

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ



В.С. ХРИЧКОВ, О.В. МЕНЯЙЛО

**ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО
ЧОРНИХ ТА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Дніпропетровськ НМетАУ 2015

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 1/11-5831 від 18.04.2014)

Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.

Містить матеріали по теоретичних і технологічних основах ливарного виробництва, особливостям отримання виливків з різних ливарних сплавів в піщану форму, спеціальними видами лиття, а також найбільш характерних виливків для металургійного виробництва.

Призначено для студентів металургійного і машинобудівного профілю, що знайомляться з основами спеціальності – Ливарне виробництво.

Іл. 97. Табл. 7. Бібліогр. 14 назв.

Содержит материалы по теоретическим и технологическим основам литейного производства, особенностям получения отливок из различных литейных сплавов в песчаную форму, специальными видами литья, а также наиболее характерных отливок для металлургического производства.

Предназначено для студентов металлургического и машиностроительного профиля, которые знакомятся с основами специальности – Литейное производство.

Contains material on theoretical and technological bases of foundry, especially those obtained from various castings foundry alloys in sand mold, special types of casting, as well as the most typical castings for metallurgical industry .

Designed for students of metallurgical and machine-building industry who are familiar with the basics of specialty - Foundry.

Рецензенты:

А.В. Гресс, докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри «Ливарного виробництва чорних та кольорових металів» Дніпродзержинського державного технічного університету.

О.И. Пономаренко, докт. техн. наук, проф. кафедр ливарного виробництва Національного політехнічного університету «ХПІ».

Н.Е. Калинина, докт. техн. наук, проф. кафедри технології виробництва фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету.

Друкується за авторською редакцією.

© Національна металургійна
академія України, 2015

© Хричиков В.Е., Меньяло Е.В. 2015

ЗМІСТ

1. ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВКІВ	4
2. ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ	9
2.1 Дерев'яні моделі	9
2.2 Технологія швидкого прототипування (Rapid Prototyping)	10
3. ФОРМУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І СУМІШІ	12
4. ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ І СТРИЖНІВ	17
5. ШИХТОВІ І ПЛАВИЛЬНІ ДІЛЯНКИ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ	23
5.1 Шихтові ділянки	23
5.2 Вагранка	24
5.3 Тигельні індукційні печі	26
5.4 Електродугові печі	27
6. ЛИВАРНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ	28
6.1 Рідкотекучість	28
6.2 Гази в сплавах	29
6.3 Неметалеві вкраплення	30
6.4 Модифікування	31
6.5 Усадка	32
6.6 Надливи	34
6.7 Ліквация (сегрегація) у виливках	35
6.8 Напруження та тріщини у виливках	37
6.8 Літникові системи	38
7. ТВЕРДІННЯ, ОХОЛОДЖУВАННЯ І ВИБИВАННЯ ВИЛИВКІВ	40
8. ВИРОБНИЦТВО ВИЛИВКІВ ІЗ РІЗНИХ СПЛАВІВ	44
8.1 Чавунні виливки	44
8.1.1 Виливки із чавуну з пластинчастим графітом (із сірого чавуну)	44
8.1.2 Виливки із ковкого чавуну	45
8.1.3 Виливки із високоміцного чавуну (з кулястим графітом) ...	46
8.1.4 Виливки із чавуну з вермикулярним графітом	49
8.1.5 Виливки із білого і вибіленого чавуну	50
8.2 Сталеві виливки	51
8.2.1 Виливки із конструкційної нелегованої (вуглецевої) стали	53

8.2.2 Виливки із конструкційної легованої сталі	54
8.2.3 Виливки із легованих сталей із спеціальними властивостями	54
8.3 Виливки із сплавів кольорових металів	54
9. СПЕЦІАЛЬНІ ВИДИ ЛИТТЯ	58
9.1 Лиття в оболонкові форми	59
9.2 Лиття по моделях, що виплавляють (ЛВМ)	60
9.3 Лиття в кокіль	61
9.4 Облицьований кокіль	62
9.5 Відцентрове литво	62
9.6 Електрошлакове литво	63
9.7 Лиття з кристалізацією під тиском (рідке штампування)	64
9.8 Лиття під тиском (ЛПТ)	64
9.9 Лиття вичавлюванням	66
9.10 Лиття в заморожені форми	66
9.11 Лиття з випліскуванням (виливом)	66
9.12 Лиття в магнітні форми (по газифікованих моделях)	67
9.13 Лиття в керамічні форми (Шоу процес)	67
9.14 Лиття під низьким тиском	67
9.15 Лиття вакуумним всмоктуванням	67
9.16 Лиття з протитиском	68
9.17 Лиття наморожуванням (рідке прокатування)	68
9.18 Лиття безперервним наморожуванням	68
9.19 Безперервне лиття	69
10. ВИЛИВКИ ДЛЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ	71
10.1 Виробництво литих прокатних валків	71
10.2 Виробництво виливниць	77
10.3 Дефекти виливків і причини їх утворення	80
11. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ	82
Література	85
Додаток А. Розробка технології виробництва чавунного литва по кресленню деталі	86
Додаток Б. Особливості виробництва художніх і ювелірних виливків ...	88

1 ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВКІВ

Лиття - це процес отримання виробів (виливків) з розплавлених металів, гірських порід, шлаку, скла, пластмаси і ін. Ми вивчаємо тільки лиття металів.

Виливок (1 на рис. 1.1) - це заготовка або деталь, яку отримують заливанням розплаву у ливарну форму. Ливарна форма є системою елементів, що створюють робочу порожнину (8), після заливання якої рідким металом формується виливок. Ливарний стрижень (9) - елемент ливарної форми для отримання отвору, порожнини або іншого складного контуру у виливку. Моделний комплект – комплект формоутворювальних виробів, необхідний для утворення під час формування робочої порожнини ливарної форми. Комплект містить: модель ливарну (модель виливка - 3), стрижньовий ящик (2), моделі литникової системи, шаблони.

Литникова система - це система каналів та елементів ливарної форми для підведення рідкого металу в порожнину форми, забезпечення її заповнення і живлення виливків при твердінні. Вона складається з приймальної лійки (18), стояка (12), шлаковловлювача (15), живильника (16) і випору (17). Шлаковловлювач забезпечує затримання шлаку та засмічувачів і подачу рідкого металу зі стояка до живильників. Опока (7) – пристрій для утримання формувальної суміші при виготовленні форми, транспортування і заливання її рідким металом.

Лиття в наші дні стійко зберігає своє значення як найбільш дешевий і ефективний спосіб отримання деталей і заготовок в машинобудуванні, металургії, будівельній індустрії, сільськогосподарському машинобудуванні, при виробництві автомобілів, тепловозів, прокатних станів, літаків і космічних кораблів. Досить відзначити, що трактор на ~60% складається з литих деталей, турбіна – на 70-80%, екскаватор і дизель на ~80%, верстат - на 80-90%. Має свої особливості технологія виготовлення литих стоматологічних і ортопедичних протезів, художнє і ювелірне лиття.

Перші виливки первісною людиною були одержані із золота, срібла або їх сплавів більше 10 тисяч років тому. Обумовлено це тим, що для відновлення з руд цих металів досить енергії багаття (Au_2O_3 - 25 кДж/г-моль Ag_2O – 46 кДж/г-моль). Римський поет Лукрецій в I столітті до нашої ери в поемі «Про природу мов» описав суть отримання виливків: після пожежі розплавлений метал збирався в заглибленнях землі, а потім тверднув, зберігаючи конфігурацію западини. Металевий блиск привертав людей і «...навіював ту думку, що розплавивши метали, можна у форму будь-яку вилити і будь-яку надати їм фігуру».

Сплави із золота і срібла мають низькі твердість і зносостійкість. Тому їх використання обмежувалося виготовленням прикрас і ритуальних фігурок (рис. 1.2). Причому, як показали розкопки, ливарні форми, найчастіше зустрічаються

в похованнях жінок. Можна припустити, що в період матріархату першими ливарниками були, в основному, жінки.

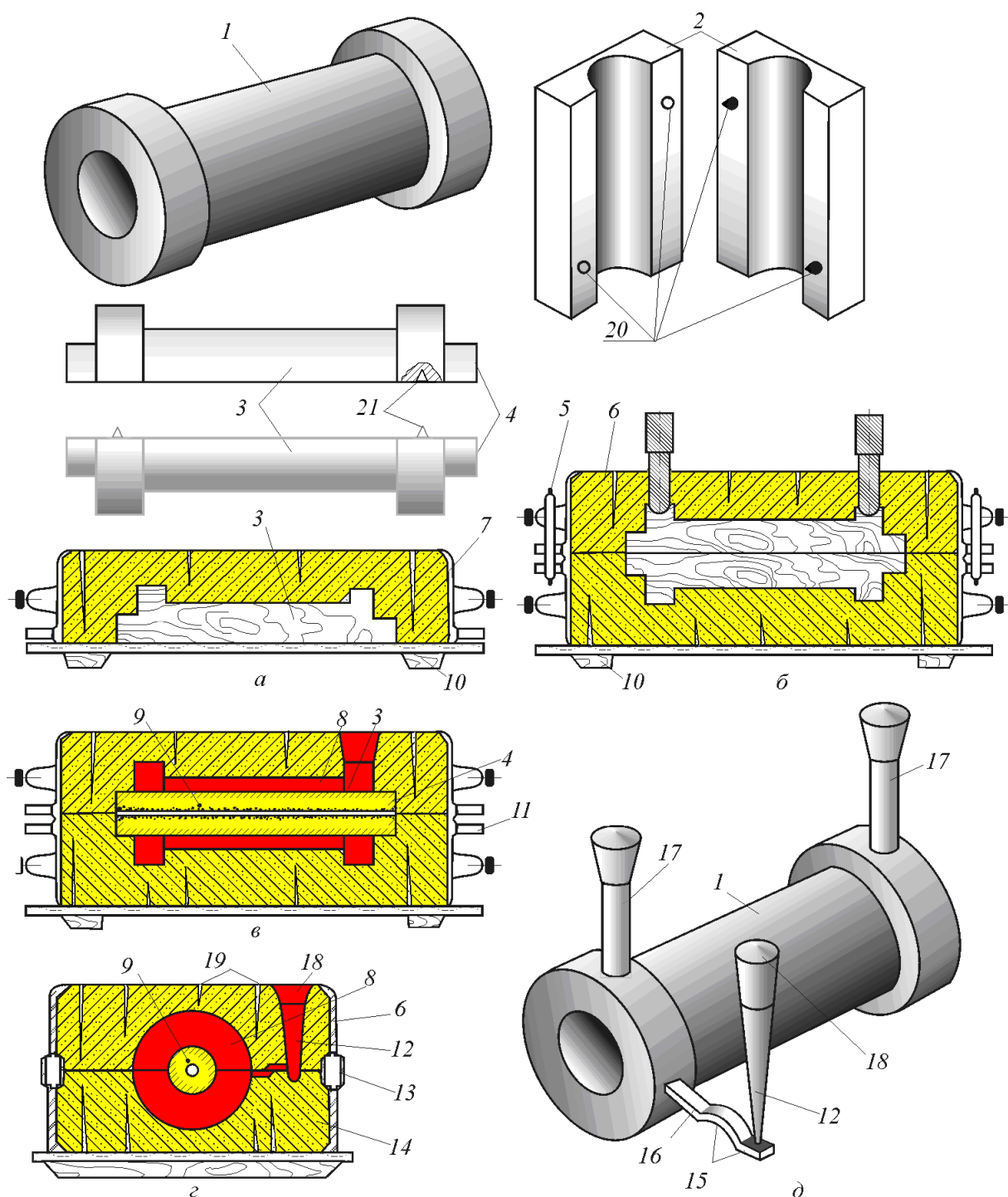


Рис. 1.1. Послідовність виготовлення виливка „Втулка” з сірого чавуну:

1 - виливок; 2 - стрижньовий ящик; 3 - дерев'яна модель; 4 - стрижньові знаки; 5 - штирі; 6 - верхня півформа; 7 - опока; 8 - порожнина форми; 9 – стрижень; 10 - підмодельна плита; 11 – вушко з центрувальною втулкою; 12 - стояк; 13 - кріпильні скоби; 14 - нижня півформа; 15 - шлаковловлювач; 16 - живильник; 17 - випір; 18 - лійка; 19 – наколювання (вентиляційні отвори); 20, 21 – центруючі пристрої стрижньового ящика і моделі

Сплави міді і олова людство почало використовувати 3-5 тис. років до нашої ери. Для їх відновлення достатньо 168 і 570 кДж/г-моль, відповідно. З'явилися перші печі, або іншими словами зросла енергоозброєність металургів. Бронзу, як твердіший і зносостійкий сплав, використовували для виготовлення наконечників стріл і списів, мечів й сокир (рис. 1.3 і 1.4). Відливали нескладні предмети домашнього вжитку і прикраси: казани, умивальники, сережки, каблучки, хрести тощо.

Перед початком нової ери з появою хутра, яке інтенсифікувало процес горіння деревного вугілля і підвищило температуру у печі, людство почало освоювати виробництво виробів із заліза (817 кДж/г-моль).

Лише у середині XIX століття було розпочато виробництво алюмінію (1689 кДж/г-моль), у XX столітті з'явилися технології отримання сплавів нікелю, титану, молібдену, вольфраму, магнію та ін.

Промислове виробництво виливків почало розвиватися з появою гарматної артилерії. Італійські майстри, на службі у французького короля, вперше показали ефективність використання мідних литих гармат в 1324 р. при взятті фортеці непокірного васала. Тому на гарматах французького королівства відливали слова: «Останній довід короля».

У 1479р. у Москві почав працювати гарматно-ливарний завод (Гарматна хата) під керівництвом італійських майстрів, в якому також виготовляли дзвони, казани, церковне начиння та ін. А вже в царювання Івана III (1462 – 1505 рр.) російська лита артилерія була наймогутнішою в світі. Пам'ятником мистецтва і майстерності ливарників є Царгармата (відлита в 1586 р. її маса складає 40 т, довжина стовбура 5,34 м, калібр 89 см, автор -



Рис. 1.2. Золота голова бика з інкрустацією (Стародавній Шумер, близько XXVI в. до н.е.)

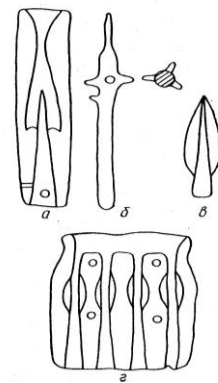


Рис. 1.3. Частина ливарної форми (а), стрижень (б) скіфського бронзового наконечника, стріли (в) і половинка передскіфського чотиримісного кокілю (г)

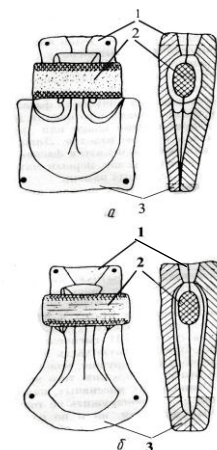


Рис. 1.4. Кам'яні форми ливарень стародавньої Грузії: а – бердиша; б – сокири; 1 – литник, 2 – стрижень, 3 – кам'яна форма

Андрій Чохов), Цар-дзвін (1735 р. маса 205 т, автор - Іван Моторін), Мідний вершник (1775 р, маса 21,6 т, автор - Е.М. Фальконе), монумент Т.Г. Шевченко в м. Харкові (1935 р. загальна висота 16,5 м, автор – М.Г. Манізер) та інші витвори мистецтва.

На території України в ранній період трипільські племена володіли куванням і знали лиття у відкриті форми: відливали тесаки і різні заготовки для подальшого кування. Одним з якнайдавніших центрів металургії є Карпати.

Бронзове століття в Україні почалося на початку III ст. до н.е. У могильниках Північного Причорномор'я XXIV-XX ст. до н.е. виявлені виливки з арсенистої та олов'яної бронзи (плоскі сокири, долота, ножі, кинджали, шила і ін.). На початку другого тисячоліття до н.е. в районі сіл Маївка і Соколово Дніпропетровської області виробляли вушкові сокири, знайдені ливарні форми – найдавніші з тих, що збереглися в Україні.

На зорі зародження металургії професії гірника і металурга були суміщені, як і професії коваля та ливарника. Секрети металургії знали лише декілька чоловік з племені. Вони вважалися обранцями духів вогню, що вручили їм право перетворювати камені на метал.

Зі зростанням обсягів виробництва відбувся розподіл праці в професії ливарника на різні спеціальності (модельник, формувальник, стрижневик, заливальник і т. ін.). Так, в Стародавній Греції (VI-IV ст. до н. е.) вже існували окремі організації ливарників, що виготовляли тільки художні бронзові статуї.

В порівнянні з іншими технологічними процесами отримання готових виробів або заготовок ливарне виробництво має наступні переваги:

1. Мінімальні припуски на механічне оброблення; відходи в стружку при виготовленні виробу з прокату досягають ~75%; з штампованих заготовок ~50%; із сталевих виливків ~30-40%; з чавунних виливків ~20%. При отриманні виробів спеціальними видами лиття відходи - мінімальні або відсутні.

2. Короткий і дешевий цикл виробництва виливків.

3. Великий діапазон деталей за розмірами і масою, їх висока якість.

До недоліків ливарного виробництва можна віднести:

1. Відносно низьку продуктивність праці, обумовлену малою серійністю виробництва.

2. Порівняно високий брак при отриманні складних виливків.

3. Відносно високу вартість окремих способів отримання виробів – сталеві виливки в 2,0-2,5 рази дорожчі за прокат.

Перспективи ливарного виробництва полягають в подальшій спеціалізації і автоматизації виробництва, розробці і впровадженні нових технологічних процесів, реконструкції тих, що діють, і будівництві нових ливарних цехів.

Об'єм виробництва в світі фасонних виливків зі всіх сплавів складає ~80-90 млн. т. Україна в 1990 р виробляла ~5 млн. т виливків у рік, а у теперішній

час - менше ніж 1,0 млн. т. Технологія лиття може бути реалізована різними способами, кількість яких понад 50. Найбільш поширеною (~80%) є технологія лиття в разові піщані форми (ПФ). Послідовність виробництва виливків в ПФ полягає в наступному:

1. Розробка технології виробництва виливків за кресленням деталі.
2. Виготовлення модельного комплекту.
3. Підготовка формувальних матеріалів, сумішей, виготовлення частин форм і стрижнів, складення ливарних форм.
4. Підготовка шихтових матеріалів, плавлення і заливання розплаву у форму.
5. Охолодження металу і вибивання виливків з форми.
6. Обрубкування і очищення виливків (відрізання літників, надливів, видалення пригару).
7. Термічна оброблення виливків.
8. Виправлення дефектів і контроль якості.

Основні технологічні процеси виробництва виливків з чорних і кольорових металів розглянуті в наступних розділах.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення терміну «виливок».
2. Дайте визначення терміну «ливарна форма»?
3. Дайте визначення терміну «ливарний стрижень».
4. Дайте визначення терміну «модельний комплект».
5. З яких елементів складається литникова система, і що вона забезпечує?
6. Дайте визначення терміну «опока».
7. З яких елементів складається ливарна піщана форма, що підготовлена до заливання розплавом?
8. З яких металів були одержані перші виливки первісними людьми і чому саме з цих металів, а не інших?
9. Першими ливарниками були чоловіки чи жінки?
10. З яких матеріалів виконували ливарні форми первісні люди?
11. У яких місцях на планеті відбулося зародження металургії і що сприяло цьому?
12. Які переваги має ливарне виробництво в порівнянні з іншими технологічними процесами отримання заготовок?
13. Які недоліки має ливарне виробництво в порівнянні з іншими технологічними процесами отримання заготовок?
14. Дайте визначення терміну «ПФ».
15. Перерахуйте послідовність виробництва виливків в ПФ.

2 ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ

Моделі або модельні комплекти (МК) класифікують: за матеріалом, класом точності й за конструктивними ознаками. За родом матеріалу МК поділяють на дерев'яні, металеві і неметалеві (пластмасові, гіпсові, пінополістиролові, воскові і ін.). Клас точності МК встановлюють залежно від необхідної розмірної точності виливків. Наприклад, для вилівка 9 класу розмірної точності умовне позначення точності металевої моделі: точність МК5 – метал ГОСТ 3212-92.

2.1 Дерев'яні моделі

Основним матеріалом для виготовлення МК при одиничному і дрібносерійному виробництві виливків є деревина (сосна, ялина, береза, дуб і ін.), при крупносерійному і масовому – алюмінієві сплави, чавуни, сталі, пластмаси. У дерев'яних моделях, призначених для серійного виробництва, частини, що найбільш зношуються, виготовляють з металу або облицьовують їх листовим металом (армують). Для облицьовування моделей використовують також деревину твердих порід: буку, ясена, клена, груші і ін.

Приклад виготовлення дерев'яної моделі циліндрового зубчастого колеса представлений на рис. 2.1.

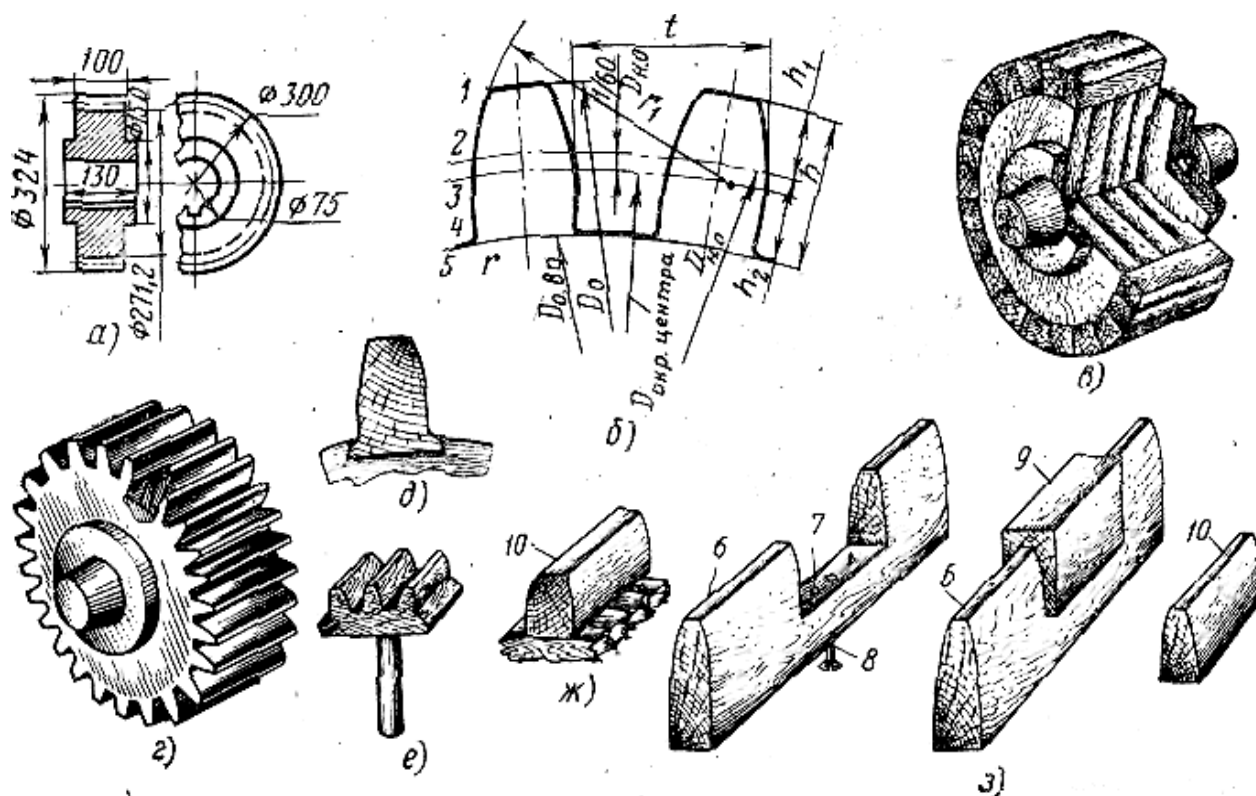


Рис. 2.1. Схема виготовлення дерев'яної моделі циліндрового зубчастого колеса:

а - креслення деталі, б - побудова профілю зуба на модельному щитку, в - заготівка моделі після обробки на токарному верстаті, г - модель, д - кріплення зуба на ободі врізанням, е - шаблон для виправлення зубів у формі, ж - кріплення зуба на ободі приклеюванням, з - колодочка для виготовлення зубів

Склеювання різних частин моделі проводять так чином, щоб шари деревини знаходилися в протилежному напрямі. Це підвищує міцність і запобігає викривленню дерев'яних моделей в процесі експлуатації у вологій атмосфері і при формуванні по-вологому. Крім того, всі дерев'яні моделі шпаклюють і фарбують.

