пресування; 6 – плунжер; 7 – розливальний ківш; 8 – розплавлений метал; 9 – виливок

Важливо зауважити, що підпресування ефективно лише за умови, що час наростання тиску менший за час затвердіння розплаву.

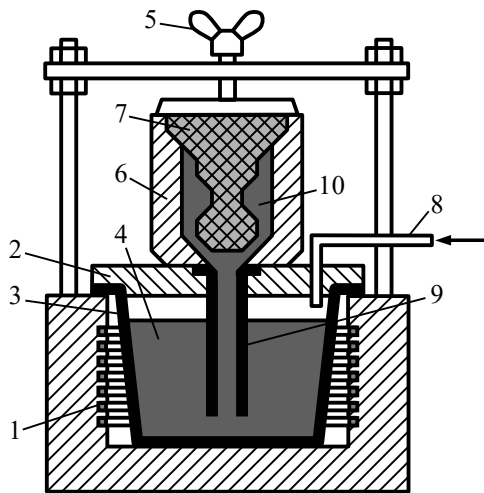
Після повного затвердіння виливки 9 рухома напівформа 1 разом зі стрижнем 3 і утримуваною ним виливком 9 переміщуються вліво, розкриваючи прес-форму. Після цього стрижень 3 піднімається вгору, і виштовхувач 4 виштовхує виливок 9 з напівформи 1 .

Прес-форма машини з гарячою камерою пресування (рис. 3.23- а ) теж складається з рухомий 1 і нерухомої напівформ 2 , а також металевого стрижня 3 , службовця для утворення порожнини у виливку, і виштовхувача 4 , необхідного для вилучення виливки. Але камера пресування 5 , з плунжером 6 , розташована в даному випадку всередині обігривається тигля 7 , що містить розплавлений метал 8 , який через впускний отвір 9 заповнює і внутрішню порожнину камери пресування 5 . При русі плунжера 6 вниз отвір 9 перекривається (рис. 3.23 б ), і розплав під тиском порядку 30 МПа заповнює порожнину прес-форми, утворюючи виливок 10 . Після затвердіння виливка плунжер 6 повертається у вихідне положення, залишки розплавленого металу зливаються з каналу в камеру пресування 5 а виливок 10 видаляється з порожнини прес-форми аналогічно рис. 3.23- в .

Лиття під тиском має високу продуктивність, забезпечує високу точність розмірів виливків, малу шорсткість поверхні і або повністю усуває необхідність механічної обробки, або зводить її до мінімуму.

Недоліками цього способу є висока вартість, складність виготовлення, обмежений термін служби прес-форм та пресового обладнання, а також небезпека появи повітряної

## 11.10. Лиття під низьким тиском



**Рисунок 11.17.** Виготовлення виливки литтям під низьким тиском:

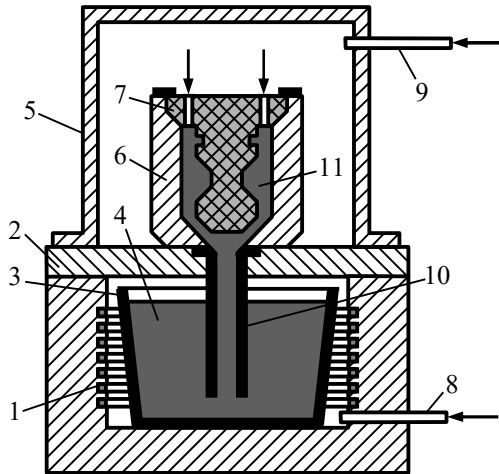
1 – піч електроопору; 2 – герметизуюча кришка; 3 – тигель; 4 – розплавлений метал; 5 – струбцина; 6 – ливарна форма; 7 – піщаний стрижень; 8 – труба, що нагнітає; 9 – металопровід; 10 – виливок

вок з підвищеною міцністю та герметичністю. Внаслідок дії надлишкового тиску заповнюваність елементів форми стає більш надійною. Крім того, скорочується витрата металу на литникову систему.

При литті під низьким тиском виготовлення виливків використовуються як металеві, і разові форми.

## 11.11. Лиття з протитиском

При лиття з протитиском виливки виготовляються шляхом примусової заливки розплавленого металу в порожнину форми внаслідок на нього надлишкового тиску порядку 0,1 МПа. За своєю суттю цей вид лиття дуже близький до лиття під низьким тиском і відрізняється від нього тим, що до розплавленого металу тиск прикладають не тільки з боку заливки, але одночасно прикладають і зустрічний надлишковий тиск меншої величини, що діє на метал, що заливається з протилежного боку. Для такого лиття використовують спеціальні установки (рис. 11.18), що включають піч електроопору 1 всередині якої за допомогою кришки 2 утворюється нижня герметична камера з встановленим в ній тиглем 3 з розплавленим металом 4. Зверху на кришці 2 встановлений кожух 5 утворює верхню герметичну камеру, всередині якої міститься ливарна форма 6 яка може включати закріплений піщаний або оболонковий стрижень 7 призначений для утворення у виливку порожнини необхідної конфігурації. Спочатку всередину герметичних нижньої та верхньої камер по трубах, що нагнітають 8 і 9 одночасно подають стиснене повітря або газ, що створює в



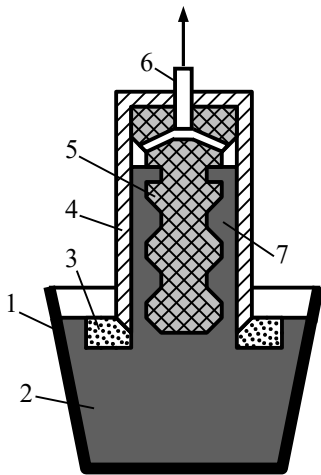
**Рисунок 11.18 .** Виготовлення виливка литтям із протитиском:

1 – піч електропору; 2 – герметизуюча кришка; 3 – тигель; 4 – розплавлений метал; 5 – герметичний кожух; 6 – ливарна форма; 7 – піщаний стрижень; 8 – нижня труба, що нагнітає; 9 – верхня труба, що нагнітає; 10 – металопровід; 11 – виливок

них однаковий тиск 2 МПа, що надає на розплав врівноважує зустрічну дію. Потім у верхній камері трохи скидають тиск до отримання перепаду в 0,1 МПа, під дією якого розплавлений метал 4 надходить у металопровід 10 і плавно заповнює порожнину форми 6. При цьому метал знаходиться під двостороннім надлишковим тиском 1,9 МПа (цього тиску немає при литті під низьким тиском), яке сприяє більш надійному заповненню досить вузьких каналів ливарної форми. Після затвердіння виливки під цим примусовим тиском воно скидається з верхньої та нижньої камер, незатверділий метал зливається з металопроводу 10 в тигель 3 після чого здійснюється витяг виливки 10.

Лиття з протитиском забезпечує надійне плавне заповнення порожнини форми та спрямоване затвердіння виливка, що призводить до отримання виливків з підвищеною міцністю та герметичністю. Крім того, скорочується витрата металу на литникову систему. При лиття з протитиском для виготовлення виливків використовуються як металеві, так і разові форми: піщані, оболонкові, за моделями, що виплавляються.

### 11.12. Лиття вакуумним всмоктуванням



**Рисунок 11.19 .** Виготовлення виливки литтям вакуумним всмоктуванням:

1 - тигель, що нагрівається; 2 – розплавлений метал; 3 – керамічний поплавець; 4 – водоохолоджувана ливарна форма; 5 – стрижень; 6 – труба вакуумного насоса; 7 – виливок

Для лиття вакуумним всмоктуванням (рис. 11.19) використовується тигель, що нагрівається 1, що містить розплавлений метал 2, на поверхні якого знаходиться керамічний поплавок 3. До поплавця щільно притискається водоохолоджувальна ливарна форма 4 містить закріплений всередині неї стрижень 5 призначений для отримання у виливку порожнини необхідної конфігурації. Коли вакуумний насос через трубу 6 з'єднану з отворами стрижня 5 починає відкачувати повітря, в порожнині ливарної форми 4 створюється розрядження, в результаті чого вона починає заповнюватися металом, що утворює виливок 7. Після затвердіння виливка порожнина форми 4 з'єднується з атмосферою, і незатверділий метал зливається в тигель, що нагрівається 1.

Перевага лиття вакуумним всмоктуванням полягає в усуненні шлюбу по газових раковинах і пористості шляхом всмоктування газів, що виділяються, і послідовної кристалізації виливки. Цим способом виготовляють різноманітні втулки, кільця, гайки, циліндри, колеса компресорів та інші виливки переважно із кольорових металів та сплавів, зокрема, мідних та алюмінієвих.

### 11.13. Безперервне та напівбезперервне лиття

Безперервне і напівбезперервне лиття за своєю суттю нічим не відрізняються від методу безперервного розливання сталі за допомогою спеціальних машин безперервного лиття заготовок і мають усі його переваги. Для отримання профільованих виливків

кристалізатор надають відповідну форму поперечного перерізу. При необхідності отримання не суцільних, а порожнистих виливків типу труб всередину кристалізатора вводиться стрижень, що водоохолоджується, навколо якого формується порожнину необхідної конфігурації.

#### 11.14. Електрошлакове лиття

Електрошлакове лиття за своєю суттю нічим не відрізняється від електрошлакового переплаву (і має всі його вищезгадані переваги. При такому лиття форма водоохолоджуваного металевих кристалізатора відповідає формі виливки, що отримується і може бути доповнена спеціальними металевими стрижнями, що дозволяють отримати у виливку необхідні порожнини. Внаслідок послідовного затвердіння виливок має щільну структуру без усадкових раковин або пористості.