Моделльні комплекти зберігають в модельному складі, розташованому поблизу модельного цеху або ділянки. Відносна вологість повітря повинна складати 55-60%, температура 10-20 °С.

При машинному формуванні моделі закріплюють на підмодельних плитах по спеціальних отворах і штирях, так що після формування півформи низу і верху точно співпадають при складанні форм.

Зменшення вартості пластмас зумовило збільшення виробництва ливарних моделей з цих матеріалів. Вони не коробляться у вологій атмосфері, мають меншу трудомісткість у виготовленні, довговічніші, не вимагають великих витрат при зберіганні. При виробництві пластмас для ливарних моделей в початковий полімер вводять отверджувачі, наповнювачі, стабілізатори, каталізатори і прискорювачі. Каталізатори і прискорювачі вводять в деякі види пластмас для прискорення процесів твердіння. Стабілізатори – речовини, що підвищують стійкість пластмасових деталей до дії тепла, світлової і променевої радіації, води, рідких і газоподібних середовищ. Основними недоліками пластичних мас є обмежена теплостійкість - не вище 350-400 °С, та відносно виска собівартість.

2.2 Технологія швидкого прототипування (Rapid Prototyping)

Прогресивним методом швидкого формоутворення моделей є технологія швидкого прототипування (Rapid Prototyping RP) – це пошаровий синтез чи пошарове «виращування» моделі чи готового виробу безпосередньо по електронним даним – комп'ютерної CAD-моделі. Схема процесу наступна:

- 3D проектування деталі або її прототипу в будь-якій CAD-системі.
- Комп'ютерна оптимізація ливарних технологічних параметрів, розрахунки литниково-живлючих систем, припусків на механічне оброблення, твердіння виливків тощо.
- Пошарове розділення 3D моделі на сукупність 2D моделей.
- Розробка програм, що управляють, для лазера і матеріалізація твердотільної моделі.

Переваги RP технології: швидкість, точність, зменшення затрат при виготовленні дослідних та одиничних образків, відсутність спеціального оснащення, мінімальний обсяг ручної роботи. Наприклад, технологія лазерної стереолітографії ґрунтується на фотополімеризації лазерним промінням світлочутливої смоли. Рідкий пластик твердіє тільки в тому місці, де пройшов лазерний промінь. Процес пошарового нарощування повторюється до завершення побудови моделі.

Інший метод формоутворення заснований на вирізанні променем лазера контуру перетину моделі на папері або пластику. Потім відбувається пошарове

приклеювання двовимірних контурів і утворювання тривимірної моделі. Недосконалість цієї системи є необхідність наступного доведення поверхні моделі: шліфування, полірування, захисту від вологи. Точність конфігурації поверхні моделі визначається товщиною використовуваного паперу.

Для масштабної копії художнього або ювелірного виробу використовують лазерний сканер з метою отримання "хмари точок" і CAD моделі.

Різні варіанти технології RP дозволяють виконувати моделі: з порошкових матеріалів за рахунок ефекту спікання за допомогою енергії лазерного променя; нанесенням розплавленого матеріалу за допомогою багатоструминних головок (по типу струминних принтерів, рис. 2.2); пошаровим нанесенням ниткоподібного полімеру; пошаровим «склеюванням» частинок порошкоподібних матеріалів за допомогою сполучного складу, що подається через струминну голівку.



а



б

Рис. 2.2. Комп'ютерна CAD модель (а) і воскова модель (б), побудована нанесенням розплавленого воску за допомогою багатоструминних головок (по типу струменевих принтерів)

процесом. Тому в кожному конкретному випадку необхідно робити техніко-економічну оцінку застосування методу отримання ливарної моделі або промоделі.

Для виробництва моделей і прес-форм широко використовуються також верстати типу обробний центр.

Використання порошків деяких сплавів в якості матеріалу при селективному лазерному спіканні дозволяє отримувати відразу готові вироби з високою чистотою поверхні і необхідними фізико-механічними властивостями. Однак технологія виробництва дисперсних порошків сплавів поки ще є дорогим і трудомістким



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Перерахуйте основні матеріали, з яких виготовляють модельні комплекти.
2. Який найбільш поширений матеріал застосовують для виготовлення МК при одиничному і дрібносерійному виробництві виливків?
3. Які особливості зберігання дерев'яних МК?
4. Які особливості склеювання дерев'яних моделей? Що забезпечує такий метод склеювання?
5. Які переваги мають пластмасові перед дерев'яними МК?
6. У чому полягають особливості методу швидкого формоутворення моделей (Rapid Prototyping – швидке прототипування)?
7. У чому полягають переваги і недоліки методу швидкого прототипування?

3 ФОРМУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І СУМІШІ

У всьому світі ~80% виливків виготовляють в разових піщаних ливарних формах. Нижче наведені основні терміни даного розділу.

Формувальна суміш - багатокомпонентна суміш формувальних матеріалів, відповідно до умов технологічного процесу виготовлення неметалевих ливарних форм. До вихідних формувальних матеріалів відносять: піски, зв'язуючи, допоміжні матеріали, протипригарні покриття.

Стрижньова суміш - багатокомпонентна суміш формувальних матеріалів, відповідно до умов технологічного процесу виготовлення неметалевих ливарних стрижнів.

Облицювальна суміш - формувальна або стрижньова суміш для виготовлення робочого шару форми або стрижня. Наповнювальна суміш - формувальна або стрижньова суміш для заповнення форми або стрижньового ящика після нанесення на модель облицювальної суміші. Єдина суміш - формувальна або стрижньова суміш, що використовується одночасно як облицювальна і наповнювальна суміш. Відпрацьована суміш - формувальна або стрижньова суміш, що використовувалася в технологічному процесі отримання виливків.

Формування по-сухому - формування, за якого всі частини форми або їх частина перед складанням сушать. Формування по-вологому - формування, за якого сушінню можуть піддаватися тільки стрижні. Вологість формувальної суміші, як правило ~3,0-4,5%.

Норми витрати формувальних сумішей для отримання 1 тонни придатних виливків складають від 6 до 12 тонн. Як вогнетривку основа сумішей найчастіше використовують кварц ($\text{SiO}_2 - t_{\text{пл}}=1710^\circ\text{C}$), рідше – циркон (2430-2450 $^\circ\text{C}$), дистен-силліманіт (~1880 $^\circ\text{C}$), графіт (~3850 $^\circ\text{C}$), корунд (~2054 $^\circ\text{C}$), магнезит (~2000 $^\circ\text{C}$), хромистий залізняк, металеві порошки. Формувальні піски на основі кварцу поділяють на збагачені і природні. Природні формувальні піски залежно від масової частки глинистої складової поділяють на кварцові - до 2% глинистої складової, худі - від 2 до 12%, жирні - від 12 до 50%.

Класифікують кварцові і худі піски за: масовою часткою глинистої складової, масовою часткою діоксиду кремнію, коефіцієнтом однорідності і середнім розміром зерна. Жирні піски класифікують по: межі міцності при стисненні у вологому стані і середньому розміру зерна.

Зернова фракція піску, що має розмір <0,02 мм, відноситься до глинистої складової, яку перед визначенням зернового складу відмочують. Потім пісок висушують і визначають його зерновий склад, просіваючи через набір сит з квадратними отворами, сторона яких складає, мм: 2,5; 1,6; 1; 0,63; 0,4; 0,315; 0,2; 0,16; 0,1; 0,063; 0,05.

Основною фракцією піску вважається найбільша сума залишків на трьох суміжних ситах. Піски із зосередженою зерною структурою (не менше 70% маси піску після розсівання знаходиться на трьох суміжних ситах) використовують для приготування формувальних і стрижньових сумішей при виробництві відповідальних крупних, середніх і дрібних чавунних і сталевих виливків. Піски з розосередженою зерною структурою застосовують для отримання невідповідальних виливків.

Для з'єднання частинок піску і забезпечення необхідної міцності ливарних форм і стрижнів використовують зв'язуючі матеріали (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Класифікація та назва основних типів зв'язуючих матеріалів у ливарному виробництві

Група	Питома міцність зв'язуючого, МПа / % (кгс/см ² /%)	Характер твердіння	Клас того, що пов'язує (назва)		
			А	Б	В
1	> 0,5 (> 5)	Необоротний	А-1 (неводорозчинні, розчинні масла; оліфа і ін.)	Б-1 (водорозчинні, синтетичні смоли М-3, МФ-17 і ін.)	В-1 (рідке скло, кремнезоль, фосфати, алюмінати)
2	0,3-0,5 (3-5)	Проміжний	А-2 (нафтові масла 4ГУ(п), ГТФ, УСК-1, ЗИЛ)	Б-2 (комбіновані на основі ЛСТ, СП, декстрину, крохмаліт)	В-2 -
3	< 0,3 (< 3)	Оборотний	А-3 (БТК, каніфоль, деревний пек)	Б-3 (полісахариди, ЛСТ, патока, гідрол)	В-3 (глина, цемент, гіпс)

Глина - основний зв'язуючий матеріал в ливарному виробництві. Формувальні глини поділяють на бентонітові, каолінові з каолино-гідрослюдистими і полімінеральні. Максимальні пов'язуючі властивості мають бентонітові глини, мінімальними - полімінеральні.

Всі зв'язуючі матеріали повинні мати мінімальну газотвірність. Газотвірність - здатність формувальної суміші виділяти гази при нагріванні унаслідок виділення вільної і зв'язаної вологи і утворення газоподібних продуктів термічної деструкції зв'язуючого.

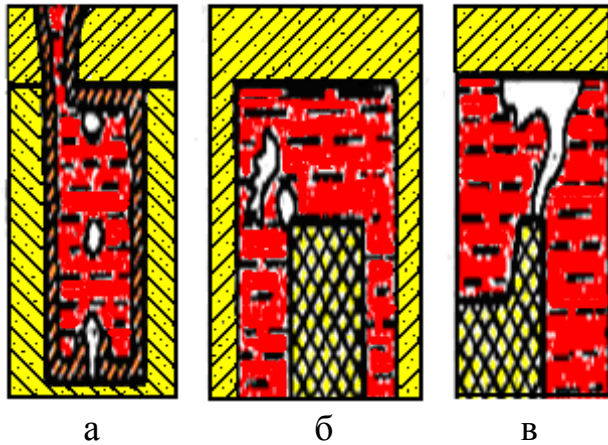


Рис. 3.1. Схеми утворення газових дефектів у виливку:

а – у формі в період твердіння металу;
б – від стрижня; в – свинець від стрижня

До найважливіших властивостей формувальних і стрижньових сумішей відносять: міцність при стику і розтягу, твердість і обсіпання, живучість та ін. Живучість - максимальний час зберігання готової суміші без часткової втрати загальної і поверхневої міцності форми в порівнянні з міцністю, яку має суміш, ущільнена відразу після приготування.

Для контролю якості стрижньової суміші після сушіння досліджують обсіпання - схильність суміші до руйнування поверхневого шару при стиранні.

Твердість суміші – це властивість ущільненої суміші чинити опір деформації при впровадженні в неї індентора.

Визначення твердості на поверхні форми або стрижня дозволяє без руйнування якісно оцінити міцність методом порівняння з критеріями, виробленими практикою для даного технологічного процесу.

Приготування формувальних сумішей (рис. 3.3) проводять в ливарних змішувачах (бігунах). В процесі змішування необхідно дотримувати послідовність подавання з дозаторів сипких матеріалів. Спочатку вводять пісок, зворотну формувальну суміш, вугілля, бентоніт і інші добавки, потім рідкі компоненти - воду, бентоні-

Вірогідність утворення газових дефектів (рис. 3.1) із-за формувальної суміші оцінюють за критерієм М - відношенням газотвірності ($\text{см}^3/\text{г}$) до газопроникності.

Газопроникність піску - здатність піску пропускати через себе повітря. У ливарних цехах контроль газопроникності всіх приготованих формувальних і стрижньових сумішей проводять на приладах (рис. 3.2), заснованих на проходженні 2000 см^3 повітря через стандартний циліндровий зразок ($\varnothing 50$ і висотою 50 мм) ущільненої суміші.

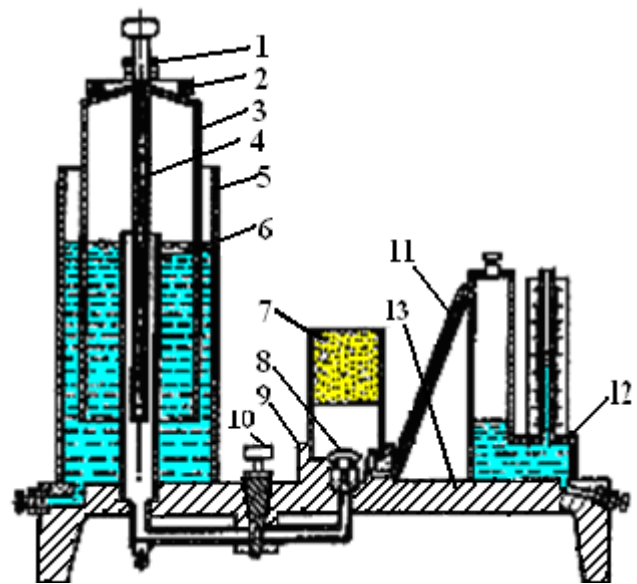


Рис. 3.2. Схема приладу для визначення газопроникності формувальних і стрижньових сумішей:

1 – ручка для піднімання дзвону; 2 – вантаж; 3 – дзвін для акумуляції 2000 см^3 повітря; 4 – металевий стрижень; 5 – бак з водою; 6 – трубка направляюча; 7 – зразок формувальної суміші; 8 – ніпель; 9 – кріплення патрона з досліджуваною сумішшю; 10 – триходовий кран; 11 – повітропровід; 12 – водяний манометр; 13 – станина

тову суспензію і лише наприкінці - технологічні добавки (крохмалисті, ПЛР і ін.).

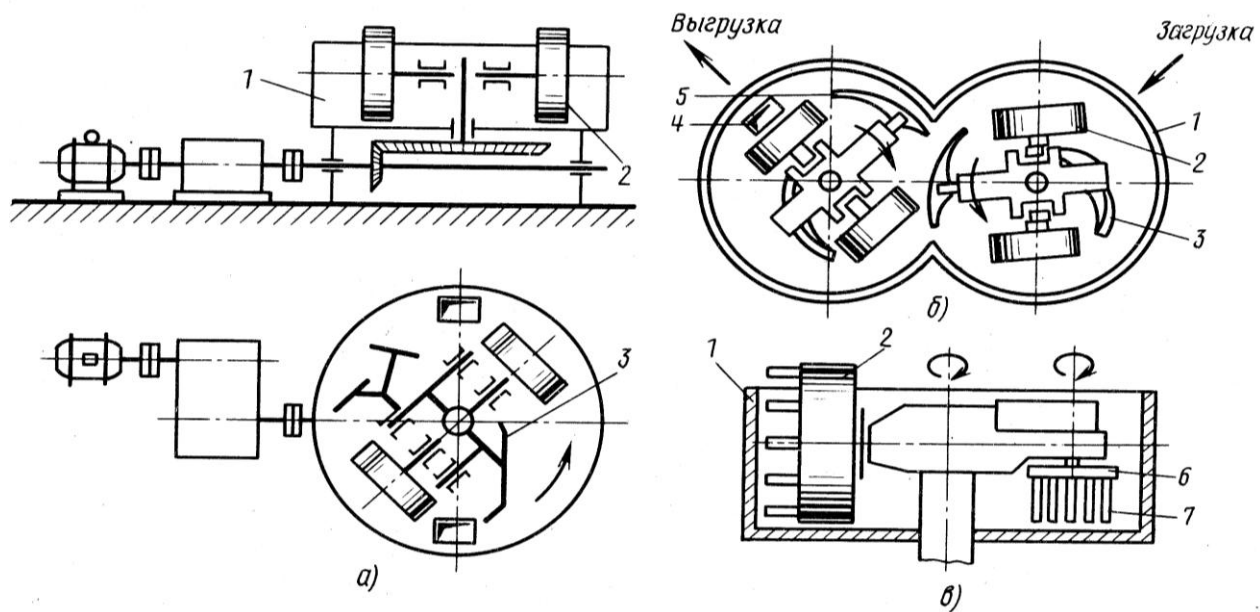


Рис. 3.3. Схеми ливарних змішувачів (бігунів) з вертикально обертальними катками періодичної (а) і безперервної (б) дії і змішувачів з вертикальним катком і відцентровим роздільником (в)

Тривалість змішування залежить від виду суміші (єдина, облицювальна, наповнювальна), типу змішувача і складає від 1 до 13 хвилин. Приготовану суміш передають до бункерів-відстійників, а потім на ділянку формування.

ХТС – скорочена назва хімічно твердіючих сумішей. У якості зв'язуючого в ХТС застосовують неорганічні (ортофосфорна кислота, цемент, гіпс) і органічні (лігносульфонати, синтетичні смоли) речовини. Обсяг виробництва стрижнів з ХТС безперервно росте, оскільки вони забезпечують за короткий проміжок часу отримання тонкостінних стрижнів з високою міцністю і хорошим вибиванням. Недоліком ряду ХТС є використання в пов'язуючих композиціях фенолу, який є канцерогеном.

Оболонкові стрижні і форми, звичайно, виготовляють по гарячому оснащенню. Температура нагріву стрижньових ящиків 220-300 °С залежить від виду зв'язуючого. Поширюється технологія виготовлення стрижнів в теплих ящиках (Warm-box) з температурою нагріву ~150 °С.

Рідкорухомі самотверднучі суміші (РСС) – формувальні суміші, що поєднують в собі властивості рідини, що дозволяють одержувати стрижні і форми вільним заливанням і тверднути на повітрі в заданий проміжок часу. Основним зв'язуючим в РСС – є рідке скло, а утворювачем – ферохромовий шлак. Текучість РСС забезпечують поверхнево-активні піноутворюючі речовини, які створюють умови для «ковзання» між піщинками. У ливарних цехах використовують також сипкі і пластичні формувальні суміші. Їх ущільнення здійснюють на вібростолах.

Найбільш характерним дефектом виливків при отриманні їх в піщаних формах є пригар - складновідділений металокерамічний або керамічний шар на поверхні виливків. Металокерамічний шар пригару утворюється за високої пористості формувальної суміші і проникненні рідкого металу у пори.

Керамічний шар утворюється в результаті плавлення формувальної суміші через наявності в неї легкоплавких компонентів (оксидів лужних і лужноземельних металів), місцеве розігрівання струменем металу, що заливається, через неправильно обрану литникову систему, змочування металом формувальної суміші. Одним із методів запобігання утворенню пригару є захист поверхні форми ливарною фарбою.

Ливарні фарби – рідкі суспензії з вогнетривких матеріалів і розчинників, що наносяться на поверхню ливарної форми, або стрижня. За видом розчинника фарби поділяють на водні і неводні (гідролізний спирт, бензин і ін.). Залежно від вогнетривкого наповнювача фарби поділяють на кислі (пилоподібний кварц, дистен-силліманіт), нейтральні (циркон), основні (магнезит, тальк) і вуглецеві. Невеликі добавки пов'язуючих матеріалів забезпечують кращу криючу здатність і седиментаційну стійкість ливарних фарб. У ливарні фарби, часто вводять матеріали допоміжного призначення: поверхнево-активні речовини, диспергатори, антисептичні добавки.

Наприклад, для середніх і крупних виливків з чавуну рекомендують фарбу такого складу: графіт захованокришталевий – 89,2%, графіт кришталевий – 3,3%, бентоніт – 3,1%, сульфідна барда – 3,3%, крохмаліт – 1,1%, вода – понад 100% до густини 1,28-1,30 г/см³.

Ливарні фарби, окрім підвищення чистоти поверхні виливків забезпечують термостійкість металевих форм (кокілів), знижують розпал їх поверхонь.

До допоміжних матеріалів і складів в ливарних цехах відносять: припили, розділяльні мастила і напівпостійні покриття для оснащення, клеї для ремонту і склеювання стрижнів і форм, мастики для виправлення дефектів форм, стрижнів і виливків, гніт для утворення вентиляційних каналів в стрижнях, екзотермічні суміші для надливів, теплоізоляційні матеріали і склади, зокрема у вигляді засипок на дзеркало металу в ковшах і надливах, вогнетривкі матеріали для ливарно-металургійного припасу.

Дія високих температур на компоненти суміші обумовлює їх зміну. Так, глиниста складова починає дегідратувати при 400 °С, а при 600 °С процес стає необоротним і глина втрачає пов'язуючу здатність. Тому регенерація (відновлення) суміші є частиною технологічного процесу в ливарних цехах і дозволяє багато разів використовувати основну масу піску.

Найпростіша схема процесу регенерації включає: відділення відпрацьованої суміші на вибивних ґратах, магнітну сепарацію, послідовне грохочення суміші через сито з розміром осередків 6х6 мм і добавки свіжих компонентів в кількості 5-10%.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення терміну «формувальна суміш».
2. Що відносять до вихідних формувальних матеріалів?
3. Дайте визначення терміну «стрижньова суміш».
4. Які основні відмінності єдиної, облицювальної і наповнювальної сумішей?
5. Яка витрата формувальної суміші необхідна для виробництва однієї тонни виливків?
6. Який вихідний матеріал використовують якнайчастіше у якості вогнетривкої основи формувальних сумішей?
7. Залежно від масової частки глинистої складової як підрозділяють природні формувальні піски?
8. Який розмір зернової фракції піску відносять до глинистої складової?
9. Що таке основна фракція піску при просіюванні на ситах?
10. Який матеріал є основним зв'язуючим в ливарному виробництві?
11. Які формувальні глини застосовують в ливарному виробництві?
12. Дайте визначення терміну «газотвірність формувальної суміші».
13. Для чого необхідна газопроникність формувальної суміші?
14. Які основні фізико-механічні властивості формувальних і стрижньових сумішей необхідно знати, щоб, регулюючи їх властивості, отримати якісні виливки?
15. Назвіть устаткування, в якому змішують формувальні суміші в ливарних цехах?
16. Дайте визначення терміну «ХТС».
17. Дайте визначення терміну «РСС».
18. Дайте визначення терміну «пригар».
19. Назвіть основний метод запобігання утворенню пригару на виливках?
20. Назвіть основні завдання, які виконують ливарні фарби?
21. Які матеріали відносять до допоміжних матеріалів і складів в ливарних цехах?
22. Що забезпечує регенерація формувальної суміші в ливарних цехах?

4 ВИГОТОВЛЕННЯ ФОРМ І СТРИЖНІВ

Процес виготовлення ливарних форм, і стрижнів називається формуванням. Для формування стрижнів не використовують, як правило, регенеровані суміші, які повернені у виробництво. Високі вимоги до якості стрижньових сумішей обумовлені тим, що стрижень з усіх боків оточений розплавленим металом, за винятком знакових частин.

Розрізняють формування в ґрунті, опочне і безопочне. Для виливків масою більше 10 т, як правило, формування здійснюють в ґрунті (рис. 4.1) або кесоні - поглибленні в ґрунті, стінки якого укріплені цеглиною або залізобетоном для запобігання проникненню підґрунтових вод.

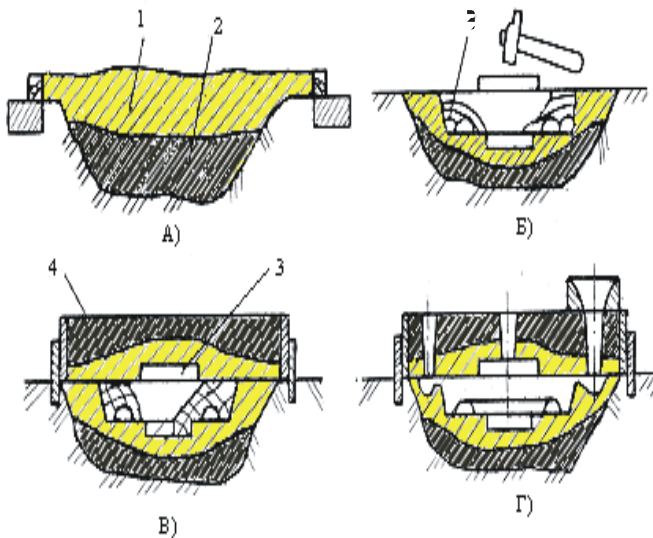


Рис. 4.1. Схема формування в ґрунті по м'якому ліжку:

а – заповнення ями облицювальною 1 і наповнювальною 2 формувальними сумішами; б – осадження моделі 3; в – формування верхньої півформи; г – складена форма

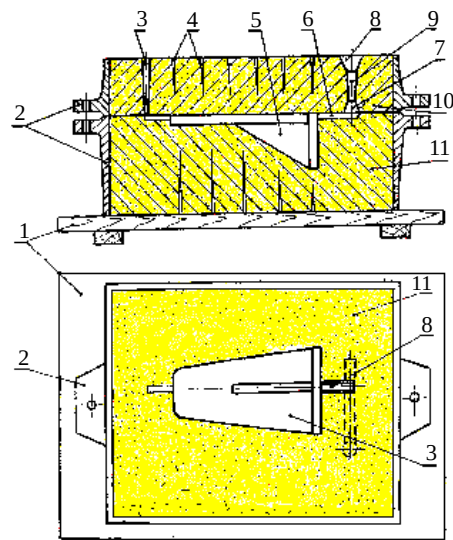


Рис. 4.2. Схема ливарної форми при формуванні по нероз'ємній моделі:

1 – підмодельна плита; 2 – верхня і нижня опоки; 3 – випір; 4 – вентиляційні канали; 5 – порожнина форми; 6 – живильник; 7 – шлаковловлювач; 8 – литникова воронка; 9 – стояк; 10 і 11 – верхня і нижня півформи

Формування в опоках - продуктивніше, дозволяє зменшити припуски на механічну обробку, механізувати трудомістку ручну працю. Основні види формування: по роз'ємній і нероз'ємній моделі (рис. 4.2), з підрізуванням (рис. 4.3), з фальшивою опокою, з перекидним бовдуром, по моделі з відмученими частинами (рис. 4.4), за шаблоном (рис. 4.5, 4.6), по скелетних моделях, в стрижнях, в шматках та ін.

Основні способи ущільнення формувальних сумішей на машинах: струшуванням (рис. 4.7а), струшуванням з підпресовуванням (рис. 4.7б), пресуванням, пресуванням

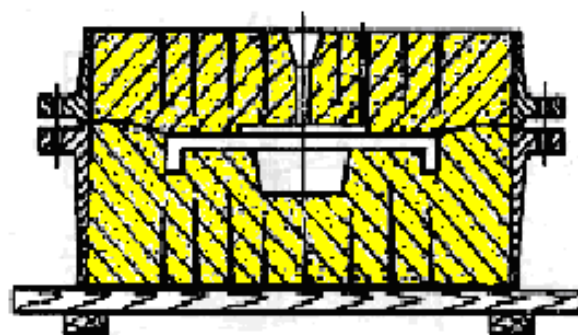


Рис. 4.3. Схема ливарної форми, при формуванні по нероз'ємній моделі з підрізуванням

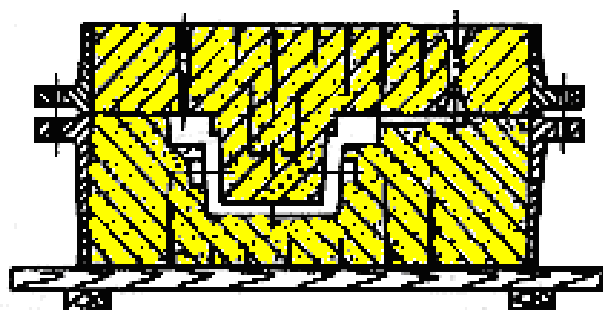


Рис. 4.4. Схема ливарної форми при формуванні по нероз'ємній моделі з відлученими частинами

Мінімальний цикл виготовлення форми має імпульсний спосіб, за якого ущільнення формувальної суміші здійснюють різким імпульсом (до 0,012 с) газу або твердого тіла із швидкістю 6-8 м/с. Ударну хвилю створюють за допомогою порошкоподібного заряду, газоповітряної горючої суміші або стислого повітря з тиском 980-2000 кПа. Піскострільний і піскодувний способи для переміщення формувальної суміші в модельне оснащення використовують енергію стислого газу, а спеціально виконані вентилі забезпечують відведення газу в атмосферу (див. рис. 4.9 і 4.10). Ущільнення формуваної суміші на машинах струшуванням (див. рис. 4.7) або піскометом (див. рис. 4.8) менш продуктивно і не забезпечує мінімальних припусків на виливках.

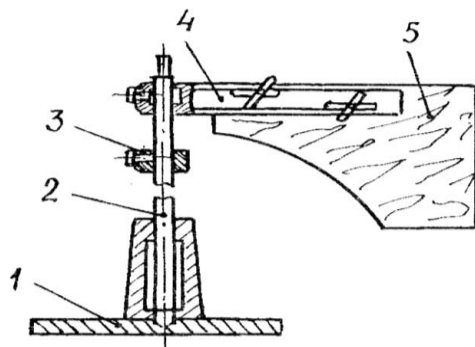


Рис. 4.5. Схема пристрою для формування за шаблоном обертання:
1 – хрестовина, 2 – шпиндель, 3 – стопорне кільце, 4 – поворотний рукав, 5 – дерев'яний шаблон

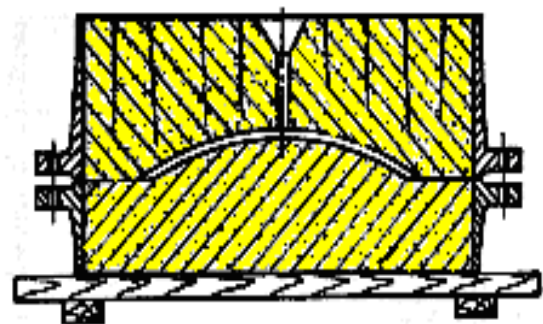


Рис. 4.6. Схема ливарної форми, при формуванні за шаблоном з вертикальною віссю обертання

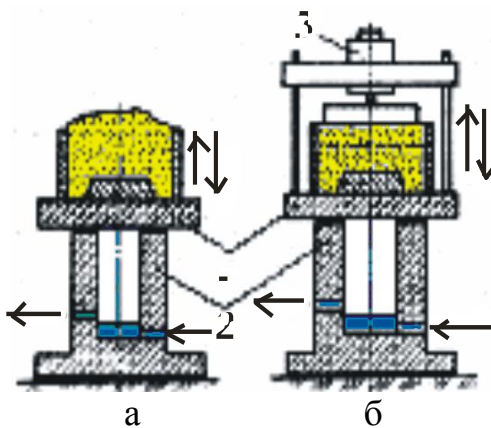


Рис. 4.7. Схеми ущільнення формувальної суміші:
а – струшуванням; б – струшуванням з одночасним пресуванням; 1 – стіл, що струшує, з модельно-опочним оснащенням; 2 – циліндр столу; 3 – пресовий циліндр

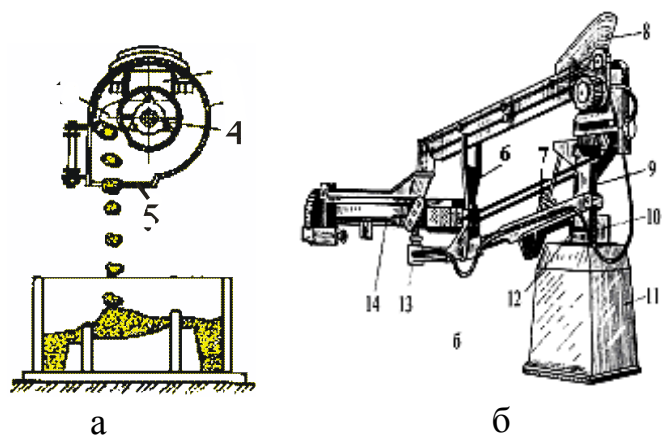


Рис. 4.8. Станціонарний рукавний піскомет (б) і схема його роботи (а):

1 - металеві ковші; 2 - робоче вікно; 3 - кожух головки; 4 - робочий вал; 5 - металеві головки; 6 - стійка; 7 - циліндр підйому великого рукава; 8 - приймальна лійка; 9 - вертикальна колона; 10 - упор; 11 - станина; 12 - стійка великого рукава; 13 - вісь повороту малого рукава; 14 - малий рукав

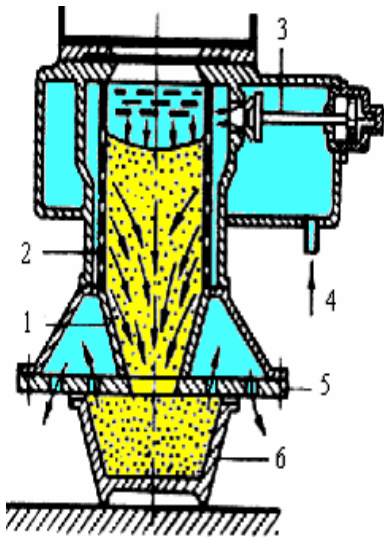


Рис. 4.9. Схема пісководувної машини:
1 - надувна плита, 2 - заслінка, 3 - резервуар з сумішшю, 4 - мішалка, 5 - вентиляційна плита, 6 - стрижньовий ящик

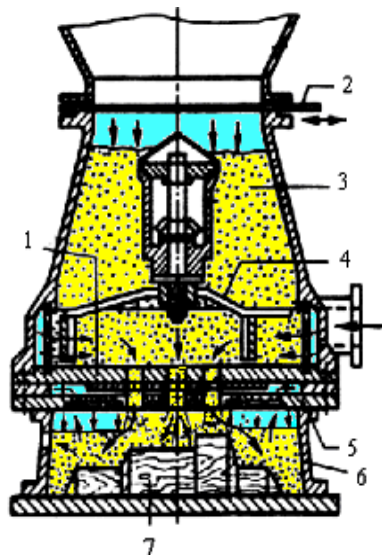


Рис. 4.10. Схема піскострільної стрижньової машини:
1-насадка на прямню; 2-щілинна гільза; 3-швидкодіючий клапан; 4-стисле повітря; 5-надувна плита; 6-опока; 7-модель

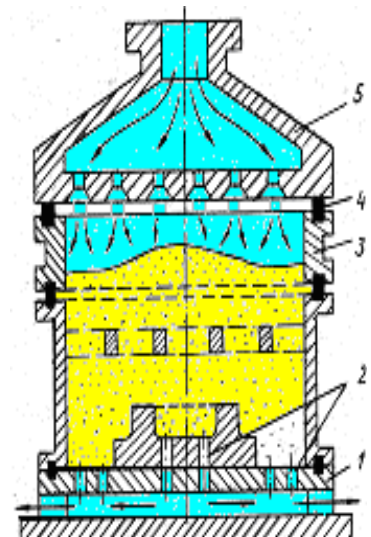


Рис. 4.11. Схема ущільнення формувальної суміші імпульсним способом:
1 - модельна плита; 2 - венті; 3 - рамка; 4 - ущілювачка; 5 - головка

Ефективним і економічним способом виробництва ливарних форм, є вертикальностопова (рис. 4.12) і горизонтальностопова формування (рис. 4.13). Останнє розроблено фірмою «DISA» і дозволяє на мінімальних площах ливарного цеху піскострільно-пресовим способом проводити декілька сотень форм за годину.

Сучасним способом формоутворення в ливарному виробництві є вакуумно-плівкове формування (V-процес) – формування в опоках по постійних моделях з сухим піском без зв'язуючого. Пісок спресовується і утримується в опоці за допомогою вакууму і синтетичної полімерної плівки (рис. 4.14). Вінілацетатна плівка завтовшки 0,075 мм і температурою плавлення 58°C нагрівається (а) і за рахунок вакууму щільно прилягає до модельного оснащення (б, в). Після установки опоки з вакуумованими порожнинами і засипки кварцевого піску (г), верхню її частину накривають плівкою і створюють вакуум (д). У такий спосіб пісок зберігає конфігурацію моделі за рахунок вакууму між нижньою і верхньою плівками (е). Подальший технологічний процес не відрізняється від раніше даних способів. Ефективним методом отримання точних виливків в серійному виробництві є лиття по газифікованих моделях. Модель виготовляють зі вспіненого полістиролу з густиною до 10 кг/м^3 . Для цього використовують прес-форми. Випалювання моделі з форми забезпечує заповнення розплавленим металом спочатку нижньої частини форми і поступове піднімання рівня розплаву до рівня газовідвідних каналів.

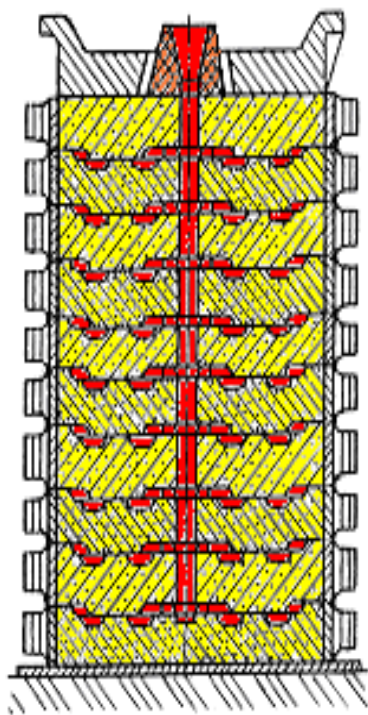


Рис. 4.12. Схема, вертикальноstopової форми

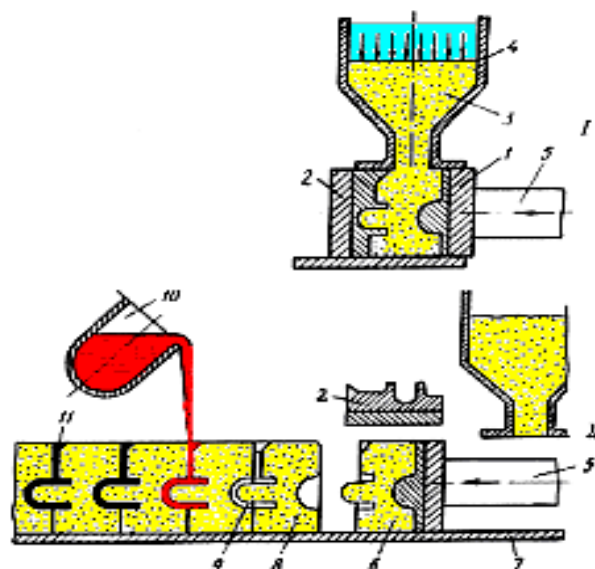


Рис. 4.13. Схема горизонтальноstopового формування (автоматична лінія «DISA»):

1, 2-формувальна камера з модельними плитами; 3-формувальна суміш; 4-резервуар стислого повітря; 5-пресовий плунжер; 6, 8-грудка суміші; 7-плита напрямна; 9-порожнина форми; 10-ливарний ківш; 11-затверділі виливки

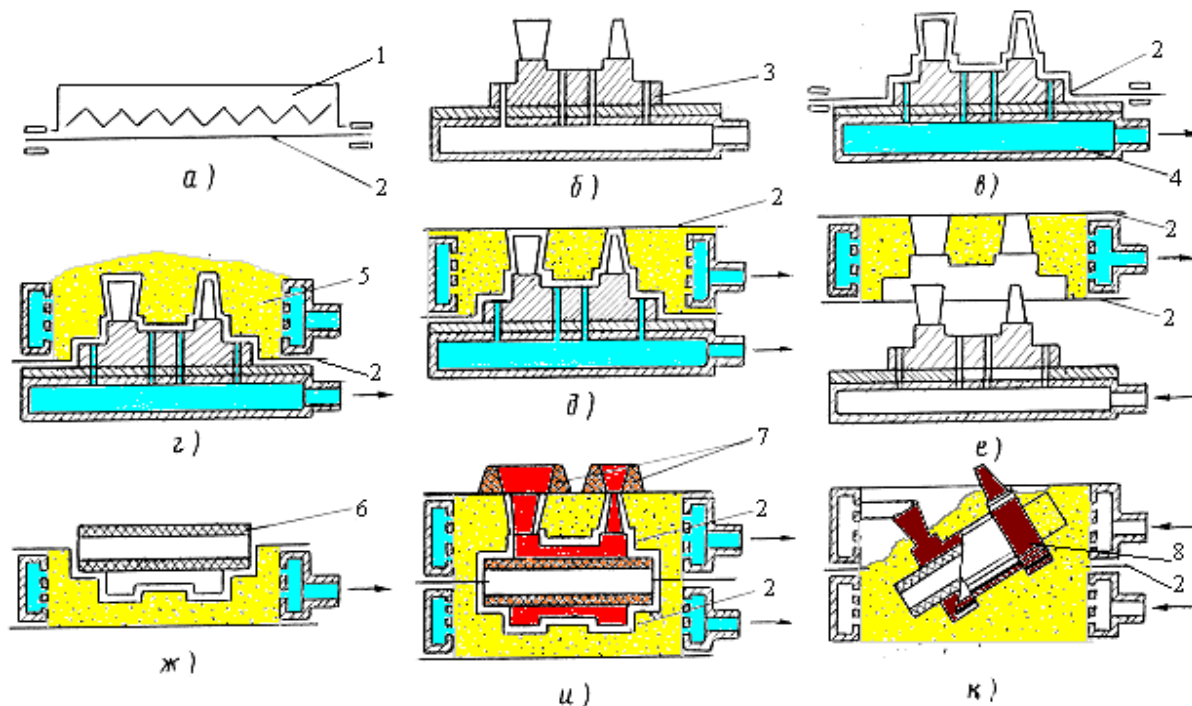


Рис. 4.14. Схема вакуумно-плівкового формування:

а – нагрівання плівки; б – модельне оснащення; в – обтягування плівкою модельного оснащення; г – установка опоки і засипання її піском; д – накриття опоки плівкою і вакуумування; е – протягання моделі; ж – установка в нижню півформу стрижня; и – заливання форми металом; к – вибивання виливка; 1 – нагрівальний пристрій; 2 – плівка; 3 – модель з каналами; 4 – плита з вакуумними порожнинами; 5 – суміш; 6 – стрижень; 7 –литникова лійка та надлив; 8 – виливки

Можливість утворення пригару в місцях установки стрижнів і утрудненість видобування стрижнів з виливків – одне з «вузьких» місць в ливарному виробництві. Крім того, стрижень повинен «втрачати» свою міцність після утворення міцного затверділого шару металу на його поверхні і не гальмувати усадку сплаву, який твердіє. Інакше можливо утворення напружень, тріщин або викривлення виливків.

Виготовлення стрижнів здійснюють на стрижньових машинах різних конструкцій, в яких ущільнення суміші проводять способами, приведеними вище. Наприклад, на рис. 4.15 наведена схема стрижньової мундштучної машини. Ущільнення суміші в ній проводять пресуванням в змінному оснащенні (мундштуку) з діаметром від 18 до 100 мм.

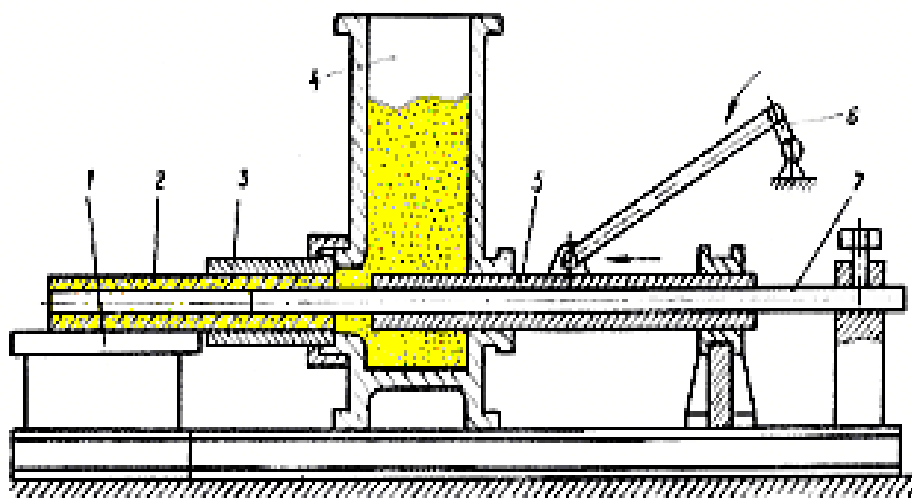


Рис. 4.15. Стрижньова мундштучна машина:

1 – приймальний стіл; 2 – стрижень; 3 – мундштук; 4 – бункер з сумішшю; 5 – рухомий порожнистий бункер; 6 – кривошипно-шатунний механізм; 7 – нерухомий пруток

При масовому та багатосерійному виробництві стрижні виготовляють на автоматизованих багатопозиційних або карусельних піскодувних або піскострільних стрижньових машинах. Затвердіння суміші відбувається в гарячих або холодних стрижньових ящиках. Цикл виготовлення стрижнів невеликої маси складає декілька десятків секунд. Виробництво оболонкових стрижнів з використанням холоднотвердіючих сумішей є одним з найекономічніших і прогресивніших методів формотворення.



ПИТАННЯ ДЛЯ СОМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення терміну «формування».
2. Які види формування Вам відомі?
3. У чому полягає особливість ущільнення формувальної суміші за допомогою піскомета?
4. У чому полягає особливість ущільнення формувальної суміші імпульсним способом?
5. У чому полягає особливість горизонтальноstopового формування та вертикальноstopового формування?
6. Стисло опишіть спосіб вакуумно-плівкового формування?

7. У чому полягає особливість піскострільного способу формування?
8. У чому полягає особливість піскодувного способу формування?
9. У чому полягає особливість лиття по газифікованих моделях?
10. У чому полягає особливість затвердіння суміші в гарячих або холодних стрижньових ящиках?

11.3 яких причин видобування стрижнів з виливків є одним з «вузьких» місць в ливарному виробництві?

12. Чому стрижень повинен «втрачати» свою міцність після утворення міцного затверділого шару металу на його поверхні і не гальмувати усадку сплаву, який твердіє?

5. ШИХТОВІ ТА ПЛАВИЛЬНІ ДІЛЯНКИ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ

5.1 Шихтові ділянки. Вихідні шихтові матеріали (чушкові чавуни, лом, феросплави, кокс, флюси), формувальні піски, глини, вогнетриви поступають на шихтову ділянку залізничним або автомобільним транспортом.

Шихтові матеріали складають в засіки або контейнери, а у міру потреби їх перенавантажують в добові бункери. Перед використанням деякі матеріали проходять сортування, дроблення до необхідних розмірів або класифікацію. Так, на рис. 5.1 приведена схема щічної дробарки, на рис. 5.2 – валкової дробарки, на рис. 5.3 – установки для сушки піску в киплячому шарі, на рис. 5.4 – барабанного сита, що обертається.

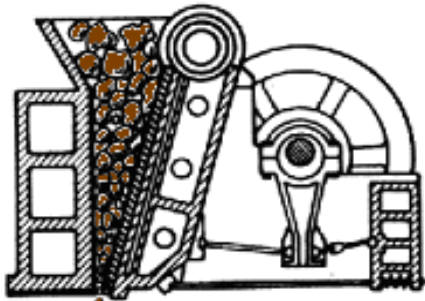


Рис. 5.1. Схема щічної дробарки



Рис. 5.2. Схема роботи валкової дробарки



Рис. 5.3. Схема установки для сушки піску в киплячому шарі

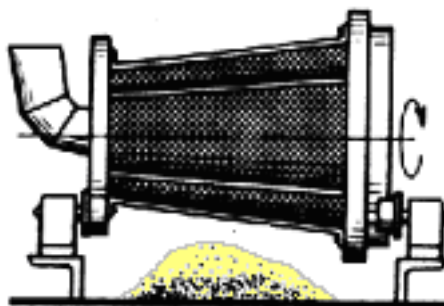


Рис. 5.4. Схема барабанного сита, що обертається

Для забезпечення заданого хімічного складу металу проводять розрахунок компонентів шихти з урахуванням чаду хімічних елементів та інших втрат ме-

талу (скрапу, зливів), встановлюють послідовність завантаження в піч компонентів шихти, температурно-тимчасові режими плавки і заливки. З добових бункерів шихту завантажують в баддю за допомогою тракових живильників. Баддю встановлена на ваговому візку так, що оператор дозує необхідну кількість матеріалів. Потім баддю передають в плавильне відділення і завантажують в печі.

Для плавки чавуну застосовують печі: вагранки, електропечі (індукційні, рідше дугові), полум'яні печі. Для плавки стали – дугові, мартенівські, індукційні печі, конвертори; для плавки кольорових сплавів – електропечі і полум'яні печі.

5.2 Вагранка – шахтна піч безперервної дії, що є одним з основних плавильних агрегатів чавуноливарних цехів. По виду використовуваного палива вагранки поділяють на коксові, коксогазові і газові.

Розрізняють вагранки відкриті - з вільним виходом вагранкових газів в атмосферу за рахунок природної тяги і закриті - з примусовим відсмоктуванням газів через систему очищення. По виконанню вагранки можуть бути з повітряним дуттям без підігріву і з підігрівом дуття до 350-550 °С.

Вагранка має високий коефіцієнт корисної дії – 35-40% при холодному дутті, і до 45% при використанні підігріву дуття. Витрата коксу 10-16% від маси металеві шихти при холодному дутті і 8-14% при гарячому. Температура чавуну на випуску від 1350 до 1480 °С.