Електрошлаковим литтям виготовляють виливки відповідального призначення (типу засувок атомних електростанцій) масою до 300 т.

#### 11.15. Особливості виготовлення виливків із різних сплавів

Приготування сплавів до лиття потребує їх плавлення, яке здебільшого збігається з розглянутими раніше процесами металургійного виробництва.

У процесі плавлення поліпшення якості ливарних сплавів іноді їх піддають *модифікації*, тобто . введення в розплав невеликої (порядку 0,1%) кількості речовин (модифікаторів), що викликають формування структурних складових округлої або подрібненої форми та сприяють їх рівномірному розподілу, що призводить до поліпшення механічних або технологічних властивостей матеріалу без помітної зміни його складу. Для сталей як модифікатори використовують лантан, церій, кальцій, бор; для чавуну - магній, церій, кальцій, феросиліцій, алюміній, бор, вісмут; для силумінів – натрій, стронцій, фосфор; для алюмінієвих бронз – ванадій.

Приблизно 75% маси всіх виливків, що виготовляються в машинобудуванні, отримують з чавуну. Цьому сприяє найнижча зі всіх ливарних сплавів вартість чавуну, його порівняно висока міцність та хороші ливарні властивості. Зі сталі виробляють близько 21% маси всіх виливків. З кольорових сплавів виробляють приблизно 4% маси всіх виливків, причому найбільше застосування мають бронзи та латуні.

*Виготовлення виливків з чавуну*. Сірий чавун є найпоширенішим матеріалом для виготовлення виливків. Він має високу рідину, що дозволяє відлити стінку з товщиною 3 мм, і малу усадку, що дозволяє отримувати виливки без усадкових раковин, пористості і тріщин. Але при збільшенні товщини стінок від 15 до 150 мм міцність і твердість чавуну зменшуються майже в 2 рази, що обумовлено зниженням швидкості охолодження більшої маси, що призводить до отримання структури з більшим розміром графітних пластин, ніж тонкостінних виливків.

Найбільшу кількість виливків із сірого чавуну виготовляють у піщаних формах, як правило, без застосування прибутків. Виливки типу тіл обертання (труби, втулки, гільзи) виготовляють відцентровим литтям.

Високоміцний чавун за механічними властивостями наближається до сталей, проте його вартість на 25% нижча. Рідкотекучість високоміцного чавуну така ж, як у сірого, що також дозволяє отримувати виливки складної конфігурації з мінімальною товщиною 3 мм. Але усадка високоміцного чавуну в 1,5 рази вище, ніж сірого, що ускладнює виготовлення виливків без усадкових дефектів і вимагає застосування прибутків і холодильників, а також формувальної суміші з підвищеною податливістю. Виливки з цього чавуну переважно виготовляють у піщаних та оболонкових формах, відцентровим литтям та литтям у кокіль.

Чавун з вермікулярним графітом за високою рідиною і малою усадкою не поступається сірому чавуну і перевершує його малою чутливістю до збільшення товщини стінки виливки, що дозволяє отримувати товщини порядку 500 ммзі збереженням високих



механічних властивостей. Виливки з чавуну з вермікулярним графітом одержують переважно у піщаних формах.

Ковкий чавун має знижену рідину, що вимагає підвищеної температури заливки, а також значно більшу усадку, ніж сірий чавун, що призводить до більшого утворення усадкових раковин, пір і тріщин, для попередження яких використовують прибутки і холодильники, а також формувальні та стрижневі суміші з високими податливістю, вогнетривкістю та газопроникністю. Крім того, процес виготовлення виливків з ковкого чавуну тривалий і енергоємний, у зв'язку з чим тільки 5% чавунних виливків виробляють з цього чавуну, часто замінюючи його більш економічним чавуном високоміцним.

*Виготовлення виливків із сталі*. Сталі мають знижену рідину, високу усадку і схильні до утворення тріщин, що змушує застосовувати масивні прибутки, в результаті чого витрата металу збільшується приблизно в 1,6 рази в порівнянні з литтям чавуну. Крім прибутків, для запобігання усадкових раковин і пористості в теплових вузлах сталевих виливків використовують зовнішні та внутрішні холодильники. Через низьку рідину плинність площа перерізу живильників літнкової системи для сталей приблизно вдвічі більша, ніж для чавунів.

Висока температура заливки сталі, що приблизно на 200-300 °С перевищує температуру заливки чавуну і досягає 1550-1650 °С, вимагає застосування формувальних і стрижневих сумішей з високою вогнетривкістю, а також покриття форм і стрижнів вогнетривкими фарбами. Для запобігання тріщинам ці суміші повинні володіти і високою податливістю.

Сталеві виливки переважно виготовляють в піщаних і оболонкових формах, литтям за моделями, що виплавляються, відцентровим литтям і литтям в фанеровані кокілі.

*Виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів*. Силуміни відрізняються високою рідиною і малою усадкою, не схильні до утворення гарячих і холодних тріщин. Але більшість інших алюмінієвих сплавів має низьку рідину, підвищену усадку, схильність до утворення тріщин і поглинання водню в розплавленому стані. Тому для отримання якісних виливків передбачають масивні прибутки та широке використання холодильників, а також попередній підігрів форм до температури 250-350 °С. Заливання ливарних форм проводиться за температури розплаву близько 700-750 °С.

Виливки з алюмінієвих сплавів переважно виготовляють литтям в кокіль, під тиском і в піщані форми. При дуже складній конфігурації виливків кокілі підігрівають до температури 400-500° °С.

*Виготовлення виливків з магнієвих сплавів*. Магнієві сплави мають знижену рідину, підвищену усадку, схильні до утворення тріщин і самозаймання при плавці і заливці, добре поглинають водень. Для запобігання ливарних дефектів використовують прибутки і холодильники, а при литті в кокіль - попередній підігрів форм і стрижнів до температур порядку 400 °С. Для запобігання самозаймання магнієвих сплавів їх плавку проводять під шаром захисних флюсів з хлористих і фтористих солей серед захисних газів. Захисні фтористі добавки вводять і формувальні суміші. У процесі заливання струмінь розплавленого металу посипають порошком сірки, при горінні якої утворюється сірчистий газ, що запобігає займанню магнію.

Виливки з магнієвих сплавів переважно виготовляють литтям у кокіль, під тиском і в піщані форми.

*Виготовлення виливків з мідних сплавів*. Латуні мають задовільну рідину, але високу усадку, що обумовлює утворення усадкових раковин і пористості. Бронзи відрізняються високою рідиною, але теж мають високу усадку, що зумовлює утворення тих же дефектів. При цьому всі мідні метали схильні до утворення тріщин.

Виливки з мідних сплавів виготовляють литтям у піщані та оболонкові форми, у кокіль, під тиском та відцентровим литтям. Для запобігання усадкових раковин і пористості в масивних вузлах виливків встановлюють прибутки та холодильники. Для запобігання утворенню тріщин збільшують податливість форми, для чого вводять у формувальну суміш

тирси.

*Виготовлення виливків з титанових сплавів*. Титан є тугоплавким металом, який у розплавленому стані активно взаємодіє з киснем, азотом, воднем та вуглецем, у зв'язку з чим його плавку необхідно вести у вакуумі чи середовищі захисних газів. З урахуванням цього для плавки титанових сплавів широко використовують спеціальні вакуумні дугові печі з титановим електродом, що витрачається, що працюють за принципом, викладеним в попередніх лекціях. Виливки з титанових сплавів виготовляють литтям у графітові пресовані форми, оболонкові форми, або форми, отримані за моделями, що виплавляються.

### 3.16. Вибір раціонального способу виготовлення виливків

Одну і ту ж деталь можна виготовити з виливків, отриманих різними способами лиття, причому часто технічні вимоги, що пред'являються до конкретної виливки, можуть бути забезпечені різними способами лиття з однаковою надійністю. Тому при виборі оптимального способу отримання виливків, як правило, потрібно проводити порівняльний аналіз можливих варіантів лиття та їх технологічних показників, представлених орієнтовно в табл. 11.1.

**Таблиця 11.1. Технологічні можливості основних способів лиття**

Показник	Лиття в піщані форми	Лиття в оболонкові форми	Лиття по виплавлюваних моделях	Лиття в кокіль	Лиття під тиском	Відцентрове лиття
Максимальна маса виливки, кг	200000	150	150	7000 – чавун; 4000 – сталь; 500 – кол. сплав	100	600
Максимальний розмір виливки, м	Будь-який	1,5	1,0	2,0	1,2	6,0
Мінімальна товщина стінки, мм	3,0	2,0	0,5	3,0	0,5	4,0
Найвища група складності	6	5	5	4	5	4
Можливий клас розмірної точності	6	4	3	4	3	6
Найменша шорсткість поверхні Rz, мкм	80	40	20	40	10	80
Мінімальний припуск на механічну обробку, мм	0,3	0,2	0,0	0,3	0,2	0,3
Середній КІМ, %	65	88	93	78	93	80
Відносна собівартість одиниці маси виливки	1,0	1,8	2,8	1,4	1,9	0,7
Економічно виправдана мінімальна кількість штук	Будь-яке	200	1000	400	1000	100

На початковому етапі розв'язання задачі вибору оптимального способу лиття слід враховувати найбільш важливі критерії, до яких належать: 1) кількість (розмір партії; програма випуску) виробів, що виготовляються; 2) маса та розміри виливки; 3) складність форми виливки; 4) необхідна точність геометричних показників та якість поверхні; 5) технологічні властивості матеріалу виливки.