Найбільшого поширення набули коксові вагранки відкритого типу з повітряним дуттям без підігріву і з копильником, в якому зкоплюється і усереднюється за хімічним складом розплавлений чавун (рис. 5.5).

Завантаження зважених компонентів шихти у вагранку проводять через вікно для завалення 10 за допомогою бадді 11. За чого, паливо (ливарний кокс з розміром шматків 50-100 мм), флюси (вапняк) і металеву шихту (доменний чавун різних марок, лом чавуну і стали, браковані виливки, литники, брикетована стружка і феросплави) завантажують окремими порціями (колошами), виключаючи їх перемішування.

У нижній частині шахти вагранки знаходиться холоста коксова колоша, горіння якої забезпечується дуттям повітря через фурмені коробки 7 і фурми 6. Висота холостої коксової колоші підтримується постійною за рахунок поповнення коксу з робочої паливної колоші, що опускається донизу.

Високий коефіцієнт корисної дії вагранки обумовлений ефектом хімічної протитечії: тепло, що утворюється за рахунок згорання палива, піднімається вгору і нагріває шихту, що опускається вниз. Розплавлений метал краплями стікає на під печі (лещадь) 15 і через перехідну лютку 16 потрапляє в копильник 18. З копильника через лютку 19 чавун поступає в роздавальний ківш 20 і за допомогою монорельсу прямує на розливну ділянку.

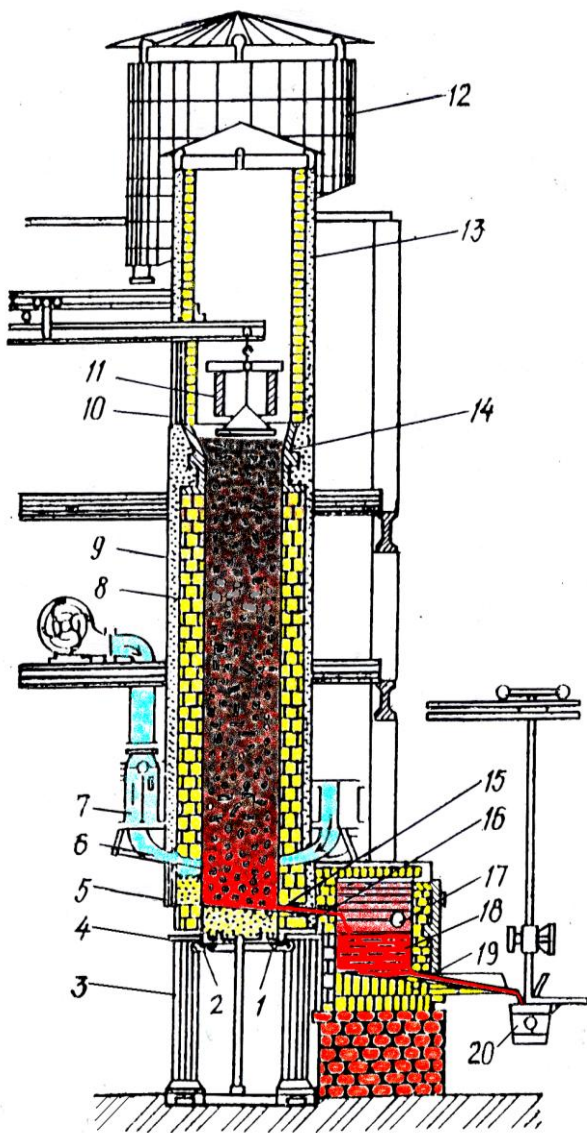


Рис. 5.5. Схема коксової вагранки відкритого типу з повітряним дуттям без підігріву:

1, 2 - стулки відкидного днища; 3 - опорні колони; 4 - черенева плита; 5 - робоче вікно; 6 - фурми вдувні; 7 - фурмені коробки; 8 - футерування (вогнетривка цеглина); 9 - сталевий кожух; 10 - вікно для завалення; 11 - завантажувальна баддя; 12 - іскрогасник; 13 - зазор, заповнений піском; 14 - чавунний саман; 15 - під печі (лещади); 16 - перехідна лійка в копильник; 17 - лійка для випуску шлаку; 18 - копильник, заповнений чавуном; 19 - лійка для випуску чавуну; 20 - ківш роздавальний на монорельсі

Розплавлений шлак, густина якого в $\sim 2,5$ разу менша за щільність чавуну, спливає вгору і через лійку 17 віддаляється з копильника. Продукти горіння палива у вигляді дрібних частинок коксу, що горять, пил уловлюється іскрогасником 12. Після закінчення роботи вагранки відкривають стулки 1 і 2 відкидного днища, закріпленого на череневій плиті 4, і залишки холостої колоші потрапляють в короб, який заздалегідь встановлюють між опорними колонами 3.

Існують вагранки з наступною тривалістю міжремонтного циклу: до 24, до 80 і понад 80 годин. У двох останніх випадках вагранки мають водяне охолодження плавильного поясу і охолоджувані фурми. Для рівномірного розподілу вдувного повітря по перетину вагранки встановлюють два і більш рядів фурм.

Інтенсифікацію процесу горіння забезпечує збагачення дуттєвого повітря киснем або природним газом. Продуктивність вагранок досягає 60 т/ч, витрата повітря - до 50 $\text{нм}^3/\text{ч}$, тиск дуттєвого повітря 5-17 кПа.

Основні недоліки коксових вагранок – перехід сірки з коксу в чавун, низька температура перегріву чавуну і неможливість швидкого корегування хімічного складу металу, що виплавляється. Все це утруднює виробництво високоміцного чавуну в коксових вагранках. Тому збільшується кількість газових вагранок і вагранок закритого типу, що одночасно зменшує забруднення навколишнього середовища.

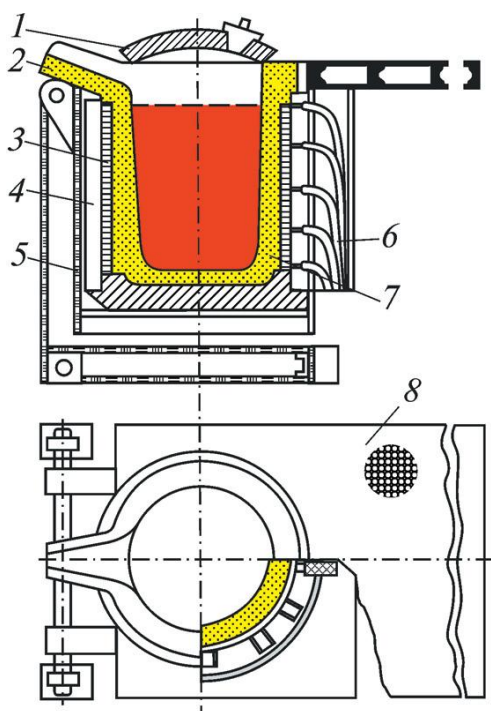


Рис. 5.6. Схема тигельної індукційної печі:

1 – кришка; 2 – зливний носок; 3 – індуктор (мідна водоохолоджувальна трубка); 4 – магнітопровід; 5 – каркас; 6 – струмопідводи; 7 – футерування; 8 – майданчик обслуговування струму (2400-10000 Гц), що підводиться, або промислового (50-60 Гц).

Печі промислової частоти дешевші, а інтенсивне перемішування розплаву в них дозволяє вводити в тигель феросплави і інші добавки, що забезпечують високу якість металу. Випуск чавуну проводять через зливний носок 2 при повороті печі за допомогою гідравлічного приводу, тельферу або лебідки. Щільність індукованих струмів досягає максимуму на поверхні металу у стінок тигля і знижується у напрямку до його осі. Тому найбільш економічним режимом плавки є наявність залишку розплаву в тиглі (30-50%), який прийнято називати «болотом». Тоді шматки завантажувальної металевої шихти будуть занурені в розплав, що залишився, і тривалість плавки зменшиться на 30-40%. При попередньому підігріві шихти перед завантаженням до 400 °С продуктивність печі збільшується на 10-20%.

Підвищення температури перегріву чавуну забезпечує дуплекс-процес, за якого розплавлення чавуну відбувається у вагранці, а перегрів - в копильниках, що обігріваються, або індукційних печах (тигельного або каналного типу).

5.3 Тигельні індукційні печі. Плавка металу в електропечах усуває низку недоліків, що виникають при виплавці металу у вагранці. Тому останніми роками збільшується об'єм виробництва чавуну в індукційних печах тигельного типу (рис. 5.6).

Плавку металу здійснюють в тиглі 7, набивання якого проводять вогнетривким матеріалом. Однофазний змінний струм по токопідводам 6 потрапляє в індуктор 8, виконаний з мідної водоохолоджувальної трубки, і створює усередині індуктора змінний магнітний потік. У металевій шихті, що знаходиться в тиглі 7, наводяться вихрові струми, які забезпечують нагрів і плавлення металу. Застосовують середню частоту

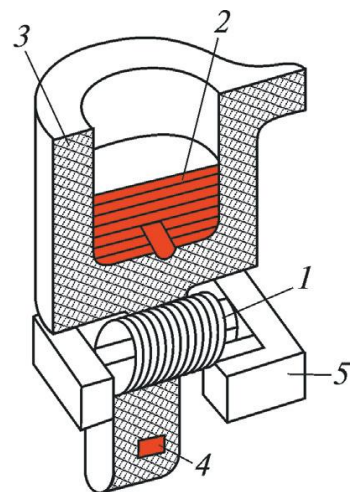


Рис. 5.7. Схема каналної індукційної плавильної електропечі:

1 - індуктор; 2 - розплавлений метал; 3 - тигель; 4 - подовий камінь з каналом; 5 - магнітне осереддя

Тигельні індукційні печі для плавки чавуну маркують індексами: наприклад, ІЧТ-6/2,5, де 6 - місткість тиглю в тоннах, 2,5 – встановлена потужність трансформатора 2500 кВА. У ІЧТ-6/2,5 розрахункова продуктивність по розплавленню і перегріву чавуну до 1500 °С складає 2,75 т/ч.

Тигельні індукційні печі для плавки сталі маркують індексом – ІСТ, індукційні каналні печі для плавки чавуну – ІЧК (рис. 5.7), індукційні каналні міксери для перегріву і витримки розплавленого чавуну – ІЧКМ, дугові сталеплавильні печі – ДСП.

5.4 Електродугові печі, застосовують, в основному, для плавки сталі, рідше чавуну або бронзи. Поширені трифазні печі прямого нагріву, в яких електричний струм підводять до трьох фаз. Завантаження шихти проводять зверху, через зведення, що відкривається, баддями з днищами, що розкриваються, або через вікно завалення за допомогою мульд. Розплавлений метал випускають через жолоб, нахиляючи піч.

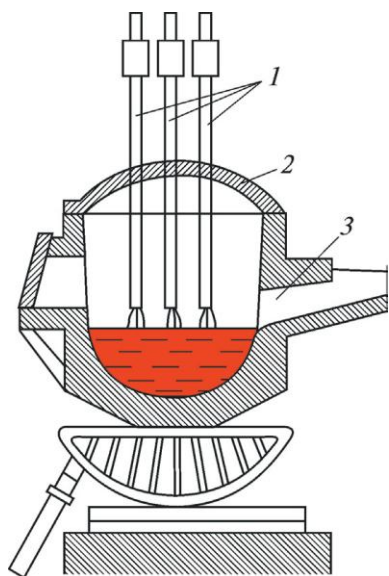


Рис. 5.8. Схема дугової електропечі:

1-графітовані електроди; 2-свод (склепінні) печі; 3-лійка (ливник) для випускання металу

Місткість дугових печей - від 1 до 100 т. Наприклад, для печі ДСП-25 маса металу, що виплавляється, складає 25 т, продуктивність повного циклу плавки сталі на основному футеруванні - 4,0 години; високоміцного чавуну – 3,6 години.

При кислому футеруванні тривалість виплавки сталі в ДСП-25 – 2,7 години, ковкого чавуну – 2,7 години, сірого чавуну – 2,3 години. Встановлена потужність трансформатора в ДСП-25 складає 12500 кВА.

У ливарних цехах застосовують мартенівські печі місткістю до 30 т для отримання крупних сталевих виливків. Техніко-економічні показники мартенівських печей нижчі в порівнянні з дуговими печами.

Тому при реконструкції сталеливарних цехів і будівництві нових встановлюють, як правило, дугові електричні печі.

У ливарних цехах машинобудівних заводів для отримання сталі іноді використовують конвертори малого бесемєрування (0,5-4,0 т) з поверхневим або бічним дуттям. Причому, рідкий чавун для конвертора виплавляють у вагранках.

Для отримання виливків із сплавів з особливими фізико-механічними властивостями застосовують плавку у вакуумі, використовуючи індукційні, дугові або електронно-променеві печі. Позапічне вакуумування розплавленого металу можна проводити перед розливанням, відомі способи розливання сталі у вакуумі, вакуумування безпосередньо у виливниці або ливарній формі, рафінування шлаком, заздалегідь розплавленим в печах або легкоплавким шлаком при

його введенні на струм металу при випуску з печі. Всі ці методи забезпечують отримання виливків з високими фізико-механічними властивостями.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Перерахуйте основні шихтові і формувальні матеріали, які поступають на шихтову ділянку ливарного цеху?
2. Як звуться місця складування шихтових матеріалів в ливарному цеху?
3. Які основні втрати металу необхідно враховувати при розрахунку заданого хімічного складу сплаву?
4. Що є вагранка?
5. Для яких цілей копильник встановлюють поряд з вагранкою?
6. Якими хімічними процесами обумовлений високий коефіцієнт корисної дії вагранки?
7. У якій частині вагранки встановлюють іскрогасник?
8. Перерахуйте основні недоліки коксових вагранок?
9. Які переваги має дуплекс-процес?
10. У яких плавильних агрегатах забезпечується інтенсивне перемішування розплаву?
11. Що означає термін «болото»?
12. Дайте визначення аббревіатурі ІЧТ-6/2,5 ?
13. Дайте визначення аббревіатурі ДСП-25 ?
14. Дайте визначення аббревіатурі ІЧК ?
15. Для яких цілей встановлюють індукційні каналні міксери ?
16. Які види позапічної обробки металу використовують в ливарних цехах?

6 ЛИВАРНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ

Забезпечити заповнення порожнини форми і точно відтворити її контури можливо тільки при перегріві рідкого металу вище за температуру ліквідус на $\sim 50-150^{\circ}\text{C}$. Конкретні значення температури перегріву ливарники встановлюють залежно від виду сплаву, його положення на діаграмі стану, інтервалу твердіння, товщини стінки вилівка та ін.

До основних ливарних властивостей сплавів відносять: рідкотекучість, схильність розплавленого металу до поглинання газів і утворення дефектів, схильність до утворення неметалевих включень, усадку і утворення усадкових раковин і пір, ліквацію, схильність до утворення ливарних напружень і тріщин.

6.1 Рідкотекучість – це здатність розплавленого металу текти - заповнювати порожнину форми і точно відтворювати її контури. Розрізняють істинну рідкотекучість (рис 6.1 а), що визначається за сталого перегрівання над лінією нульової рідкотекучості t_n ; практичну – за сталої температури заливки (рис. 6.1 б); умовно-істинну – за сталого перегрівання над температурою ліквідус (рис. 6.1 в).

Оцінку рідкотекучості проводять за допомогою технологічних проб (рис. 6.2) – по довжині залитої спіралі, прутка тощо. Стандартною пробою на рідкотекучість є спіраль Керри (див. рис. 6.2 ж). Наприклад, сірий чавун, силумін, крем'яниста латунь мають високу рідкотекучість $>700\text{мм}$; білий чавун, вуглецеві сталі – середню рідкотекучість ($\leq 340\text{мм}$); магнієві сплави – низьку рідкотекучість.

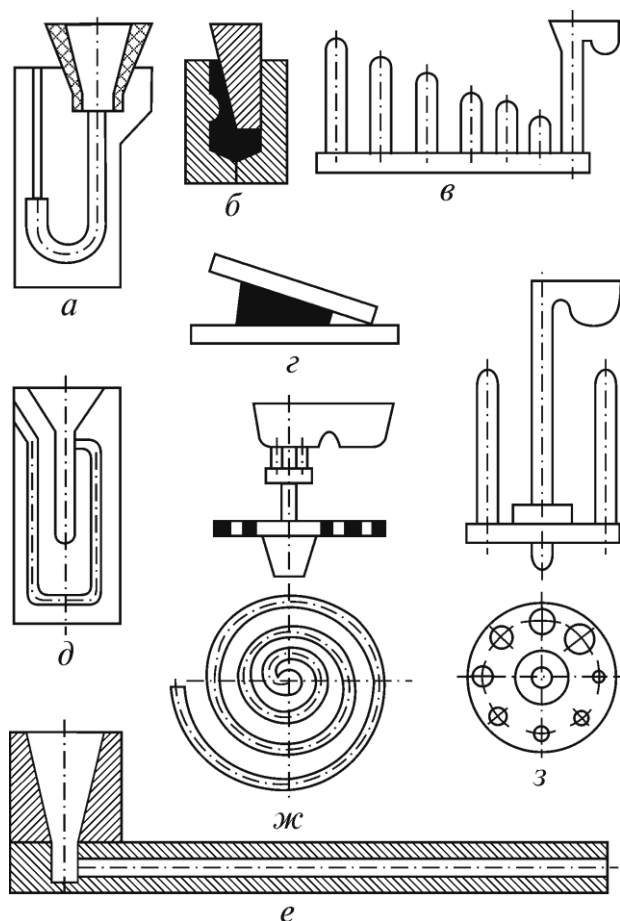


Рис. 6.2. Технологічні проби для оцінки рідкотекучості металів: а – U-подібна проба Нехендзі-Самаріна; б – кульова проба Самаріна; в – арфо-подібна проба; г – клинова проба; д – комплексна проба Купцова; е – проба Руффа; ж – проба Керри; з – проба Чикеля

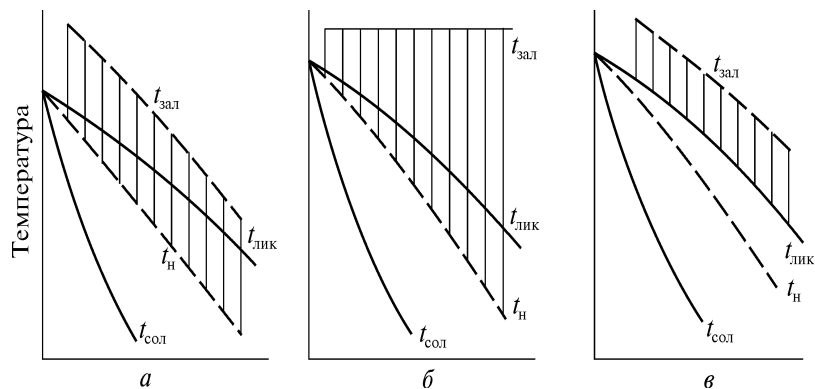


Рис. 6.1. Істинна (а), практична (б) і умовно-істинна (в) рідкотекучості.

Температури: $t_з$ – заливки; $t_л$ – ліквідус; $t_н$ – нульової рідкотекучості; $t_с$ – солідус

Наприклад, сірий чавун, силумін, крем'яниста латунь мають високу рідкотекучість $>700\text{мм}$; білий чавун, вуглецеві сталі – середню рідкотекучість ($\leq 340\text{мм}$); магнієві сплави – низьку рідкотекучість. Чисті метали і евтектичні сплави мають кращу рідкотекучість в порівнянні із сплавами, утворюючими тверді розчини і що кристалізуються в широкому інтервалі температур ліквідус-солідус.

З підвищенням температури сплаву рідкотекучість збільшується, але одночасно збільшується об'єм усадкових дефектів.

6.2 Гази в сплавах присутні у вигляді: бульбашок, хімічних сполук з елементами (гідриди, нітриди, оксиди), а також упродовжуються в кристалічну ґратку, адсорбуються, наприклад, на поверхні графітових включень в чавуні.

Розчинність газів в рідкому металі пропорційна кореню квадратному з величини парціального тиску над розплавом (закон Сивертса). Так, масова частка кисню в сталях $\sim 0,01-0,03\%$, чавунах $\sim 0,002-0,006\%$, брон-

зі $\sim 0,08-0,15\%$. При твердінні виливка розчинність газів різко зменшується, вони об'єднуються, утворюючи бульбашки, раковини та інші дефекти.

Для запобігання браку виливків по газових дефектах використовують такі методи: виключають потрапляння в шихту іржі, прожарюють шихту, дзеркало металу печі захищають шлаками, що зменшують попадання газів з атмосфери, розплав перед заливанням вакуумують, продувають газами, в бульбашки яких дифундує, наприклад, водень, забезпечують кристалізацію металу при високому тиску в автоклавах, зменшують температуру заливки та ін.

6.3 Неметалеві включення у виливках поділяють на розчинні, малорозчинні і нерозчинні в основі сплаву.

Так, у залізі нерозчинні включення - SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , Cr_2O_3 , TiO_2 , MgS , TiN , розчинні – FeO , FeS , MnS . Швидкість спливання (V_c) нерозчинних включень розраховують по формулі Стоксу:

$$V_c = \frac{d^2}{18\eta} g(\rho_m - \rho_{ш}), \quad (6.1)$$

де d – діаметр включення, η – динамічна в'язкість, ρ_m – густина рідкого металу, $\rho_{ш}$ – густина включення (шлаку).

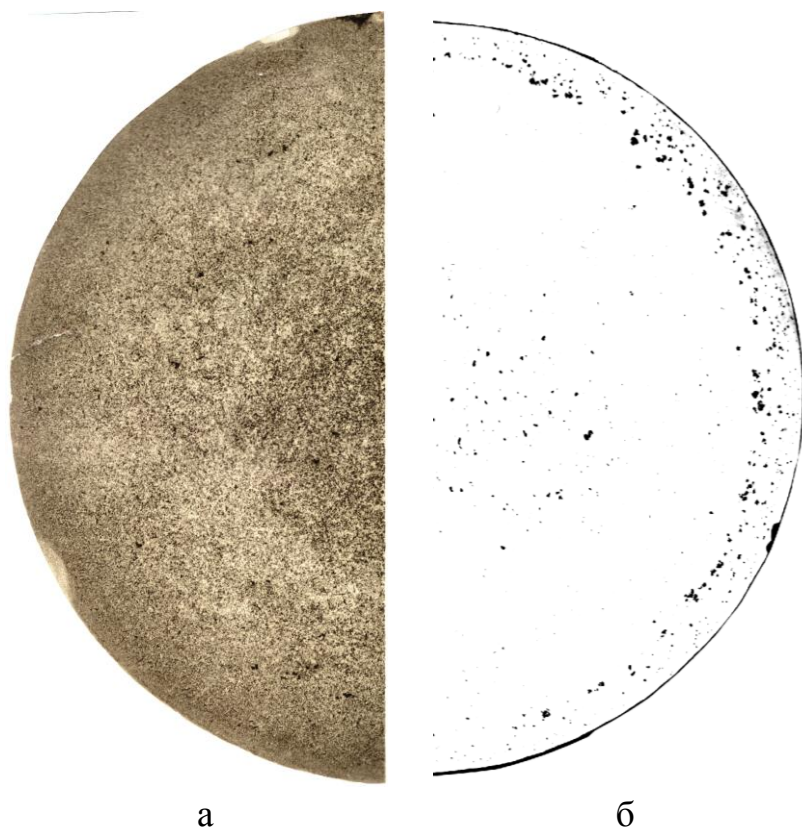


Рис. 6.3. Сірчані відбитки перетину циліндрових виливків з сірого чавуну (а) та чавуну з кулястою формою графіту (б), що кристалізуються у чавунному кокілі $\varnothing 450$ мм з товщиною стінки 180 мм

Так, при діаметрі включення 0,0001мм, густині $3,1\text{г/см}^3$ та висоті стовпа металу 1м тривалість його спливання в Fe-C сплаві складає ~ 49 хв, при розмірі включення 0,0005мм – 115с. Тому дрібні малорозчинні включення спливають поволі, часто забруднюють виливки і є концентраторами напружень.

На рис. 6.3 а,б наведено сірчані відбитки поперечного перетину циліндрових виливків діаметром з сірого чавуну з відбіленим робочим шаром товщиною ~ 25 мм і чавуну з кулястою формою графіту. Охолодження виливків здійснювалось у чавунному кокілі $\varnothing 450$ мм. У сі-

рому чавуні зафіксована підвищена кількість сірки (см. рис. 6.3 а), що обумовлено утворенням включень MnS , які скупчуються по границях зерен. У чавуну з кулястою формою графіту при введенні модифікаторів (магнію чи його лігатур) розплав очищується ввід сірки за рахунок утворення нерозчинених неметалевих включень MgS , основна кількість яких спливає і тільки окремі попадають у виливок (см. рис. 6.3 б). Скупчення включень MgS під назвою "чорні плями" призводить до браку виливків з високоміцного чавуну.

Неметалеві включення, що розчинені, видалити легше. Наприклад, включення FeS , MnS із збільшенням швидкості твердіння виливків зменшуються в розмірах.

6.4 Модифікування. Одним з ефективних методів усунення шкідливого впливу неметалевих включень у виливках є модифікування – введення в розплавлений метал невеликих кількостей елементів або речовин, які поліпшують структуру сплаву. Основні способи модифікування сплавів наведені на рис. 6.4.

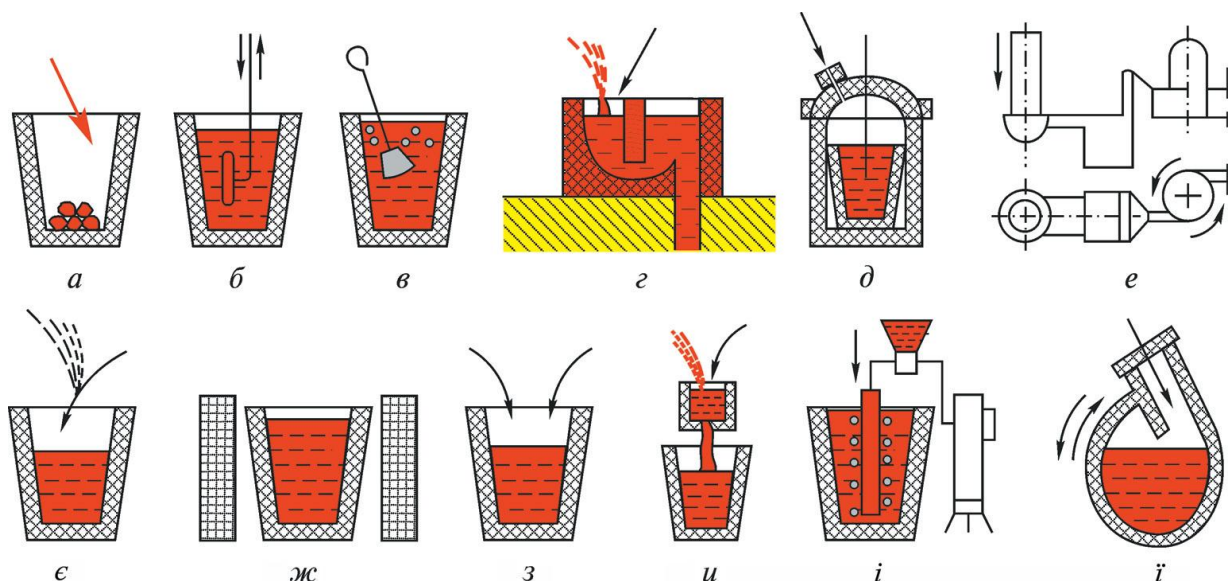


Рис. 6.4. Методи модифікування сплавів:

Введенням твердих модифікаторів: а – на дно ковша; в – в дзвонику; г – в литникову чашу, з перегородкою; д – магнію в дзвонику у автоклаві; е – в реакційну камеру з відцентровим шлаковловлювачем; є – в струм металу; и – в проміжний ківш-розчинник; ї – в ківш-автоклав, що повертається для модифікування розплаву. Фізичними методами дії: б – ультразвуком; ж – електромагнітним полем; з – змішуванням двох сплавів; і – продуванням порошкоподібним модифікатором

Модифікатори першого роду перешкоджають зростанню кристалів, утворюють на неметалевих включеннях поверхнево-активну плівку, округлюють їх. Mg , Ca , PZM є типовими представниками модифікаторів першого роду. Отримання холодостійких сталей неможливе без застосування модифікаторів. Модифікатори 3-го роду - мікрохолодильники - зменшують температуру металу і підвищують швидкість кристалізації, подрібнюють мікроструктуру та гальмують розвиток ліквіації хімічних елементів у виливках.

На відміну від легування дія модифікатора обмежена в часі. Тому доцільно наблизити момент модифікування до заливки металу у ливарну форму.

Модифікування можна здійснювати також фізичними методами дії – вібрацією, ультразвуком, електромагнітним полем.

6.5 Усадка - властивість металу зменшувати лінійні розміри і об'єм під час тверднення й охолодження. Лінійна усадка починається при твердінні виливків після утворення твердо-рідкого каркасу (рис. 6.5). Усадка залежить від хімічного складу сплаву, швидкості охолодження, температури заливання та інших чинників. Усадка, яка визначається тільки властивостями самого сплаву, називається вільною ε_p .

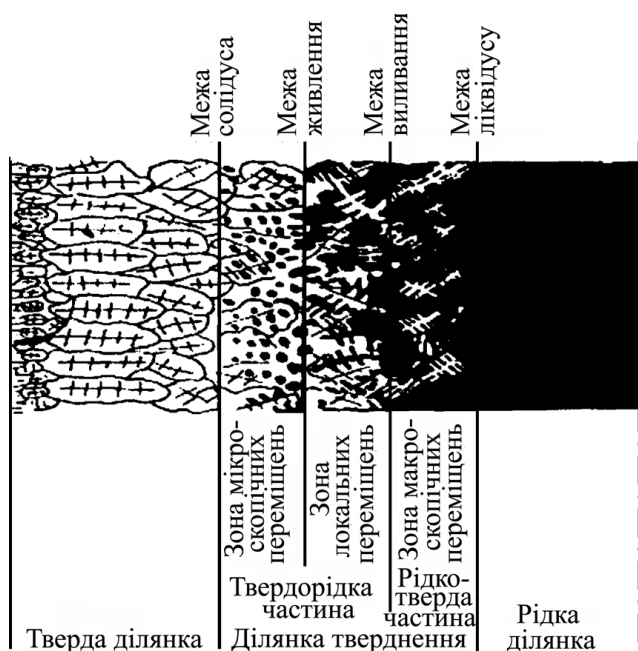


Рис. 6.5. Схема формування кристалічної структури, просування фронту тверднення від поверхні виливка до осової зони та зони формування усадкових дефектів у твердо-рідкій ділянці тверднення виливка

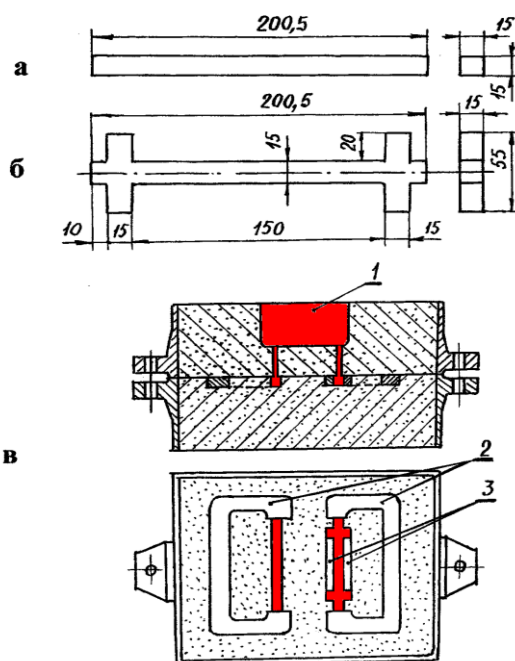


Рис. 6.6. Моделі технологічних проб на вільну (а), утруднену (б) усадки і схема ливарної форми (в):

1 – литникова чаша; 2 – скоби мірні, 3 – металеві вкладиші, що забезпечують гальмування усадки

При кристалізації реальних виливків усадка гальмується ливарною формою, стрижнями, литниково-живильною системою. Таку усадку називають утрудненою (ускладненою) або ливарною $\varepsilon_{л}$. Оцінюють усадку різних сплавів у відсотках за допомогою технологічних проб (рис. 6.6), із використання значень довжини порожнини ливарної форми l_{ϕ} і довжини охолодженого виливка l_o , по формулі (6.2):

$$\varepsilon = [(l_{\phi} - l_o) / l_o] \cdot 100\% \quad (6.2)$$

Під час реєстрування кінетики усадки встановлено незначне передусадкове розширення деяких сплавів. Наприклад, сірий чавун має передусадкове

розширення до ~0,3%, чавун з кулястою формою графіту (80% перліту, 20% фериту) ~0,4-0,94%, а у половинчастого чавуну з кулястою формою графіту передусадкове розширення відсутнє.

Лінійна і утруднена усадки окремих сплавів наступні: вуглецева сталь - 2,0-2,4% і 1,8-2,0%, білий чавун – 1,6-2,3% і 1,5-1,8%, чавун з пластинчастою формою графіту – 0,9-1,3% і 0,8-1,0%, чавун з кулястою формою графіту – 0,7-1,2% і 0,5-1,0%. Отже, щоб одержати виливок заданих розмірів необхідно збільшити розміри моделі виливка на значення усадки цього сплаву.

Об'ємна усадка обумовлює утворення усадкових дефектів в місцях виливка, які твердіють в останню чергу. Розплав з рідкої ділянки виливка переміщується для живлення усадки (компенсації зменшення об'єму) затверділого металу (див. рис. 6.5). Усадкові дефекти поділяють на усадкову пористість, яка формується в твердо-рідкій частині виливка під час відокремлення окремих об'ємів рідкої фази за відсутності фільтрації з осьової зони виливка, і концентровану усадкову раковину.

Концентрована усадкова раковина утворюється внаслідок переміщення розплаву до раніше затверділого металу (рис. 6.7). Об'ємна усадка у першому наближенні дорівнює трьох лінійним: $\varepsilon_v = 3\varepsilon$.



Рис. 6.7. Виливок «шестерня» (діаметр - 140 мм, висота - 65 мм, діаметр напівкульового надливу - 105 мм, його висота – 105 мм, загальна висота виливка - 178 мм. Матеріал – 30Л ГОСТ 977-88, маса чорнова – 3,5 кг):

а – загальний вид виливка – шестерня і напівкульовий надлив, б – розріз виливка з дрібною усадковою пористістю в центрі шестерні і концентрованою усадковою раковиною в надливі і верхній частині шестерні

За формулою Нехендзі-Гиршовіча розраховують відносний об'єм усадкових дефектів (V_p), який складається з усадки металу в рідкому стані, усадки в інтервалі температур твердіння ліквідус t_L , солідус t_C і який може бути зменшений внаслідок усадки під час охолодження виливка до температури навколишнього середовища:

$$V_p = \alpha_{ж}(t_{ж} - t_L) + [0,5(\alpha_{ж} + \alpha_3)(t_L - t_C) + \varepsilon_\phi] - 3\beta\alpha_T(t_C - t_T)$$

де ε_ϕ - усадка при фазовому переході сплаву з рідкого стану в твердий; $\alpha_{ж}, \alpha_3$ - коефіцієнти об'ємної усадки розплавленого металу і затверділого в інтервалі температур $t_L - t_C$, відповідно; β - коефіцієнт, що характеризує вплив маси затверділого металу на формування усадкової раковини ($\sim 0,5$); ε_T - коефіцієнт лінійної усадки твердого металу.

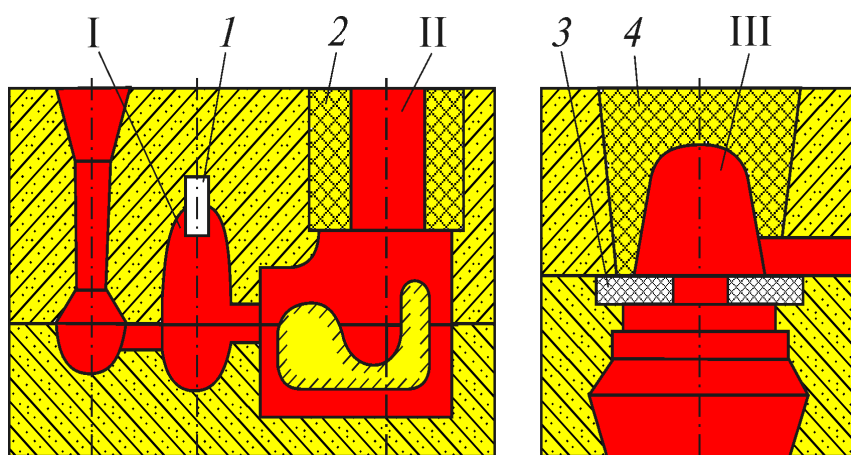


Рис. 6.8. Загальний вигляд надливів:

I – бічний, закритий, проточний, газовий, звичайний, відбивний; II – верхній, відкритий, зливний, атмосферний, такий, що підігрівається, відрізний; III – верхній, закритий, проточний, гравітаційний, утеплений, відбивний;
1 - стрижень з газовим зарядом; 2 - втулка з екзотермічної суміші; 3 - розділова пластина; 4 - стрижень із низькотеплопровідного матеріалу

вих вузлів, то надливи встановлюють над кожним із них. Дрібніші теплові вузли виливка охолоджують за допомогою холодильників. Холодильник — це металева вставка, що забезпечує прискорене тверднення сплаву. Внутрішні холодильники встановлюють у порожнину ливарної форми, зовнішні — закріплюють на поверхні порожнини в ливарній формі. Масу холодильника розраховують за спеціальними формулами. Поверхня холодильника має бути очищена від іржі і вологи.

Спрямоване тверднення — технологічний прийом, за якого створюють умови для тверднення металу в надливі в останню чергу. Це забезпечує утворення усадкової раковини не у виливку, а в надливі, який відрізають і подають на переплавлення. Надливи широко застосовують у виробництві виливків зі сплавів з підвищеною усадкою, наприклад сталевих фасонних виливків. На ви-

6.6 Надливи.

Щоб запобігти утворенню усадкових дефектів у виливках встановлюють надливи, які забезпечують живлення усадки металу виливка, що твердне, або його теплового вузла. Тепловий вузол — це місце у виливку зі збільшеною товщиною стінки, в якому метал твердне пізніше, ніж у решті частин виливка. Надлив розміщують зверху виливка над живленим тепловим вузлом (рис. 6.8). Якщо у виливку є кілька великих тепло-

ливках із сірого чавуну надливи встановлюють дуже рідко. Теплоізоляція надливу від навколишнього середовища — один з ефективних методів зменшення утворення усадкових дефектів у виливках.

Надливи розрізняють: за місцем встановлення — верхні і бічні; за конструкцією — відкриті і закриті; за способом заливання — проточні (проливні) і зливні; залежно від сил, які переміщують рідкий метал у виливок — гравітаційні, атмосферні, газові; залежно від теплових умов у формі — звичайні, утеплені й такі, що підігріваються; за способом відділення від виливка — відбивні (що легко видаляються) і відрізні. Розроблені рекомендації по розміщенню надливів на виливках, використовуються кілька методів розрахунку їх маси і розмірів.

Наприклад, на рис. 6.9 представлена схема розрахунку надливів по методу вписаних кіл в тепловий вузол. Кожен надлив залежно від товщини стінки виливка і матеріалу форми має дистанцію дії (глибину живлення) — ділячки щільного металу навколо надливу.

Торцовий ефект ливарної форми, — це ділянка щільного металу поблизу поверхні тепловідведення (рис. 6.10).

У разі використання неутеплених надливів вихід гожих сталевих фасонних виливків складає всього ~50-70%. Це обумовлене тим, що при твердінні виливка одночасно твердне метал надливу, й отже, збільшуються втрати металу.

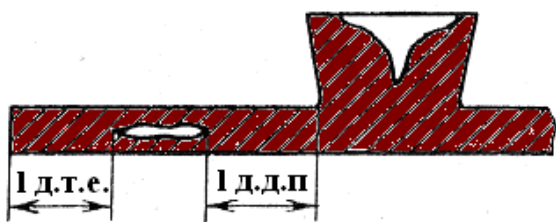


Рис. 6.10. Дистанція дії надливу $l_{ддп}$ і торцового ефекту $l_{дте}$

чує зменшення непродуктивних втрат металу теоретично до нуля (рис. 6.11).

6.7 Ліквация (сегрегация) у виливках — це неоднорідність хімічного складу сплаву, що виникає при кристалізації. Сплави, на відміну від чистих металів, тверднуть в інтервалі температур ліквідус t_L і солідус t_C . Тому склад затверділої первинної твердої фази відрізняється від середнього складу розплавленого металу. Зі збільшенням температурного ($t_L - t_C$) і концентраційного інтервалів твердіння збільшується ліквация. Розрізняють дендритну ліквацию, яка ви-

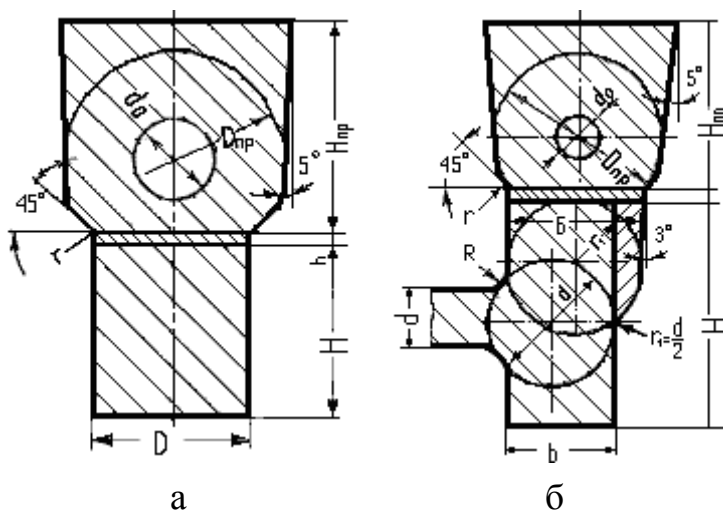


Рис. 6.9. Надливи для вузлів виливків циліндрового (а) і хрестоподібного (б) перетинів

Тому утеплення або підігрів надливу підвищує техніко-економічні показники виробництва виливків. Наприклад, застосування електрошлакового або комбінованого електродугового-електрошлакового обігріву надливу масивних виливків забезпечує

являється в мікрооб'ємах, і макроліквацію - в різних частинах виливка. Максимальний вміст хімічного елементу в центрі дендриту (зерна) називають зворотною мікроліквацією, мінімальне – прямою мікроліквацією.

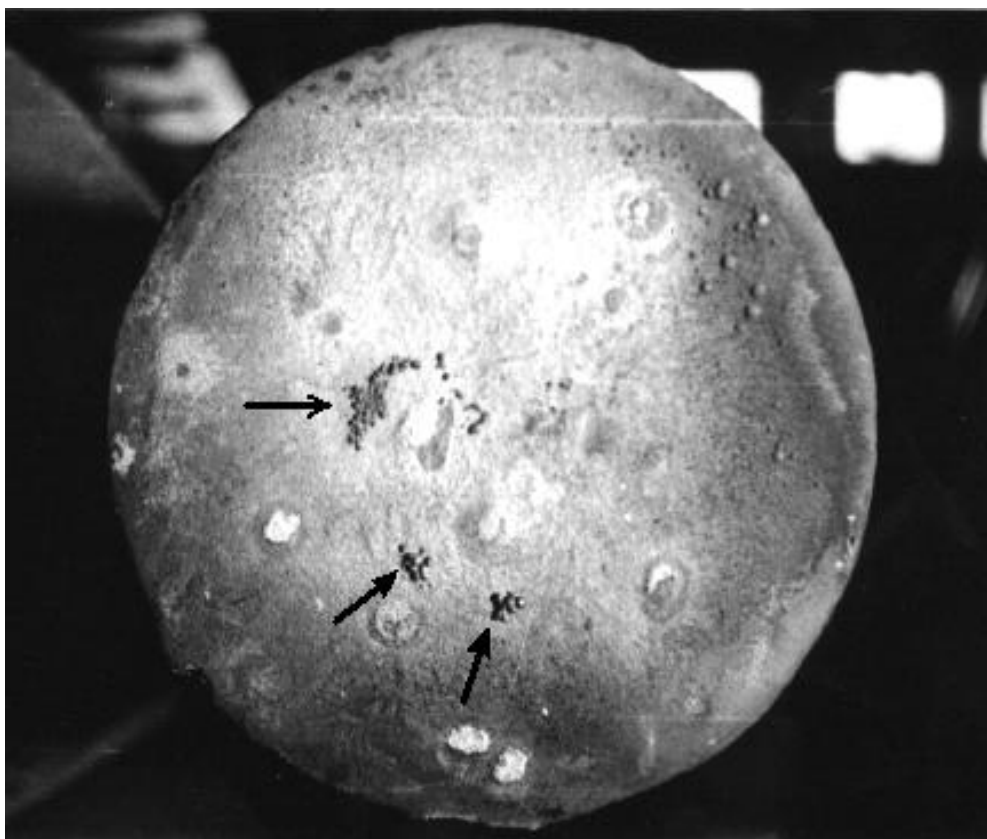


Рис. 6.11. Торець надливу (Ø 330 мм) прокатного валка з високоміцного чавуну масою 2,2 т після електрошлакового обігріву надливу з «випотами» фосфідної евтектики (вказано стрілками)

Так, в доевтектичному чавуні встановлена зворотна мікроліквація Si, Ni, Al, Cu, Co і пряма – P, Mo, Cr, Mn. Наприклад, фосфор міститься у мінімальній кількості в центрі зерна, з наближенням до поверхні його вміст поступово збільшується. Надлишок фосфору виштовхується на межі зерен і капілярними силами може сегрегуватись до поверхні виливка, утворюючи фосфідні евтектики у вигляді невеликих кульок (див. рис. 6.11). Таку макроліквацію називають зворотною.

Крім того, в осевій зоні виливка з чавуну часто підвищується кількість цементиту, що прийнято називати зворотним відбілюванням. Отже, дендритна ліккація обумовлює зональну ліккацію. За місцем розташування зональну ліккацію поділяють на осеву або V-подібну, позаосеву або L-подібну і ліккаційну пляму під надливом.

Ліккація за щільністю хімічних елементів у масивних виливках із великою тривалістю твердіння сприяє спливанню «легких» і спусканню вниз «важких» елементів. Так, в Fe-C сплавах C, Al спливають вгору, W, Mo, Ni – спускаються вниз. У результаті конвекції або перемішування сплаву, що кристалізу-

ється, тонкі гілки дендритів ламаються і спускаються в нижню частину виливка. Тому найбільш відповідальні поверхні виливка формують в нижній півформі (опоці).

Зменшити дендритну ліквіацію можна відпалом, збільшенням швидкості твердіння виливка, вібрацією, ультразвуковими коливаннями тощо.

6.8 Напруження і тріщини у виливках. Утворення напружень і тріщин у виливках обумовлене ливарними напруженнями, що дорівнюють сумі внутрішніх напружень трьох видів $\sigma_{\text{л}} = \sigma_{\text{м}} + \sigma_{\text{Т}} \pm \sigma_{\text{ф}}$:

1. Механічних $\sigma_{\text{м}}$ (усадкових), обумовлених гальмуванням усадки формою і стрижнем.

2. Термічних $\sigma_{\text{Т}}$, виникаючих через різницю швидкостей охолодження окремих частин виливка.

3. Фазових $\sigma_{\text{ф}}$, виникаючих в результаті неодночасного протікання фазових перетворень в сплаві.

Фазові напруження можуть підсилювати або послаблювати ливарні, оскільки перетворення (перебудова кристалічної ґратки) в сплаві можуть відбуватися зі зменшенням або збільшенням об'єму в різних частинах виливка.

Напруження можуть бути тимчасовими і залишковими. Тимчасові напруги існують доти, доки діють зовнішні сили. Залишкові напруження спостерігаються за відсутності зовнішніх сил і врівноважуються в об'ємі виливка. Так, через наявність залишкового напруження виливки чавунних прокатних валків перед експлуатацією повинні проходити природне старіння (вилежування) від 3 до 6 місяців залежно від розміру. Для зменшення залишкових напружень виливки піддають термічній обробці (відпуску) або діють на них вібрацією певних частоти і амплітуди.

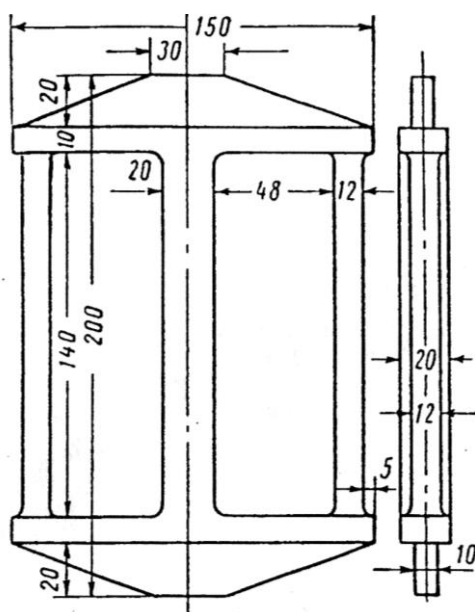


Рис. 6.12. Прямокутні ґрати для визначення залишкових внутрішніх напружень у виливках

Внутрішні ливарні напруження можуть привести до жолоблення виливків і навіть до появи тріщин. Гаряча тріщина формується при твердненні виливка в інтервалі температур $t_{\text{л}}-t_{\text{с}}$, її краї нерівні і мають кольори мінливості. Холодна тріщина (волосоподібна) утворюється, в основному, при фазових перетвореннях сплаву, її краї рівні, прямі. Причому, виливки із сталі більшою мірою схильні до появи дефектів в порівнянні з виливками з чавуну. Щоб запобігти жолобленню виливків і утворення тріщин, ливарники розробили технологічні прийоми, які зменшують ці дефекти. Величину напруження визначають за технологічними пробами - ґратками з різною товщиною стінки (рис. 6.12).