*Кількість*. У разі великосерійного чи масового виробництва рентабельні способи лиття із застосуванням металевих чи оболонкових форм. Але якщо необхідно виготовити одну або всього кілька виливків (поодинокі виробництва), то не раціонально виготовляти для цього дорогий кокіль або використовувати дороге лиття за моделями, що виплавляються. Тому в даному випадку може окупитися і є найбільш раціональним застосування лиття у піщаних формах, для якого можна використовувати недорогі дерев'яні моделі.

*Маса та розміри виливки*. Необхідність виготовити чавунний вилив масою 20000 кгвідрозу ж визначає вибір лиття в піщані форми. При масі чавунної виливки 5000 кгвже можна розглядати і варіант виготовлення литтям в кокіль. Якщо маса чавунної виливки типу тіла обертання – 500 кг, а довжина – 5 м, то лиття в кокіль не підійде через габарит виливки, і треба розглядати можливість її виготовлення або литтям у піщані форми, або відцентровим литтям. Якщо порожнистий виливок з кольорового сплаву має товщини стінок або ребер жорсткості 0,5 мм, то слід зіставляти можливості застосування лиття за

моделями, що виплавляються, і лиття під тиском.

*Складність форми виливки*. Залежно від конфігурації, розмірів, маси, необхідної кількості стрижнів та особливих технічних вимог виливки поділяють на шість груп складності. Найбільш прості виливки відносять до першої групи, яка характеризується гладкими і прямолінійними зовнішніми поверхнями з наявністю невисоких ребер, що підсилюють, фланців, отворів, а також внутрішніми поверхнями простої форми. Типові вироби – кришки, фланці, муфти, колеса вагонеток. Найскладніші виливки відносять до шостої групи, яка характеризується криволінійними зовнішніми поверхнями, що мають ребра, кронштейни і фланці значної довжини, що перетинаються один з одним під різними кутами, а також внутрішні порожнини особливо складної конфігурації із утрудненими виходами на поверхню виливка. Типові вироби – станини спеціальних металорізальних верстатів, складні корпуси насосів, робочі колеса гідротурбін.

Найскладніші виливки можна отримати литтям у піщані форми, а литтям у кокіль виготовляють найбільш прості форми, також як і відцентровим литтям, яке, до того ж, використовують, як правило, для виготовлення виливків типу тіл обертання.

*Необхідні точність геометричних показників та якість поверхні*. Якщо обраний спосіб лиття забезпечує отримання виливків із заданою точністю розмірів і шорсткістю поверхні, це може виключити необхідність механічної обробки цієї поверхні і дозволити зберегти ливарну кірку, яка має підвищену твердість, втомну міцність і зносостійкість, що може бути виключно важливо для деяких видів виробів. До того ж високоточне лиття, що дає мінімальні припуски на механічну обробку, заощаджує метал та знижує загальну трудомісткість виготовлення. Однак при цьому збільшуються витрати на ливарне обладнання та оснащення, їх ремонт та обслуговування. Тому, строго кажучи, при виборі методу отримання виливка слід проводити техніко-економічний аналіз не одного (ливарного), а двох етапів виробництва – заготівельного (ливарного) та механообробного. При цьому може виявитися, що, незважаючи на дотримання основоположного принципу максимального підвищення КІМ і зниження обсягу механічної обробки, застосування більш складного і дорогого способу лиття буде економічно не вигідним.

Наведемо приклад, що пояснює. Припустимо, при отриманні виливки литтям у піщану форму її вартість становить 20 руб. Низька точність і чистота поверхні цього виду лиття спричиняють значний обсяг остаточної механічної обробки, вартість якої залишає 30 руб. Таким чином, у цьому випадку вартість деталі становитиме 50 руб. При використанні лиття по моделях, що виплавляються за рахунок значного підвищення точності і чистоти поверхні, а також зниження припусків втричі скорочується необхідний обсяг остаточної механічної обробки, вартість якої складе вже тільки 10 руб. Оскільки менше металу треба видаляти в стружку, то буде досягнуто і економія на металі, необхідному для даної деталі, яка складе, скажімо, 6 руб. Проте вартість виливки, отриманої литтям по моделях, що виплавляються в 2,8 рази перевищує вартість її отримання литтям в піщані форми, тобто. складе 56 руб. Таким чином, в цілому при використанні лиття по виплавлюваних моделях матимемо вартість деталі  $56 + 10 - 6 = 60$  руб. Отже, вироблена деталь стане на 10 рублів дорожче, тобто, незважаючи на отримання цілого ряду плюсів від заміни лиття в піщані форми на лиття за моделями, що виплавляються, в даному випадку така заміна буде економічно не вигідною.

*Технологічні властивості матеріалу виливки*. Допустимо, виливок за своєю формою та іншими показниками добре підходить для лиття в кокіль. Однак якщо її матеріал має високу усадку, то від лиття в кокіль доведеться відмовитися, щоб уникнути отримання непридатних виробів через тріщини та усадкові раковини. А при виготовленні виливки з високолегованої сталі, що характеризується низькою рідиною, зазвичай слід застосовувати лиття по моделях, що виплавляються, але не лиття в кокіль або піщану форму.