Напруження в центральному товсто-

му бруску розраховують за формулою:

$$\sigma_2 = \frac{E\Delta}{l} \left(\frac{2f_1}{f_2} + 1 \right), \quad (6.4)$$

де E - модуль пружності, Н/м^2 ; l - довжина тонких і товстого бруска ґратки, м ; f_1 і f_2 - площі поперечного перерізу тонкого і товстого брусків, м^2 ; Δ - абсолютна зміна розміру між двома мітками при розрізанні товстого бруска, м .

Підвищити тріщиностійкість можна модифікуванням, легуванням і іншими технологічними прийомами, які описані в спеціальній літературі.

6.9 Литникові системи, залежно від розташування у формі і способу підведення металу в порожнину форми, забезпечення її заповнення і живлення вилівка при його твердінні, розрізняють: горизонтальну, вертикальну, верхню, дощову, сифонну, щілинну, ярусну. Найбільшого поширення в ливарних цехах набули литникові системи: горизонтальна з підведенням металу по роз'єму (рис. 6.13) і сифонна (метал заповнює форму знизу через один або декілька живильників). Під час заповнення ливарної форми, розплав послідовно проходить наступні основні етапи: рух від заливального ковша до литникової чаші (лійки); рух в каналах литникової системи; рух в порожнині форми.

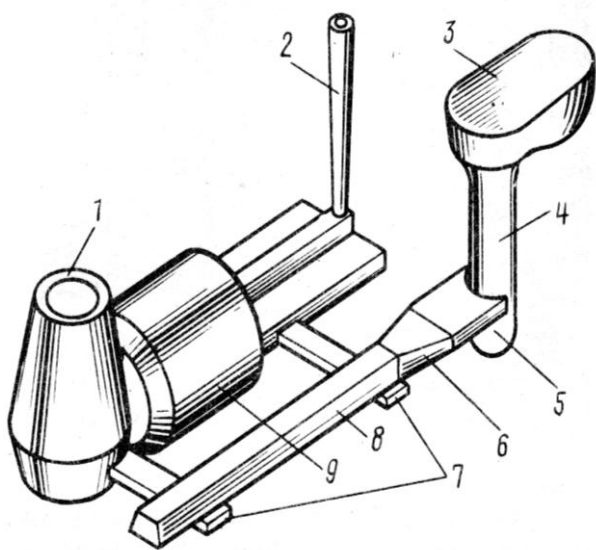


Рис. 6.13. Горизонтальна литникова система:

1 – надлив; 2 - випір; 3 – литникова чаша; 4 - стояк; 5 – зумпф; 6 – дросель; 7 – живильники; 8 - шлаковловлювач; 9 – вилівок

си для будь-якого об'єму рухомої рідини у формі. При розрахунках оцінюють гідравлічні опори, що виникають при різних режимах течії рідини (ламінарної або турбулентної).

Крім того, течія рідкого металу в каналах ливарної форми залежить від фізико-хімічних властивостей сплаву, що заливається, і матеріалу ливарної фо-

Одержати якісний вилівок у разі заливання форм під напором стояка (під дією сили тяжіння) можна тільки у разі заповнення ливарної форми перегрітим рідким металом. Рідкий метал в перегрітому стані можна розглядати як звичайну ньютонівську рідину, у якій тертя спокою дорівнює нулю, в'язкість не залежить від швидкості течії, а напруження пропорційно градієнту швидкості.

Для розрахунку литникової системи використовують рівняння гідродінамики: рівняння Д. Бернуллі для реальної рідини (1738г.), - що визначає загальний зв'язок між тиском, висотою, швидкістю течії рідини і втратами напору, та рівняння нерозривності, що виражає закон збереження маси

рми, її шорсткості, теплофізичних властивостей тощо. Врахувати всі ці чинники складно, тому ливарники використовують при розрахунках наближені формули або номограми для конкретних видів сплавів.

Розрахунок проводять тільки площі перетину вузького місця литникової системи - для Fe-C сплавів живильників $F_{жс}$ (см²):

$$F_{жс} = \frac{G}{\mu \cdot \tau \cdot 0,31 \sqrt{H_p}}, \quad (6.1)$$

де G - маса вилівка з литниками, випорами і надливами, кг;

μ - коефіцієнт витрати за течії сплаву в литниковій системі;

τ - тривалість заливки, с.

H_p - розрахунковий напір металу, см.

Значення коефіцієнта витрати складає для чавунних виливків 0,35-0,6; для сталевих 0,25-0,5. Тривалість заливання виливків можна розрахувати за формулою:

$$\tau = S \sqrt[3]{\delta G}, \quad (6.2)$$

де δ – середня товщина стінки вилівка, мм;

S - коефіцієнт (для чавуну $S = 1,8-2,0$; для сталі $S = 1,3-1,7$).

Розрахунковий напір визначають за формулою:

$$H_p = H_o - \frac{P^2}{2C}, \quad (6.3)$$

де H_o - напір, рівний висоті стояка, см;

P - висота вилівка над рівнем живильників, см;

C - повна висота вилівка, см.

Іноді сумарну площу перетину живильників визначають за формулою:

$$F_{жс} = \frac{G}{\tau \cdot K_y}, \quad (6.4)$$

де K_y – питома швидкість заливання, кг/см²с.

Рекомендовану питому швидкість заливання встановлено досвідченим шляхом при різній питомій густині виливків, приймають: для чавуну 1,0-2,5 кг/см²с; сталі 0,5-1,5 кг/см²с; олов'янистої бронзи 1-2 кг/см²с; латуні 0,75-1,5 кг/см²с; алюмінієвих сплавів 1,5-3,0 кг/см²с.

Площі решти елементів литникової системи, визначають за рекомендаціями, виробленими досвідченим шляхом. Так, відношення площ живильників $F_{ж}$, шлаковловлювачів $F_{ш}$ і стояків $F_{с}$ складають:

$F_{ж} : F_{ш} : F_{с} = 1:1,1:1,15$ – для дрібних і середніх виливків із сірого чавуну;

$F_{ж} : F_{ш} : F_{с} = 1:1,2:1,4$ – для крупних виливків із сірого чавуну;

Гж : Гш : Гс = 1:1,1:2 – для дрібних і середніх виливків із вуглецевої сталі;

Гж : Гш : Гс = (1,0-1,5):1:1 – для крупних виливків із вуглецевої сталі;

Гж : Гш : Гс = 3:2:1 – для виливків із алюмінієвих сплавів;

Гж : Гш : Гс = 4:2:1 – для виливків із магнієвих сплавів.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення терміну «усадка».
2. Як змінюються розміри виливків при вільній і утрудненій усадці?
3. Як враховують величину усадки при виготовленні ливарної моделі виливка?
4. Які види усадкових дефектів Ви знаєте?
5. Дайте визначення терміну «надлив виливка»? Що забезпечує надлив?
6. Дайте визначення терміну «тепловий вузол»?
7. Дайте визначення терміну «оохолоджувач»?
8. Які види оохолоджувачів Ви знаєте?
9. Дайте визначення терміну «спрямоване твердіння»?
10. Дайте визначення терміну «ліквация (сегрегація) у виливках»?
11. Як поділяють зональну ліквацию по місцю розташування?
12. Чому найбільш відповідальні поверхні виливка формують в нижній напівформі (опоці)?
13. Які види напружень обумовлюють виникнення ливарних напружень у виливках?
14. У якому температурному інтервалі утворюється гаряча тріщина у виливках?
15. Які види литникових систем Ви знаєте?
16. У яке місце виливка підводиться живильник при сифонній литниковій системі?
17. Який елемент литникової системи розраховують в першу чергу?
18. Як визначають площі решти елементів литникової системи?
19. Розрахуйте значення утрудненої усадки, якщо довжина порожнини ливарної форми 200,5 мм, а довжина виливка 199,5 мм.

7 ТВЕРДІННЯ, ОХОЛОДЖУВАННЯ ТА ВИБІВКА ВИЛИВКІВ

Твердіння і оохолодження сплаву обумовлене відведенням у ливарну форму і навколишнє середовище тепла Q , кількість якого умовно поділяють на три етапи:

1. Відведення тепла перегріву ливарного сплаву Q_1 .
2. Відведення тепла кристалізації сплаву Q_2 у інтервалі температур ліквідус-солідус ($t_{\text{л}}$ - $t_{\text{с}}$).
3. Відведення тепла при оохолодженні сплаву Q_3 до температури вибівки з ливарної форми.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (7.1)$$

$$\text{при } Q_1 = mC_{\text{ж}}(t_{\text{п}}-t_{\text{л}}), \quad Q_2 = mC_{\text{жт}}(t_{\text{л}}-t_{\text{с}})+mL, \quad Q_3 = mC_{\text{т}}(t_{\text{с}}-t_0)+m(L_1+L_2 \dots +L_n),$$

де m – маса сплаву; C – питома теплоємність сплаву в рідкому стані (ж), в інтервалі твердіння (жт) і в твердому стані (т); L – прихована теплота кристалізації сплаву в інтервалі температур $t_{л}-t_c$; $L_1+L_2 \dots +L_n$ – питома теплота фазових переходів сплаву в твердому стані при його охолодженні; $t_{п}$ – температура перегріву розплаву після заливки; t_0 – температура вибивки ливарних форм.

Після відведення тепла перегріву у ливарну форму і в навколишнє середовище починається процес утворення зародків – флуктуацій, стійких в рідкому металі. Гомогенні зародки набувають стійкості при значному переохолодженні нижче за температуру ліквідус. Гетерогенні зародки формуються на стінках форми або дрібних твердих частинках домішок в сплаві при мінімальному переохолодженні.

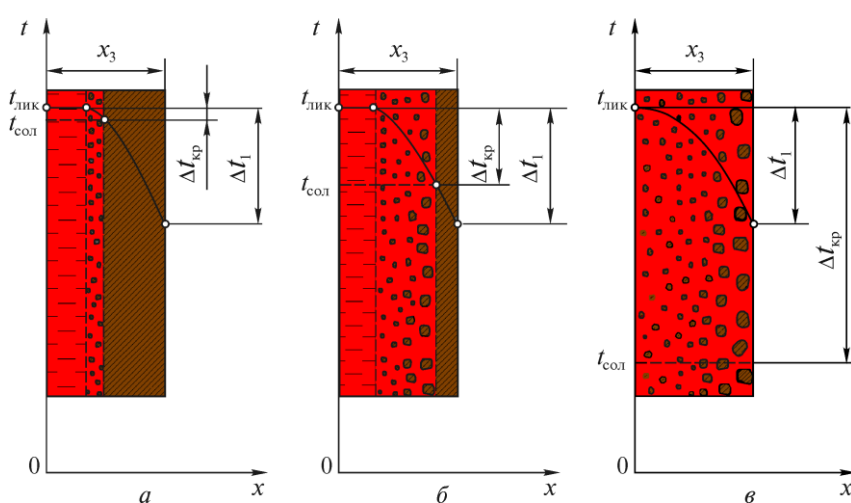


Рис. 7.1. Схема процесу твердіння виливків:
а – послідовне; б - послідовно-об'ємне; в – об'ємне

Розрізняють об'ємне, послідовно-об'ємне і послідовне твердіння металу виливків (рис. 7.1). За низької теплоакумуючої здатності ливарної форми ($b_{\phi} = \sqrt{\lambda c \rho}$, де λ - питома теплоємність і c - теплопровідність матеріалу форми, ρ - густина) $b_{\phi} < 1500 \text{ Втс}^{0,5}/\text{м}^2\text{К}$ і товстостінному виливку має місце послідовно-об'ємна і об'ємна кристалізація.

Матеріал ливарної форми, в цьому випадку, виконують із спученого перлиту, легкового вогнетрива, підігрітої піщаної суміші і ін. У разі використання металевої форми (кокілю) відбувається послідовне твердіння металу.

Так, у чавунного кокілю $b_{\phi} \sim 11000$, алюмінієвого ~ 28000 , мідного $\sim 30000 \text{ Втс}^{0,5}/\text{м}^2\text{К}$. При послідовному твердінні метал виливків густіший з мінімальною кількістю усадкової пористості.

У першому наближенні товщину ξ затверділого шару металу плоского напівнескінченного виливка можна розрахувати за формулою (закон квадратного кореня):

$$\xi = m\sqrt{\tau} \quad , \quad (7.2)$$

де m – коефіцієнт твердіння;

τ - тривалість твердіння.

Величина m є коренем складного трансцендентного рівняння і залежить від безлічі чинників, що характеризують процес твердіння: термофізичних кое-

фіцієнтів матеріалу вилівка і ливарної форми, температури перегріву, твердіння і ін. Тому, для практичних розрахунків використовують значення m , одержані дослідним шляхом для різних видів виливків: з сірого чавуну, що остигають в піщано-глинистій формі (ПГФ) $m = 0,0009 \text{ м/с}^{0,5}$ і в чавунному кокілі - $0,00282 \text{ м/с}^{0,5}$; з вуглецевої сталі, що остигають в ПГФ - $0,00167 \text{ м/с}^{0,5}$ і в чавунному кокілі - $0,00334 \text{ м/с}^{0,5}$; з латуні, що остигають в ПГФ - $0,00232 \text{ м/с}^{0,5}$ і в чавунному кокілі - $0,00503 \text{ м/с}^{0,5}$; з алюмінієвих сплавів, що остигають в чавунному кокілі - $0,00399 \text{ м/с}^{0,5}$.

Реальні виливки мають складну 3-х мірну конфігурацію, фронт твердіння тільки в окремих випадках є плоским, теплофізичні коефіцієнти змінюються із зменшенням температури, складно врахувати вплив литникової системи, і швидкості заповнення розплавом форми, наявність охолоджувачів, покриттів, утеплювачів і т.ін. Для вирішення такого класу завдань застосовують метод Фур'є, метод кінцевих інтегральних перетворень, операційний метод, метод функцій Гріна, метод кінцевих різниць і метод кінцевих елементів. Для прикладних розрахунків твердіння виливків найбільшого поширення набув інтегральний, в якому шукане рішення задовольняє не рівнянню теплопровідності, а інтегралу теплового балансу (метод А.І. Вейника, метод Т. Гудмена). У варіаційних методах також використовується ідея кінцевої глибини проникнення теплового обурення і задана наперед форма рішення. Проте найбільш точні і повні рішення складних задач можна одержати, застосовуючи чисельні методи розрахунку, засновані на кінцево-різницевих схемах, що дозволяє використовувати ПК.

Сучасні програми комп'ютерного моделювання дозволяють імітувати процеси, що відбуваються при заповненні розплавом форми, кристалізації багатокомпонентного сплаву, утворенні усадкових дефектів, розраховувати напруження у виливку. Найбільш відомі системи ProCast, AFSolid (SolidCast) – США; Полігон, LVMFow (NovaFlow) – Росія; Magma, Sitest (WinCast) – Німеччина; Simulor (Pamcast) – Франція; CastCAE – Фінляндія. Програми розрізняються функціональними можливостями і типом сітки, що генерується, - способом розбиття геометричної моделі на елементарні об'єми. Метод кінцевих елементів дозволяє точніше і швидше виконувати розрахунки в порівнянні з методом кінцевих різниць, але має складнішу схему розбиття на елементарні об'єми. Всі розробники надають бази даних по ливарних сплавах і матеріалах ливарних форм, охолоджувачів тощо. Точність результатів розрахунку багато в чому залежить від адаптації моделі до реальних процесів твердіння сплаву, одержаних найчастіше за допомогою експериментальних термографічних досліджень.

Для наближених розрахунків тривалості твердіння виливків, що мають форму циліндра або сфери, використовують гіпотезу приведеної товщини, згідно якої співвідношення тривалості твердіння плити, циліндра і сфери складає $1:0,25:0,11$. Тоді, якщо тривалість твердіння вилівка, що має форму плити,

складає 100 хв, тоді тривалість твердіння циліндра і сфери – 25 і 11 хв відповідно.

Вибивка виливків з ливарної форми, відбувається при температурі від кімнатної до 600°C і залежить від матеріалу сплаву, природного або штучного охолодження, товщини стінки виливка або особливих вимог до макро- і мікроструктури. На ливарних конвеєрах вибивку проводять, як правило, на інерційно-ударних вибивних ґратах (рис. 7.2). Після видалення від виливків елементів литниково-живлючої системи, які поступають в шихтове відділення на переплавку, проводять очищення виливків від задирок, пригару, заток різними методами: галтовкою, дробеметним (рис. 7.3), дробострумним, вібраційним, гідрравлічним, електрогідрравлічним, електрохімічним та ін.

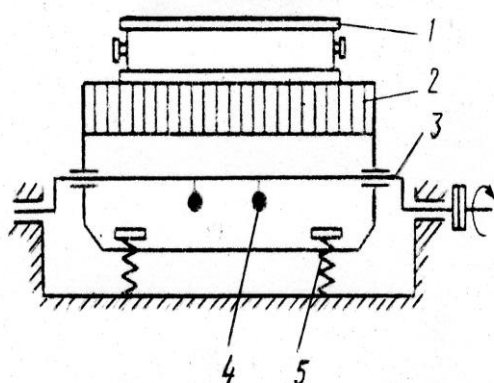


Рис. 7.2. Схема інерційно-ударних вибивних ґрат:

1 – опока; 2 – ґрати; 3 – привідний вал; 4 – дебаланс; 5 – амортизатор

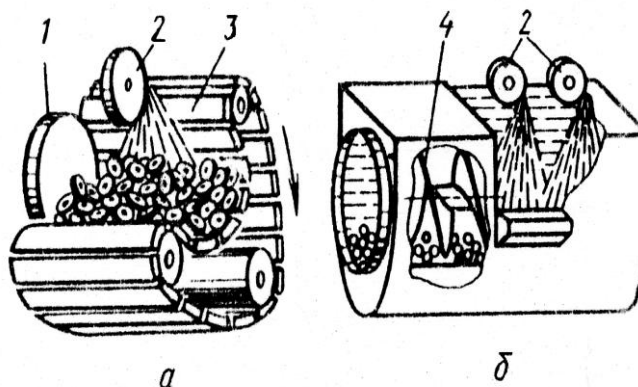


Рис. 7.3. Дробометні очисні барабани:

а – періодичної дії; б – безперервної; 1 – торцевий диск; 2 – дробометні головки; 3 – пластинчастий конвеєр; 4 – спіраль



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Чим обумовлено твердіння і охолодження сплаву у ливарній формі?
2. За яких теплофізичних умов гомогенні зародки набувають стійкості в розплаві?
3. За яких теплофізичних умов формуються гетерогенні зародки?
4. За яких теплофізичних умов відбувається об'ємне твердіння металу виливка?
5. Чому при послідовному твердінні метал виливка густіший з мінімальною кількістю усадкової пористості?
6. Розрахуйте значення коефіцієнта теплоакумуючої здатності піщано-глинистої (10% глини) сухої ливарної форми, якщо $\lambda=1,28 \text{ Вт/мК}$, $C=1080 \text{ Дж/кгК}$, $\rho=1650 \text{ кг/м}^3$.
7. Розрахуйте тривалість твердіння плоского, необмеженого, сталевого виливка із товщиною стінки 100 мм, що остигає в піщано-глинистій формі при коефіцієнті твердіння $0,00167 \text{ м/с}^{0,5}$.
8. Які способи розбиття геометричної моделі виливка та форми на елементарні об'єми застосовують сучасні програми комп'ютерного моделювання?
9. Використовуючи гіпотезу приведеної товщини розрахуйте тривалість твердіння виливків, що мають форму циліндра і сфери, якщо плита твердне через 100 хв?

10. Куди поступають елементи литниково-живлючої системи після видалення від виливків?

11. Якими методами проводять очищення виливків від задирок, пригару, заток?

8 ВИРОБНИЦТВО ВИЛИВКІВ ІЗ РІЗНИХ СПЛАВІВ

8.1 Чавунні виливки

Метали і сплави поділяють на дві групи: чорні - залізо, марганець, хром і сплави на їх основі, і кольорові – вся решта металів.

Чавун найпоширеніший матеріал для виготовлення виливків, обсяг його виробництва складає ~70% від загальної кількості виливків. Чавун - це багатокомпонентний сплав заліза з вуглецем (>2%) та іншими елементами, що характеризується евтектичним перетворенням. На характер кристалізації чавуну, форму, розміри і розташування фаз, що утворюються, впливає багато чинників: хімічний склад сплаву, мікродомішки, швидкість охолодження та ін. Наприклад, зміна швидкості твердіння в стінках виливків різної товщини викликає утворення різних мікроструктур в одному й тому ж виливку. Структуру чавуну можна змінювати, впливаючи на рідкий розплав перегрівом, модифікуванням, рафінуванням, термічною обробкою.

Залежно від ступеня графітизації по вигляду зламу чавун поділяють на сірий, білий і половинчастий (вибілений); за формою включень графіту - на чавун з пластинчастим, кулястим (високоміцний чавун), вермикулярним, пластівчастим (ковкий чавун) графітом; по структурі металевої основи - на перлітний, феритний, перлітно-феритний, аустенітний, бейнітний, мартенситний; за призначенням - на конструкційний та зі спеціальними властивостями.

8.1.1 Виливки із чавуну з пластинчастим графітом (із сірого чавуну)

Основні споживачі цих виливків - різні галузі металургії і машинобудування. Сірий чавун (СЧ) має добру рідкотекучість і незначну здатність до утворення усадкових дефектів порівняно з іншими типами чавунів. Завдяки пластинчастому графіту в структурі виливки мають високу демпфувальну здатність, гасять вібрацію, мають хороші антифрикційні властивості. Проте пластинчастий графіт порушує суцільність металевої основи, є концентратором напружень, що обумовлює порівняно невеликі значення тимчасового опору розриву при розтягуванні і низьку пластичність. Хімічний склад і властивості чавунів з пластинчастим графітом для виливків наведені в табл. 8.1.

Конструктор обирає марку чавуну, виходячи з необхідних механічних властивостей в найбільш навантажених частинах виливків. При виробництві чавунів високих марок збільшують частку сталевого лому в шихті і кількість добавок, які модифікують розплав, для запобігання відбілюванню чавуну і виділення міждендритного графіту.

Як графітизувальний модифікатор використовують феросиліцій ФС75Л (74-80% кремнію), комплексні сплави на основі кремнію, що містять Са, Ва, РЗМ та ін. Піщана ливарна форма забезпечує низьку швидкість твердіння і зменшує вірогідність відбілювання СЧ.

Таблиця 8.1 - Хімічний склад і властивості чавунів з пластинчастим графітом для виливків за ГОСТ 1412-85

Марка чавуну	Вміст хімічних елементів, мас. %						Властивості, не менше			
	C	Si	Mn	P	S	Fe	Твердість, HB	Тимчасовий опір при ро- зтягуванні σ _B , МПа	Лінійна усадка ε, %	Густина ρ, кг/м ³
				не більше як						
СЧ10	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15	Решта	190	100	1,0	6800
СЧ15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15		210	150	1,1	7000
СЧ20	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15		230	200	1,2	7100
СЧ25	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15		245	250	1,2	7200
СЧ30	3,0-3,2	1,3-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12		260	300	1,3	7300
СЧ35	2,7-3,0	1,2-1,5	0,7-1,1	0,2	0,12		275	350	1,3	7400

За підвищених вимог до механічних властивостей і особливих умов експлуатації виливків чавун легують хромом, марганцем (при вмісті понад 1%), нікелем, молібденом, міддю, титаном та ін. Легувальні елементи умовно поділяють на графітизувальні (Si, Al, C, Ti, Ni, Cu, P, Zr) і карбідоутворювальні (B, Te, Ce, Mg, S, Cr, Mn, W). Здатність СЧ до відбілювання і інтенсивність впливу кожного елементу приблизно характеризують константою графітизації:

$$K_{\Gamma} = C[Si-0,2(Mn-1,75S-0,3)+0,1P+0,4Ni-1,2Cr+0,5Al+0,2Cu+0,4Ti-0,4Mo-2V-8Mg].$$

Для збереження у виливках заданої структури сірого чавуну у разі додавання карбідоутворювальних легувальних елементів їх дію компенсують введенням графітизувальних елементів.