Іноді до одержуваних виливків пред'являють вимоги забезпечення певної, наприклад, рівномірної дрібнозернистої структури, що також диктує певний вибір способу лиття. Для унікальних спецвиробів (наприклад, космічного корабля) визначальною може бути економічна доцільність, а гарантоване отримання необхідних службових характеристик

деталі. У цьому випадку цілком можливе витратне виготовлення кокіля або прес-форми для виробництва лише одного виливка.

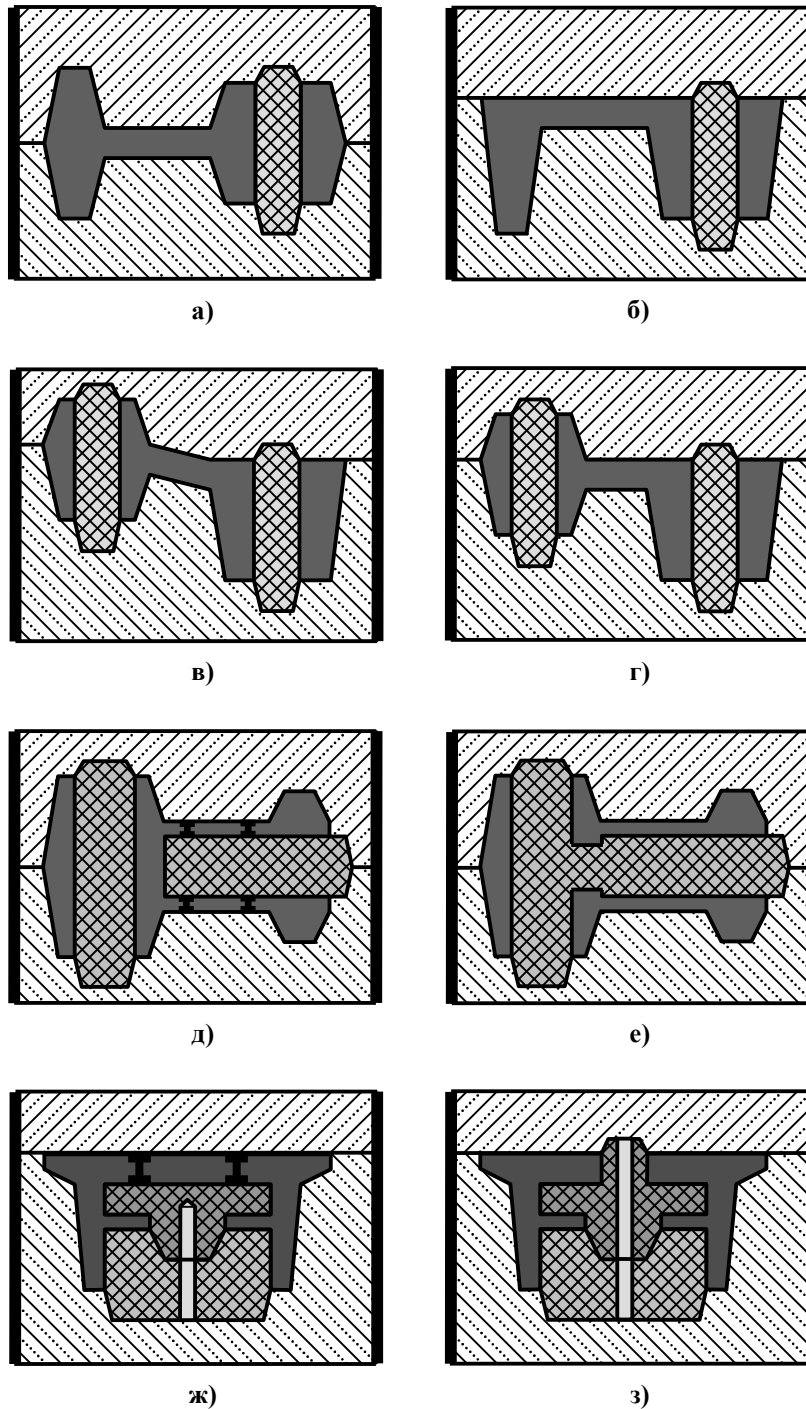
*Виробничі можливості підприємства*. Вибір способу отримання виливки в умовах конкретного підприємства, що діє, слід узгоджувати з його виробничими можливостями. Припустимо, підприємству необхідно виготовити 100 штук чавунних труб із фланцем, аналогічних показаній на рис. 3.20. Для цього найбільш добре підходить спосіб відцентрового лиття. Але в даного підприємства немає машини відцентрового лиття, немає вільних площ для її встановлення та немає персоналу, навченого роботі на такій машині, її обслуговування та ремонту. З іншого боку, невідомі перспективи подальшого виробництва аналогічних виробів, тобто. невідомо, чи буде машина відцентрового лиття використовуватись і надалі. Проте на підприємстві добре освоєно універсальне лиття в піщані форми. Тому в даному випадку буде раціональнішим виготовити необхідні виливки менш технологічним, але вже добре відпрацьованим способом лиття, ніж займатися вимаганням часу та засобів придбанням нового обладнання, пошуком площ для його розміщення, а також навчанням обслуговуючого персоналу.

Таким чином, вибір раціонального способу виготовлення виливків є багатокритеріальною задачею, оптимальне рішення якої залежить від багатьох конкретних факторів.

### **11.17. Технологічність конструкцій литих деталей**

При конструюванні технологічної виливки слід прагнути спрощення як її зовнішніх, і внутрішніх поверхонь. Бажано, щоб габаритні розміри виливки були мінімальними, особливо по висоті, тому що в іншому випадку утруднюється виготовлення ливарної форми. Мінімальна товщина стінок виливки повинна встановлюватись залежно від ливарних властивостей матеріалу та способу лиття.

Доцільно, щоб: 1) вся виливка могла бути розташована в одній напівформі (рис. 11.20- б), т.к. це спрощує формування, підвищує точність виготовлення, усуває ймовірність шлюбу по взаємному перекосу або усунення верхньої та нижньої половин виливки при виготовленні їх у різних напівформах (рис. 11.20-а); 2) форма виливки допускала використання форми з плоским роз'ємом (рис. 11.20- в), оскільки неплоский профільований роз'єм значно збільшує складність трудомісткості виготовлення піщаних форм, модельних плит, а також металевих форм; 3) форма виливки забезпечувала зручну установку та надійне кріплення стрижнів, а також мінімізацію їх кількості



**Рисунок 11.20 .** Приклади менш технологічні (ліворуч) і більше технологічних (праворуч) конфігурацій виливків :

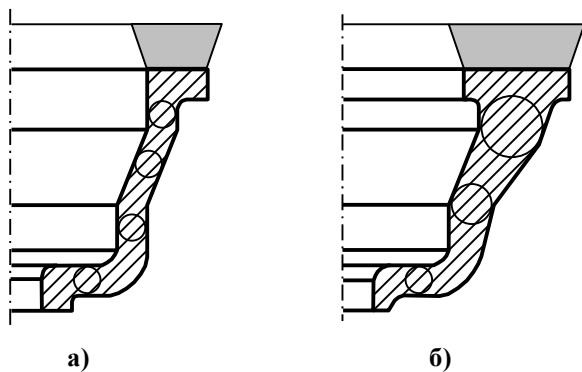
*a* – вилівок розташовується у двох напівформах; *б* - вилівок розташовується в одній напівформі; *в* – вилівок вимагає хорошого роз'єму форми; *г* – вилівок виготовляється з плоским роз'ємом форми; *д* – вилівок вимагає застосування двох окремих стрижнів та лошаток; *е* – вилівок виготовляється із застосуванням одного стрижня; *ж* – вилівок вимагає застосування лоша і перешкоджає виходу газів з вентиляційного отвору стрижнів; *з* – вилівок виготовляється без застосування лошаток та з вільним виходом газів з вентиляційного отвору стрижнів

(Рис. 11.20- *е* ), т.к. збільшення кількості стрижнів (рис. 11.20- *д* ) підвищує вартість їх виготовлення та трудомісткість їх встановлення, часто вимагає застосування лошат з властивими їм недоліками, підвищує ймовірність перекосу однієї порожнини щодо іншої при неточній установці будь-якого зі стрижнів; 4) форма вилівки у відповідних випадках не

тільки забезпечувала зручну установку та надійне кріплення стрижнів, а й вільний вихід газів з їх вентиляційного отвору (рис. 11.20- з ), оскільки в іншому випадку (рис. 11.20- ж ) зростає ймовірність шлюбу через газову пористість, а також зменшується доступ для подальшого видалення стрижня з підсередини верхньої порожнини.

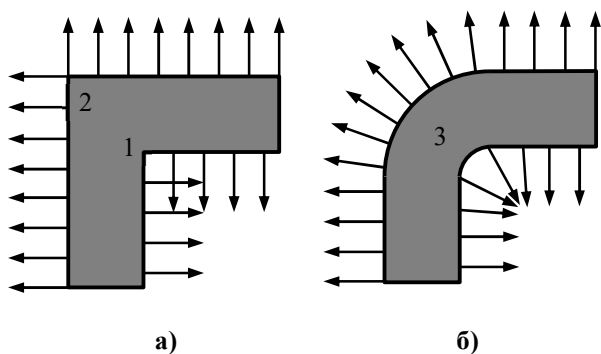
Бобишки, ребра, фланці необхідно конструювати так, щоб не ускладнювати вилучення моделі з форми; пази та вузькі порожнини бажано замінювати на інші конфігурації.