8.1.2 Виливки із ковкого чавуну

Ковкий чавун (КЧ) - конструкційний матеріал, з якого використовують виготовляють дрібні тонкостінні виливки для сільськогосподарських машин, автомобілів, тракторів та ін.

Завдяки компактній формі графіту (вуглецю відпалу) КЧ відрізняється високими механічними властивостями і пластичністю, займаючи в цьому відношенні проміжне положення між чавуном і сталлю. Основною особливістю технології є виготовлення виливків з білого чавуну. Кінцеву структуру чавуну

без структурно вільного цементиту одержують після відпалу. Розрізняють КЧ знеуглецьований і графітований.

Ливарні властивості КЧ низькі порівняно з сірим і високоміцним чавунами, але вищі, ніж у сталі. Знеуглецьований КЧ - єдиний конструкційний чавун, який зварюється і може бути використаний для отримання зварно-литих конструкцій. Хладостійкість КЧ вища в порівнянні з високоміцним чавуном.

Залежно від хімічного складу чавуну і режиму відпалювання можна отримати феритну, перлітну або перлітно-феритну металеву основу. Розрізняють два види ковкого чавуну: чорносерцевиний і білосерцевиний. Марки КЧ за ГОСТ 1215-79: КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12, КЧ 45-7, КЧ 50-5, КЧ 55-4, КЧ 60-3, КЧ 65-3, КЧ 70-2, КЧ 80-1,5, де КЧ – ковкий чавун, перша цифра відповідає мінімальному значенню тимчасового опору розриву при розтягу, МПа·10⁻¹, друга - мінімальному значенню відносного видовження, %.

8.1.3 Виливки із високоміцного чавуну (з кулястим графітом)

Високоміцний чавун (ВЧ) або у закордонних стандартах ductile iron (пластичний чавун), має широкий діапазон механічних і експлуатаційних властивостей, в основному, внаслідок кристалізації графіту в кулястій формі. Обсяги його виробництва безперервно збільшуються за рахунок скорочення виробництва виливків із СЧ, КЧ, сталі.

Нижча, в порівнянні з КЧ і сталлю, здатність до усадкових дефектів і вища рідкотекучість дозволяють одержувати виливки з товщиною стінки від 2,5-3,0 мм, масою від декількох десятків грамів до 200 т. ВЧ використовують в деталях, що працюють в умовах теплових ударів, термовтоми, мінусових температур, помірно агресивних газових і рідких середовищ.

Усі марки ВЧ мають високий модуль пружності і велику, в порівнянні зі сталлю, демпфувальну здатність. Межа текучості бейнітних ВЧ в 2,5 рази вища, ніж звичайних конструкційних сталей.

ВЧ в литому стані одержують при введенні в рідкий чавун модифікаторів: магнію або лігатур на його основі (Fe-Si-Mg, Ni-Mg і ін.), рідше – кальцію, ітрію, церію та інших РЗМ. За залишкового вмісту Mg в чавуні 0,03-0,07% графіт кристалізується у вигляді кулястих включень. Лігатури забезпечують технологічну простоту введення Mg в чавун, але мають високу вартість.

Ефективність модифікування зменшується з часом. Тому необхідно після модифікування якнайшвидше видалити шлак із ковша і провести заливку ливарних форм. На відміну від СЧ механічні властивості чавуну з кулястим графітом більшою мірою визначаються металевою основою і в меншій - кількістю, розмірами і розподілом графітових включень.

Марки ВЧ, хімічний склад і механічні властивості наведені табл. 8.2 і 8.3. Існуючі способи введення магнію в чавун можна поділити на дві групи: додавання за

підвищеного і при атмосферному тиску. Для введення магнію в чавун, що знаходиться під тиском, використовують автоклави (рис. 8.1).

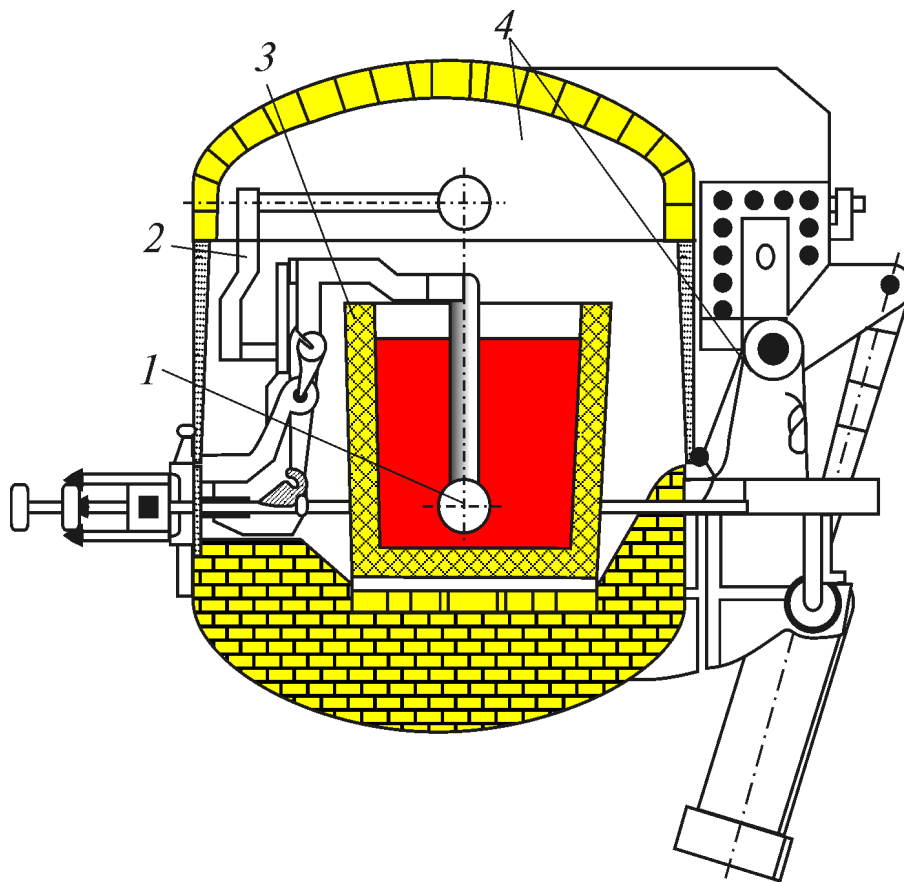


Рис. 8.1. Автоклав для модифікування чавуну магнієм:

1 – контейнер із заданою порцією магнію; 2 – важіль для занурення контейнера в чавун; 3 – ківш; 4 – герметизована камера з механізмом піднімання кришки

З підвищенням тиску температура кипіння магнію зростає від 1103 °С за атмосферного тиску до 1350 °С за тиску 0,6 МПа. Температура чавуну під час модифікування залежить від маси розплаву і становить 1370 °С, тому, якщо створити тиск над поверхнею розплаву 0,5 - 0,6 МПа, то магній розчинятиметься під дзеркалом металу з мінімальним ефектом кипіння.

Введення чистого магнію в рідкий чавун за атмосферного тиску супроводжується інтенсивним виділенням диму, виплесками металу, піроефектом і може бути здійснено тільки після виконання ряду вимог з техніки безпеки.

Для запобігання утворення у ВЧ ледебуриту чи цементиту проводять вторинне модифікування розплаву графітизувальними феросплавами, наприклад, феросилієм. Високий вміст вуглецю і кремнію у ВЧ (див. табл. 8.2) підвищує ливарні властивості чавуну і знижує його схильність до відбілювання. У чавунах з феритною матрицею вміст мангану і фосфору повинен бути мінімальним.

Низький рівень сірки в базовому чавуні (менше 0,02%) є однією з основних умов ефективності сфероїдизувальної обробки.

Таблиця 8.2 – Марка і хімічний склад чавуну з кулястою формою графіту для виливків за ДСТУ 3925-99

Марка чавуну	Масова частка елементів % (Fe – інше)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
				не більше як		
ВЧ 350-22	2,7-3,8	1,9-2,6	0,2-0,6	0,1	0,02	0,05
ВЧ 400-15*	3,3-3,8	1,9-2,6	0,2-0,6	0,1	0,02	0,05
ВЧ 420-12	3,3-3,8	1,9-2,9	0,2-0,6	0,1	0,02	0,1
ВЧ 450-10	3,3-3,8	1,9-2,9	0,2-0,6	0,1	0,02	0,1
ВЧ 450-5	3,4-3,8	1,9-2,9	0,2-0,6	0,1	0,02	0,1
ВЧ 500-7	3,2-3,4	1,9-2,9	0,2-0,7	0,1	0,02	0,1
ВЧ 500-2	3,2-3,6	1,9-2,9	0,2-0,9	0,1	0,02	0,15
ВЧ 600-3*	3,2-3,6	1,9-2,9	0,4-0,7	0,1	0,01	0,15
ВЧ 700-2*	3,2-3,6	1,9-2,9	0,5-0,9	0,1	0,01	0,15
ВЧ 800-2*	3,2-3,6	1,9-2,9	0,5-0,9	0,1	0,01	0,15
ВЧ 900-2*	3,2-3,6	1,9-2,9	0,6-0,9	0,1	0,01	0,15
ВЧ 1000-2*	3,2-3,6	1,9-2,8	0,6-0,9	0,1	0,01	0,15

* Допускається легування нікелем, міддю або іншими елементами.

Таблиця 8.3 – Основні механічні властивості чавуну з кулястою формою графіту за (ДСТУ 3925-99)

Марка чавуну	Тимчасовий опір при розтя- гуванні σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Умовна межа те- кучості $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	Відносне подовження δ ,%	Твердість , НВ
	не менше			
ВЧ 350-22	350 (35)	230 (23)	22	140-170
ВЧ 400-15	400 (40)	260 (26)	15	140-202
ВЧ 420-12	420 (42)	270 (27)	12	140-217
ВЧ 450-10	450 (45)	320 (32)	10	140-225
ВЧ 450-5	450 (45)	310 (31)	5	140-220
ВЧ 500-7	500 (50)	340 (34)	7	140-245
ВЧ 500-2	500 (50)	390 (39)	2	140-260
ВЧ 600-3	600 (60)	390 (39)	3	140-277
ВЧ 700-2	700 (70)	420 (42)	2	140-302
ВЧ 800-2	800 (80)	490 (49)	2	140-351
ВЧ 900-2	900 (90)	600 (60)	2	140-360
ВЧ 1000-2	1000 (100)	700 (70)	2	140-360

Збільшується об'єм виробництва ВЧ інмолд-процесом (inmold - у формі), при якому лігатура знаходиться в спеціальній реакційній камері литникової системи. Засвоєння модифікатора збільшується до ~85%, фізико-механічні властивості виливок зростають, процес виробництва спрощується. Проте посилюються вимоги по температурі і швидкості заливання, а вміст сірки в вихідному чавуні не повинен перевищувати 0,01%.

8.1.4 Виливки із чавуну з вермикулярним графітом

Чавун із вермикулярним графітом (ЧВГ) за властивостями є проміжним між чавунами з пластинчастим і кулястим графітом. Високі показники механічних властивостей і теплопровідності у поєднанні з добрими ливарними властивостями дозволяють використовувати ЧВГ для виготовлення крупних виливків складної конфігурації, для деталей, що працюють в умовах динамічних і термоциклічних навантажень.

Для отримання в структурі вермикулярного графіту в розплавлений метал вводять сфероїдизувальні присадки, як і у ВЧ, але в меншій кількості. Іншим способом виробництва ЧВГ є обробка сфероїдизувальними присадками для отримання спочатку ВЧ, а потім в розплав вводять елементи-демодифікатори для «погіршення» ступеня кулястості графіту. Як деглобуляризувальні елементи застосовують сірку, титан, алюміній.

Після обробки чавуну сфероїдизувальними присадками, як правило, проводять вторинне модифікування 75% феросиліцієм в кількості 0,3-0,8% від маси металу або іншими графітизувальними добавками для запобігання появи в структурі крихких цементитних виділень.

Марки ЧВГ, хімічний склад і основні механічні властивості виливків із чавуну з вермикулярним графітом, згідно ДСТУ 3926-99, наведені у табл. 8.4 і 8.5.

Таблиця 8.4 – Марка і хімічний склад виливків із чавуну з вермикулярним графітом (ДСТУ 3926-99)

Марка чавуну	Масова частка елементів, % (Fe – інше)									
	C	Si	Mn	Cu	P	S	Cr	Mg	PЗМ	Ca
					не більше як					
ЧВГ 300-4	3,3-3,8	2,2-2,8	0,2-0,6	-	0,08	0,025	0,15	0,012-0,028	0,03-0,12	-
ЧВГ 300-5	3,3-3,8	2,2-2,8	0,2-0,6	-	0,05	0,020	0,10	0,012-0,028	0,03-0,12	0,01-0,06
ЧВГ 400-4	3,2-3,7	2,0-2,5	0,2-0,6	0,4-0,6	0,05	0,020	0,10	0,012-0,028	0,03-0,12	0,01-0,06
ЧВГ 500-1	3,1-3,5	2,0-2,5	0,6-1,2	0,8-1,2	0,08	0,020	0,30	0,012-0,028	0,03-0,12	0,01-0,06

Таблиця 8.5 – Основні механічні властивості виливків із чавуну з вермикулярним графітом за (ДСТУ 3926-99)

Марка чавуну	Тимчасовий опір при розтягуванні σ_B , МПа (кгс/мм ²)	Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	Відносне видов- ження δ ,%	Твердість, НВ*
	не менше			
ЧВГ 300-4	300 (30)	240 (24)	4	130-180
ЧВГ 300-5	300 (30)	230 (23)	5	120-180
ЧВГ 400-4	400 (40)	330 (33)	4	160-210
ЧВГ 500-1	500 (50)	390 (39)	1	200-250

* На вимогу споживача допускається встановлювати інші значення твердості.

8.1.5 Виливки із білого і вибіленого чавунів

Білий чавун має на зламі вилівка макроструктуру білого кольору, що вказує на утворення цементиту (карбіду). Деталі з білого чавуну мають високу зносостійкість, їх застосовують для виготовлення броні кульових млинів, молоткових куль, лопатей шнеків, лопаток дробометальних турбін тощо.

Нелегований білий чавун вирізняється підвищеною крихкістю, тому його доцільно використовувати в деталях, які в процесі експлуатації не зазнають ударних навантажень і не потребують механічної обробки, оскільки механічна обробка можлива тільки в разі використанні спеціальних різців.

Зносостійкі білі леговані чавуни – це виливки з хромистих, ванадієвих, мангано-хромистих, нікель-хромистих чавунів, основна особливість яких - наявність в мікроструктурі легованих карбідів заліза і (або) карбідів легувальних елементів. Максимальні експлуатаційні властивості мають сплави, в яких найтвердіші структурні складові оточенні в'язкою суцільною матрицею (принцип Шарпі).

Ливарні властивості білих чавунів гірші порівнянню з СЧ, проте їх рідкотекучість достатня для отримання литих заготовок із товщиною стінки 6-8 мм і ребрами 3-4 мм в піщаних формах.

Підвищена здатність білих чавунів до утворення гарячих і холодних тріщин обумовлена широким температурним інтервалом тверднення сплавів, низькою теплопровідністю (12-15 Вт/мК), великою лінійною усадкою. Сплави евтектичних складів білих легованих чавунів характеризуються максимальною пластичністю і кращими ливарними властивостями.

Набули поширення леговані білі чавуни, що мають загальною назву ніхарди. Це, в основному, хромонікелевий чавун, який містить до 6,5% нікелю і до 9% хрому. Виливки з такого чавуну мають високі твердість (HRC≥ 55) і міцність.

Деталі, що працюють в умовах посиленого зношення і підвищених навантажень, наприклад, прокатні валки, каландрові вали, колеса, виготовляють із чавуну з поверхневим вибілюванням (від 3 до 35 мм) і з в'язкою і міцною серцевиною. Вибілювання на поверхні вилівка, крім спеціально розрахованого хімічного складу з карбідо- і графітоутворювальних елементів, забезпечує кокільна ливарна форма.

До групи чавунів зі спеціальними властивостями входять вилівки з жаростійких, жароміцних, корозійностійких, немагнітних і антифрикційних чавунів. Їх марки і позначення, вимоги до хімічного складу і фізико-механічних властивостей мають відповідати чинним стандартам.

8.2 Сталеві вилівки

Ливарні сталі так само, як і чавуни, є багатокомпонентними залізовуглецевими сплавами, вміст вуглецю в яких обмежується 2%. Проте в більшій частині промислових марок концентрація вуглецю складає десятки і соті долі відсотка.

Сталеві вилівки мають найбільш високі показники міцності, пластичності і в'язкості в порівнянні зі всіма матеріалами, вживаними в машинобудуванні. Шляхом раціонального легування, модифікування і термічної обробки досягаються оптимальні фізико-механічні властивості.

Залежно від призначення і вимог, що створюються до сталевих вилівок (ГОСТ 977-88), їх поділяють на 3 групи: вилівки загального (І), відповідального (ІІ) і особливо відповідального (ІІІ) призначення.

Вилівки загального призначення - це заготовки для деталей, конфігурація і розміри яких визначаються тільки на підставі конструктивними і технологічними міркувань; вилівки відповідального призначення - заготовки для деталей, що розраховані на міцність і працюють за статичних навантажень; вилівки особливо відповідального призначення - заготовки для деталей, розраховані на міцність і працюють за циклічних і динамічних навантажень.

Для кожної з цих груп вилівок передбачено відповідний об'єкт контролю: у групі І контролюють зовнішній вигляд, розміри, хімічний склад; у групі ІІ додатково контролюють механічні властивості (межі текучості або тимчасового опору і відносного видовження); у групі ІІІ крім перелічених вище параметрів контролюють ще й ударну в'язкість.

Групу вилівок за призначенням зазначають у технічних вимогах креслення. Наприклад, вилівок І-ї групи ГОСТ 977-88.

Крім класифікації за призначенням сталеві вилівки розрізняють також: за способом виготовлення - масові, велико- і дрібносерійні, індивідуальні і унікальні; точністю - литво під тиском, литво за моделями, що виплавляються, кокільне, оболонкове, в піщані форми; найменуванню сталі - конструкційні нелеговані, конструкційні леговані, леговані зі спеціальними властивостями; вмісту вуглецю - низьковуглецеві $>0,2\%$ (застосовують в електромашинобудуванні),

середньовуглецеві 0,20-0,40% (машинобудівні виливки) і високовуглецеві >0,4% (застосовують для лиття валків, броні кульових млинів тощо). За хімічним складом сталеві виливки поділяють на чотири класи.

1. Виливки з нелегованої (вуглецевої) сталі.
2. Виливки з низьколегованої сталі із сумарним вмістом легувальних елементів до 2,5% (без вуглецю).
3. Виливки із середньолегованої сталі із сумарним вмістом легувальних елементів від 2,5 до 10%.
4. Виливки з високолегованої сталі із сумарним вмістом легувальних елементів понад 10%.

За призначенням сталі поділяють на:

- конструкційні, призначені для виготовлення будівельних і машинобудівних виробів;
- інструментальні, з яких виготовляють різальний, вимірний, штамповий та інші інструменти (вміст вуглецю >0,65%);
- з особливими фізичними властивостями, наприклад з певними магнітними характеристиками чи малим коефіцієнтом лінійного розширення: електротехнічна сталь, суперінвар;
- з особливими хімічними властивостями, наприклад неіржавні, жаростійкі, жароміцні.

Залежно від вмісту шкідливих домішок сталі поділяють на:

- звичайної якості, що містять до 0,06% сірки і до 0,07% фосфору;
- якісні - до 0,035% сірки і до 0,035% фосфору;
- високоякісні - до 0,025% сірки і до 0,025% фосфору;
- особливо високоякісні - до 0,015% сірки і до 0,025% фосфору.

У позначенні марок сталі перші цифри вказують середню або максимальну (за відсутності нижньої межі) масову частку вуглецю в сотих частках відсотка; літери, що стоять після цифр, означають: А - азот, Б - ніобій, В - вольфрам, Г - манган, Д - мідь, М - молібден, Н - нікель, Р - бор, С - силіцій, Т - титан, Ф - ванадій, Х - хром, П - фосфор, Ц - цирконій, Ю - алюміній, Л - ливарна.

Цифри, що стоять після літер, вказують приблизну масову частку легувального елемента у відсотках. Літера А перед позначенням марки вказує на належність сталі до групи автоматних, у середині позначення – відзначає присутність в сталі азоту як легувального елемента, в кінці позначення – вміст сірки і фосфору не більш як 0,025% кожного. Індеси К і КТ є умовними позначеннями категорії міцності, наступне за ними число вказує значення необхідної межі текучості.

Індекс К присвоюють матеріалу у відпаленому, нормалізованому або відпущеному стані, індекс КТ - після загартування і відпускання. Ці індекси ставлять на виробках, які приймає замовник.

Приклади умовного позначення сталевих виливків: 25Л ГОСТ 977-88 або 25Л К20 ГОСТ 977-88; 23ХГС2МФЛ ГОСТ 977-88 або 23ХГС2МФЛ КТ110 ГОСТ 977-88.

Сталеві виливки виробляють усіма відомими способами лиття. Через високу усадку щільні виливки можна отримати тільки встановленням надливів і створенням спрямованого, послідовного тверднення. Без надливів сталь придатна для виготовлення лише маловідповідальних тонкостінних виливків. Усадка сталі в інтервалі температур тверднення $t_{\text{н}}-t_{\text{с}}$ і твердому стані може спричинити утворення гарячих і холодних тріщин, жолоблення виливків, високі внутрішні напруження і зміну лінійних розмірів.

Утворенню гарячих тріщин в основному запобігають поліпшенням технології виготовлення форм і стрижнів, забезпеченням їх доброї піддатливості, газопроникності, раціональними режимами заливання та охолодження.

У області температур нижче за $\sim 650^{\circ}\text{C}$, під впливом внутрішніх напружень або зовнішніх навантажень у сталевих виливках виникають переважно пружні деформації, які призводять до утворення холодних тріщин. Холодні тріщини часто називають «волосовинами» через їх невеликі розміри. Метал на разі руйнується не по межах зерен, а по самих зернах.

Виробництво сталевих виливків регламентує ГОСТ 977–88 «Виливки сталеві. Загальні технічні умови» і ГОСТ 21357–87 «Виливки з холодостійкої і зносостійкої сталі. Загальні технічні вимоги». Недоцільно довільно вводити нові хімічні склади сталей, оскільки після експлуатації всі виливки утилізують, що утруднює шихтування при переплавлянні.

8.2.1 Виливки із конструкційної нелегованої (вуглецевої) сталі

Вуглецеву сталь залежно від вмісту вуглецю поділяють на низьковуглецеву (до 0,2% C), середньовуглецеву (0,22 - 0,40% C) і високовуглецеву (понад 0,4% до 2,0% C). Вуглець - основний елемент, що визначає механічні властивості цих сталей. Із низьковуглецевих сталей виготовляють високопластичні деталі. Високовуглецеві сталі призначені для виливків, що працюють в абразивному середовищі без ударів.

Виробництво сталевих виливків складніше і трудомісткіше, ніж виливків із сірого чавуну. Рідкотекучість вуглецевої сталі в середньому в двічі менша за рідкотекучість сірих чавунів, а усадка сталі значно вища, що обумовлює утворення усадкових раковин і пористості (див. рис. 6.7).

ГОСТ 977-88 передбачає 8 марок конструкційної нелегованої сталі: 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л. Вуглецева сталь містить також невелику кількість силіцію і мангану.

Вміст сірки і фосфору визначається групою виливків і типом футерування плавильного агрегату: за основного футерування печі вміст сірки і фосфору у виливках I групи до 0,04, II - 0,035, III - 0,03% кожного, за кислого футерування - 0,05-0,06%. У якісних сталевих виливках таке високе забруднення шкідливими домішками неприпустимо.

Скупчення легкоплавких сульфідів сірки на межа зерен зумовлює утворення гарячих тріщин у виливках і посилює червоноламкість сталі.

8.2.2 Виливки із конструкційної легованої сталі

ГОСТ 977-88 передбачає 30 марок конструкційної легованої сталі. В їх числі економно легovanі (манганові - 20ГЛ, 35ГЛ, силіційманганові - 20ГСЛ, 30ГСЛ; хромосиліційманганові - 35ХГСЛ; ванадієві та ін.) і складнолеговані, що містять нікель, молібден, мідь. Чим складніше за складом легована сталь, тим менша кількість шкідливих домішок (сірки і фосфору) в ній допускається (до 0,015 порівняно з 0,050%). Крім того, складнолеговані сталі, як правило, піддають термічній обробці - загартуванню з відпусканням, а не нормалізації. У стандарті наведено також сфери застосування конструкційних легованих сталей. Наприклад, сталь 20ГСЛ призначена для корпусних деталей гідротурбін, що працюють за температури до 450°C, сталь 20ГЛ - для дисків, зірочок та ін.