Мінімальні діаметри отворів, які доцільно отримувати у виливках при їх виготовленні в піщаних формах, слід вибирати в залежності від матеріалу оливи і товщини одержуваної стінки. Наприклад, для чавунних виливків при товщині стінки 10 мм мінімальний діаметр отвору, що отримується стрижнем, становить 8 мм, а при товщині стінки більше 10 мм– 20 мм.



**Рисунок 11.21.** Конструкції виливків, що забезпечують їх одночасне ( а ) та спрямоване ( б ) затвердіння

При конструюванні дрібних і середніх тонкостінних виливків доцільно застосовувати принцип одночасного затвердіння, який досягається рівномірною товщиною стінок; ділянка, що застигає останнім, підживлюється прибутком. При конструюванні виливків з підвищеними вимогами по щільності та герметичності, особливо з матеріалів з підвищеною усадкою, застосовують принцип спрямованого затвердіння, що досягається плавним збільшенням товщини стінок у напрямку установки прибутку.



**Рисунок 11.22 .** Нетехнологічна ( а ) та технологічна ( б ) конструкція кутового термічного вузла :

1 – застигання цього кута уповільнено через сильне нагрівання прилеглої ділянки форми перетином теплових потоків; 2 – застигання цього кута прискорене через одночасну тепловіддачу у двох взаємно перпендикулярних напрямках та зіткнення з мало нагрітою ділянкою форми; 3 – заокругленням кутів досягнуто більшої рівномірності теплових потоків уздовж поверхонь контакту виливки та форми

Для зниження усадкових та термічних напруг, а також ймовірності тріщиноутворення слід уникати термічних вузлів, які виникають у місцях нерівномірного розподілу теплових потоків, що йдуть від поверхонь виливки у форму. Для вирівнювання тепловідведення слід уникати різких змін напрямку контактних поверхонь виливка, тобто. потрібно такі частини виливки виконувати заокругленими. При цьому бажано, щоб товщини стінок на ділянках, що сполучаються, не відрізнялися більш ніж у 4 рази. Поєднання стінок, що відрізняються за товщиною менш ніж у 2 рази, виконують у вигляді жолобників, а при відмінності за товщиною в 2 рази і більше для підвищення плавності рекомендується виконувати перехід у вигляді жолобників з клиновим переходом .

Оскільки в масивних частинах можливе виникнення усадкових раковин і пористості , то потрібно прагнути створювати конструкції виливків з рівномірною товщиною стінок без великого скупчення металу в окремих місцях. Рівномірність товщини стінки та скупчення металу визначаються діаметром вписаного кола. Найкраще, якщо співвідношення діаметрів вписаних кіл у близько розташованих перерізах не перевищує 1,5.

Оскільки через теплове оточення зовнішніми стінками та меншою поверхнею

контакту з формою внутрішні стінки, полиці та ребра твердіють із меншою швидкістю, то для забезпечення одночасності затвердіння з метою запобігання утворенню ливарних дефектів рекомендується зменшувати товщину внутрішніх елементів на 10...30% порівняно з товщиною зовнішніх.

Виникнення залишкових напруг, короблення і тріщин у виливках барабанів, зубчастих коліс, маховиків, шківів і рукояток вентилів пов'язане з різною швидкістю охолодження обода, маточини і дисків або спиць, що з'єднують їх. Для зниження усадкової напруги і запобігання тріщиноутворення і короблення доцільно плоскі з'єднувальні елементи замінювати конічними або іншої неплоскої форми. З опору матеріалів відомо, що прямолінійний брус, навантажений осьовими стискаючими силами, працюватиме тільки на стиск і в цьому випадку чинитиме великий опір деформації. Але якщо вісь бруса вигнута, то крім стискаючих сил на брус діятимуть і згинальні моменти, що викликають більші переміщення, ніж простий стиск. Таким чином, неплоські сполучні елементи будуть володіти значно більшою радіальною податливістю, ніж плоскі, і тому будуть чинити значно менший опір усадці потужнішого зовнішнього обода. Крім того, досвід показує, що при заливанні похилих щілин покращується виведення газів з форми, тобто. знижується ймовірність утворення газових раковин чи пористості.

При необхідності виготовлення виливків типу коліс зі спицями, наприклад, маховиків або рукояток вентилів, у разі виконання спиць прямими рекомендується, щоб кількість спиць була непарною. При парному числі спиць слід виконувати їх вигнутими. Крім того, для додаткового збільшення податливості доцільно робити спиці похилими і зменшувати їх товщину в площині вигину сил усадки, тобто. робити їх поперечні перерізи овальними, а при призначенні для роботи під великим навантаженням – двотавровими. Крім цього, для зменшення усадкового тиску з боку обода можна виконувати його поперечний переріз у вигляді полегшеної кільцеподібної форми.