8.2.3 Виливки із легованих сталей зі спеціальними властивостями

ГОСТ 977-88 передбачає 41 марку сталі зі спеціальними властивостями,, зокрема 12 марок сталей мартенситного класу, 18 - аустенітного, 6 - аустенітно-феритного, 3 - аустенітно-мартенситного і по 1 марці - мартенситноферитного і феритного класів. Лиття з легованої сталі забезпечує високі фізико-механічні властивості отриманого металу, дає змогу зменшити масу литих деталей і надає їм спеціальних властивостей, необхідних під час експлуатації.

Серед високолегованих сталей, які застосовують для фасонних виливків, найпоширеніші зносостійкі сталі аустенітного класу марок 110Г13Л, 110Г13ФТЛ та інші з підвищеним вмістом мангану (сталь Гатфільда). Із цих сталей виготовляють корпуси вихрових і кульових млинів, щоби дробарок, трамвайні і залізничні стрілки, хрестовини, гусеничні траки, зуби ковшів екскаваторів та інші деталі, що працюють в умовах ударного й абразивного зношення. Сталь виплавляють у печах з основним футеруванням, рідше – з кислим футеруванням за умови дотримання вимог стандарту. Експлуатаційних властивостей виливки набувають після термообробки.

8.3 Виливки зі сплавів кольорових металів

Виливки зі сплавів кольорових металів характеризуються високою питомою міцністю та низкою унікальних фізико-механічних і хімічних властивостей. Кольорові метали поділяють на важкі (густиною 7140 до 8900 кг/м³ – цинк, олово, мідь, нікель та ін.) і легкі (густиною до 4540 кг/м³ - алюміній, магній, титан).

тан та ін.). Умовно виливки зі сплавів кольорових металів поділяють за типом сплаву: алюмінієві, магнієві, мідні, нікелеві, легкоплавкі, тугоплавкі, сплави благородних металів.

Для виготовлення фасонних виливків з алюмінію ($t_{\text{пл}}=660\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho=2700\text{ кг/м}^3$) використовують сплави, які поділяють на п'ять груп: на основі системи Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Cu, Al-Mg, Al - інші компоненти (ДСТУ 2839-94). Для маркування алюмінієвих сплавів прийнято такі позначення: А – алюміній, К – силіцій, Ц – цинк, Мг – магній, М – мідь, Н – нікель, С – свинець, Мп – манган, Б – берилій, Ср – срібло, Ж – залізо, Мш – арсен, Су – стибій, Т - титан, Кд – кадмій, О – олово, Ф – фосфор, Х - хром.

Цифри після літер указують середній вміст хімічного елемента в сплаві. Так, виливки зі сплаву АК12 евтектичного складу застосовують для виготовлення виробів та устаткування, призначених для контакту з харчовими продуктами. Причому, за вмісту силіцію ~12% вміст свинцю має не перевищувати 0,15%, арсену – 0,015%, цинку – 0,3%, берилію – 0,0005%. Механічні властивості сплаву АК12 мають характеризуватися показниками, не меншими за: тимчасовий опір при розтягу $\sigma_B=147\text{ МПа}$ (15 кгс/мм^2), відносне видовження $\delta=4\%$, твердість HB=50. За постачання сплаву АК12 в чушках їх маркують незмивною фарбою (білою, зеленою) у формі смуг (хрестів, трикутників), або металевим клеймом на поверхні.

У разі плавлення на повітрі алюмінієві сплави окиснюються і на їх поверхні утворюється оксидна плівка. Тому дзеркало металу захищають спеціальними флюсами. Перед заливанням сплави, як правило, рафінують (очищають) від звислих неметалевих включень і розчиненого водню, модифікують для подрібнення макрозерен, що підвищує однорідність механічних властивостей в різних за товщини стінках виливка. Сплави заливають у кокіль, під тиском, у піщані, оболонкові форми.

Для виготовлення фасонних виливків використовують три групи сплавів на основі магнію ($t_{\text{пл}}=649\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кип}}=1103\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho=1740\text{ кг/м}^3$): сплави магнію з алюмінієм і цинком, сплави магнію з цинком і цирконієм, сплави магнію, що леговані РЗМ. Виливки з цих сплавів широко застосовують у виробництві автомобілів, авіаційної техніки, космічних апаратів.

Під час плавлення магнієвих сплавів, через легку окиснюваність, на їх поверхні утворюється пухка плівка оксиду, що не оберігає метал від подальшого окиснення. За незначного перегрівання магнієві сплави легко спалахують, тому плавлять їх під флюсами або в середовищі захисних газів. Сплави фільтрують для видалення неметалічних включень і модифікують. Для досягнення заданих експлуатаційних властивостей заливати магнієві сплави доцільно в кокіль.

Для виготовлення виливків із мідних сплавів використовують олов'яні і безолов'яні бронзи, латуні. Мідні сплави позначають початковими літерами їх-

ніх назв (Бр або Л), далі йдуть перші літери назв основних елементів, які утворюють сплав, і цифри, що вказують вміст елемента у відсотках. З 11 марок олов'яної бронзи найпоширенішим є сплав БрО5Ц5С5 ГОСТ 613-79 (вміст олова, цинку і свинцю - по 4-6%, решта - мідь).

Жорсткі обмеження щодо вмісту шкідливих домішок – алюмінію, заліза, силіцію, фосфору, стибію (всього не більш як 1,3%), а також арсену, магнію і сірки обумовлені необхідністю збереження добрих ливарних і фізико-механічних властивостей антифрикційних деталей, арматури. Механічні властивості БрО5Ц5С5 за лиття в кокіль мають бути не меншими за: тимчасовий опір при розтягу $\sigma_B = 176,2$ МПа (18 кгс/мм²), відносне видовження $\delta = 4\%$, твердість HB=60; за лиття в піщану форму - $\sigma_B = 147$ МПа (15 кгс/мм²), $\delta = 6\%$, HB=60. Основні ливарні властивості сплаву БрО5Ц5С5: лінійна усадка ~1,6%, об'ємна усадка 4,0-4,5%, рідкотекучість ~400мм.

Як приклад безолов'яної бронзи можна навести сплав БрА9Ж3 ГОСТ 493-79, механічні властивості якого за лиття в кокіль і піщану форму мають характеризуватися показниками, не меншими за: $\sigma_B = 392$ МПа (40 кгс/мм²), $\delta = 10\%$, HB=100. Основні ливарні властивості сплаву БрА9Ж3: лінійна усадка 2,0-2,5%, об'ємна усадка 6,0-6,5%, рідкотекучість ~800мм.

Латунь - сплав міді з цинком (до 50%) і домішками невеликих кількостей алюмінію, силіцію, свинцю, нікелю, мангану. Наприклад, ЛЦ40Мц3Ж ГОСТ 17711-91 – латунь манганисто-залізиста, що містить, %: Cu 53-58, Mn 3-4, Fe 0,5-1,5, Zn - решта, шкідливих домішок у сумі не більш як 1,7%. Цей сплав застосовують для лиття гребних гвинтів та їхніх лопатей, деталей, що експлуатуються в умовах тропіків. Механічні властивості сплаву ЛЦ40Мц3Ж за лиття в кокіль мають бути не меншими за: $\sigma_B = 490$ МПа (50 кгс/мм²), $\delta = 10\%$, HB=100.

Основні ливарні властивості: лінійна усадка ~1,6%, об'ємна усадка 5,0-6,0%, рідкотекучість ~570мм. У простих за складом латунях зазначають тільки вміст міді. Наприклад, Л96 - латунь, що містить 96% Cu і ~4% Zn, відома також під назвою «томпак». Рекомендовані способи лиття: у піщану ливарну форму, в кокіль, під тиском, відцентрове.

Під час плавлення латуні і бронзи обов'язково потрібно застосовувати спеціальні захисні флюси, які запобігають проникненню водню й очищають розплавлений метал від шкідливих домішок. Для розкислення мідних сплавів використовують лігатури. Наприклад, фосфориста мідь забезпечує не тільки розкислення, але і збільшує рідкотекучість олов'янистої бронзи.

Цинк – легкоплавкий метал ($t_{пл} = 419,5$ °C), доволі поширений у природі, в литому стані його густина становить 7140 кг/м³. Цинк має сріблясто-білий, трохи синюватий колір, на повітрі окиснюється і вкривається захисною плівкою. Низька температура кипіння цинку ($t_{кип} = 907$ °C) обмежує допустимі температури перегрівання сплавів. Незважаючи на це, цинкові сплави мають добру рід-

котекучість, їх широко використовують за лиття під тиском. Виливки з цинкових сплавів корозійно стійкі.

Титан ($t_{\text{пл}} = 1668^{\circ}\text{C}$, $\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$) і сплави на його основі - найважливіші матеріали в авіаційній і космічній промисловості. Такі сплави плавлять у вакуумних печах через здатність титану відновлювати всі відомі оксиди. Основний спосіб лиття – відцентровий у графітові форми.

Нікель ($t_{\text{пл}} = 1453^{\circ}\text{C}$, $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$) належить до дорогих і дефіцитних металів. Сплави на основі нікелю є основою сучасних жароміцних і корозійно-стійких матеріалів, вживаних в космічній, авіаційній техніці, хімічній промисловості. Виливки з нікелевих сплавів немагнітні, їх одержують, в основному, литтям по моделях, що виплавляються. Плавку таких сплавів проводять у вакуумних печах.

Кобальт ($t_{\text{пл}} = 1492^{\circ}\text{C}$, $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$) є основою для виробництва прецизійних сплавів, зокрема жароміцних, магнітних і ін. Підвищенню міцності таких сплавів сприяє дисперсійне твердіння. Рекомендовані способи лиття – в керамічні форми, по моделях, що виплавляються, в кокіль.

Виливки із золота і його сплавів застосовують, як правило, в ювелірному виробництві, електронній промисловості. Золото ($t_{\text{пл}} = 1063^{\circ}\text{C}$, $\rho = 19320 \text{ кг/м}^3$) – благородний метал, стійкий в атмосфері, морській воді, не взаємодіє з кислотами (крім «царської горілки» - суміші соляної й азотної кислот). Чисте золото дуже м'яке, не зносостійке, має не дуже привабливий червоний колір. Найякісніші сплави золота відповідають 750-й пробі (75% Au). Рекомендований спосіб лиття – за моделями, які виплавляють.

Виливки з срібла та його сплавів використовують для виготовлення ювелірних виробів, в електронній промисловості. Срібло ($t_{\text{пл}} = 963^{\circ}\text{C}$, $\rho = 10500 \text{ кг/м}^3$) – другий після золота шляхетний метал. Чисте поліроване срібло практично не змінює свій колір на повітрі, але проте під дією сірководню з часом вкривається темним нальотом – сульфідом срібла. Основні способи лиття – за моделями, які виплавляють, у кокіль.

Виливки з платини ($t_{\text{пл}} = 1768^{\circ}\text{C}$, $\rho = 21450 \text{ кг/м}^3$) застосовують для виготовлення ювелірних виробів, мають біло-сіре забарвлення, добре поліруються. Оскільки платина в чистому вигляді дуже м'яка, то її легують міддю, іридієм, паладієм, родієм та ін.



В ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які метали прийнято відносити до групи чорних, а які - до групи кольорових?
2. Який максимальний вміст вуглецю допускається в сталях?
3. Який максимальний вміст легуючих елементів (без вуглецю) допускається у виливках з низьколегованої сталі?
4. Який максимальний вміст легуючих елементів (без вуглецю) допускається у виливках середньолегованої сталі?

5. Який максимальний вміст легуючих елементів (без вуглецю) допускається у виливках з високолегованої сталі?
6. Розшифруйте умовне позначення сталевого виливка 25Л ГОСТ 977-88.
7. Розшифруйте умовне позначення сталевого виливка 110Г13Л ГОСТ 977-88.
8. Розшифруйте умовне позначення сталевого виливка 23ХГС2МФЛ ГОСТ 977-88.
9. Розшифруйте умовне позначення чавунного виливка ЧВГ 300-4 ДСТУ 3926-99.
10. Назвіть основну причину необхідності застосування надливів у виливках із сталі.
11. Який мінімальний вміст вуглецю в чавунах?
12. Як швидко відрізнити сірий чавун від білого на зламі технологічної проби?
13. Як позначають виливки із чавуну з пластинчастою формою графіту за ГОСТ 1412-85?
14. Яка форма графіту є у виливках з високоміцного чавуну?
15. Назвіть основні механічні властивості високоміцного чавуну ВЧ 500-7 ДСТУ 3925-99.
16. Охарактеризуйте вміст основних хімічних елементів в алюмінієвому сплаві АК12 ДСТУ 2839-94.
17. Охарактеризуйте вміст основних хімічних елементів в сплаві БрО5Ц5С5 ГОСТ 613-79.
18. Охарактеризуйте вміст основних хімічних елементів в латуні ЛЦ40МцЗЖ ГОСТ 17711-80.
19. Який спосіб лиття виливків із золота і його сплавів застосовують в ливарному виробництві?

9 СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЛИТТЯ

До спеціальних способів лиття належать усі технологічні процеси виробництва виливків, що дають змогу отримувати точніші заготовки з меншою шорсткістю поверхні, ніж за лиття в разові піщано-глинисті форми (ПГФ). Основні технологічні можливості лиття в ПГФ, кокільні (металеві), оболонкові форми, лиття за моделями, які виплавляють (ЛВМ), під тиском наведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Порівняльна характеристика способів лиття

Спосіб лиття	Максимальна маса виливка, кг	Максимальний габаритний розмір, мм	Мінімальна товщина стінки, мм	Шорсткість литої поверхні Rz, мкм
У піщано-глинисту форму	400000	3000 і більше	4-8	(80) 200-300
У кокіль	1000	3000	3-5	40-60
У виливницю	400000			
Відцентрове	40000	6000	5-6	20-80
В оболонкові форми	150	1500	3-6	40-50
За моделями, що виплавляють	100	1000	1-3	5-20
Під тиском	30	700	0,5-1	0,05-10

Спосіб виробництва виливків обирають на основі комплексної оцінки технічної можливості (див. табл. 9.1) і економічної доцільності здійснення такого процесу.

9.1 Лиття в оболонкові форми. На модельну плиту з моделлю 1 (рис. 9.1 а), заздалегідь нагріту до 200—300 °С і вкриту роздільним мастилом, насипають піщано-смоляну (термореактивну) суміш 3 (див. рис. 9.1, б). Під дією теплоти смола протягом 10-30 с розплавляється, обволікає і склеює зерна піску-наповнювача. Утворюється оболонка 4 завтовшки 5-20 мм. За обороту модельної плити на 180° з неї обсыпається незатверділа піщано-смоляна суміш (див. рис. 9.1, в). Для зміцнення оболонки модельне оснащення нагрівають до 300-400 °С (див. рис. 9.1, г), смола полімеризується і переходить у твердий стан. Після цього оболонку 5 знімають з оснащення (див. рис. 9.1, д).

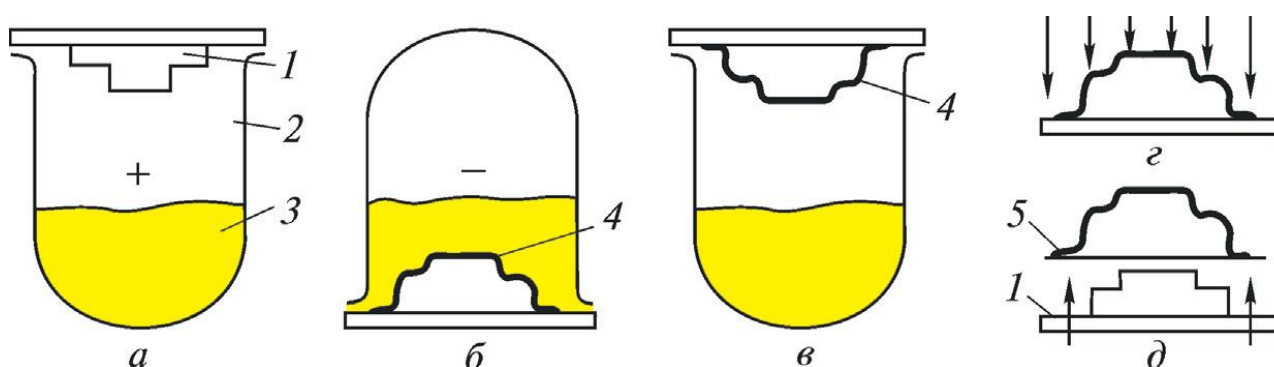


Рис. 9.1. Схема бункерного способу виготовлення оболонкових форм:

а - встановлення нагрітої модельної плити 1 на бункер 2 із сумішшю 3; б - обертання бункера і нарощування шару оболонки 4; в - повернення бункера в початкове положення і знімання плити; г - спікання оболонкової форми тепловим потоком; д - знімання оболонки 5 із плити 1

Аналогічно виготовляють другу половину форми, з'єднують їх і заливають металом. Після тверднення виливків оболонкову форму руйнують. При бункерному способі формоутворення існує межа товщини формованої оболонки. Для сумішей зі зв'язуючим - фенолформальдегідом ця межа дорівнює 9-12 мм. Для отримання оболонок з товщиною стінки 18-20 мм здійснюють подвійне бункерування.

Переваги лиття в оболонкові форми в порівнянні з ПГФ: зменшення параметрів шорсткості поверхні до Rz 40-50 мкм; можливість отримання виливків з тонким і складним рельєфом, а також товстостінних виливків з литими каналами малих перетинів, скорочення в 8 - 10 разів об'єму переробки і транспортування формувальних матеріалів, зниження в ~2 рази капітальних витрат на устаткування і виробничі площі.

Недоліки способу: дорогі зв'язуючі, складність виготовлення модельного оснащення, підвищене виділення шкідливих речовин внаслідок термічного розкладання зв'язуючого, неможливість виготовлення крупногабаритних виливків.

9.2 Лиття по моделях, що виплавляють (ЛВМ). Литтям або механічною обробкою виготовляють прес-форму 1 (рис. 9.2), робоча порожнина якої точно відтворює конфігурацію майбутнього виливка. У прес-форму під тиском запресовують пастоподібний або заливають рідку модельну суміш.

За звичай це суміш матеріалів, які плавляться за температури до 100 °С: парафіну, стеарину, буровугільного чи торф'яного воску або розчинних речовин у воді (наприклад, карбаміду). Після охолодження модельної суміші в прес-формі модель 2 (чи кілька моделей, які зв'язані ланками) виймають з прес-форми і складають у блоки за допомогою механічного кріплення або паяння. На блоки моделей методом занурення наносять шар вогнетривкої суспензії 4, який присипають сухим піском 5.

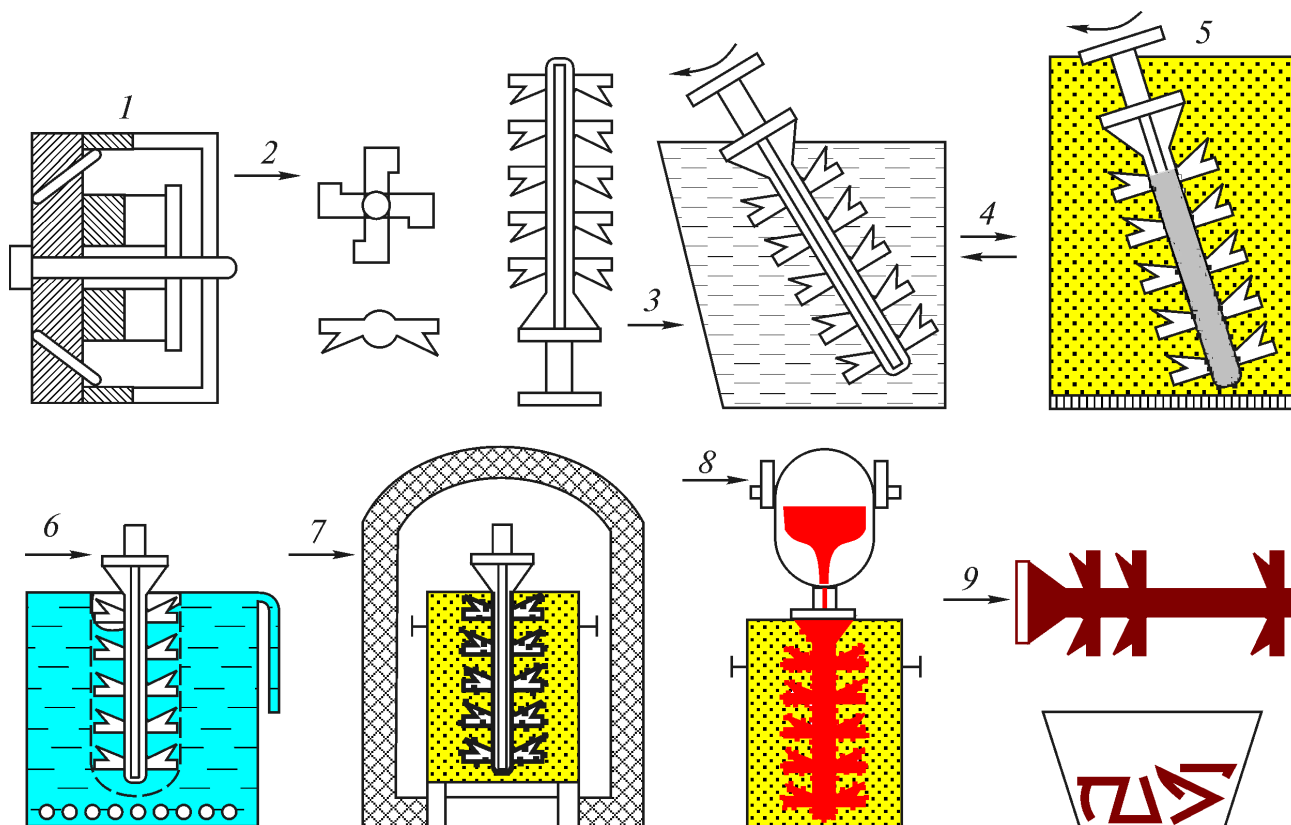


Рис. 9.2. Основні технологічні операції виробництва виливків способом лиття по моделях, що виплавляють:

1 - прес-форма; 2 - модель виливка і частини литникової системи; 3 - блок моделей; 4 - нанесення вогнетривкої суспензії; 5 - обсіпання сухим піском; 6 – виплавляння модельного складу; 7 - прожарення оболонок, заформованих у сипкий опорний наповнювач; 8 - заливання форм; 9 - вибивання блоків і відокремлення виливків від стояків

Вогнетривка суспензія – це сметаноподібна маса, що складається з рідкого зв'язуючого матеріалу (гідролізованого розчину етилсилікату) і пилоподібного вогнетривкого наповнювача (маршаліту, пилоподібного кварцу, циркону, шамоту і ін.). Нанесені на блоки моделей 5-10 шарів вогнетривкої суспензії, об-

сипані кварцовим піском, сушать, причому, кожен шар окремо. При цьому з гідролізованого розчину етилсилікату виділяється гель кремнезему, який цементує (зв'язує) зерна пилоподібного наповнювача і зерна сипкого матеріалу.

Тривалість сушіння кожного шару 2 - 5 годин. Потім із блока моделей ви модельну суміш : виплавляють гарячою водою або парою.

Далі оболонки заформовують сипким опорним наповнювачем у спеціальних контейнерах і прожарюють від 1 до 3 годин у термічних печах 7 за температури $\sim 900 - 1000^{\circ}\text{C}$. Це забезпечує видалення з оболонки всіх газотвірних складових і підвищує її газопроникність. Прожарені форми виймають із печі і в гарячому стані заливають металом 8. Після охолодження виливків оболонки видаляють вібрацією. З внутрішніх порожнин сталевих виливків оболонку видаляють вилуженням у розчинах NaOH і KOH . Виливок відламують від стояка за допомогою прошивних пресів 9.

Переваги способу: наявність нерознімної разової моделі і форми, що точно повторює форму виливка; шорсткість поверхні виливків 5-20 мкм; допуски на механічну обробку $\sim 0,5$ мм або їх відсутність. ЛВМ застосовують для отримання деталей зі складнооброблюваних сплавів, а також у художньому і ювелірному виробництві. Недоліки способу: багатоопераційність і тривалість процесу (до 144 годин), дорожня зв'язка, обмеження за масою і розмірам виливків (див. табл. 9.1).

9.3 Лиття в кокіль – це процес отримання виливків шляхом вільної заливки металу в металеві форми (кокілі). Матеріалом для кокілів служить чавун, рідше сталь, алюміній і мідь. На рис. 9.3

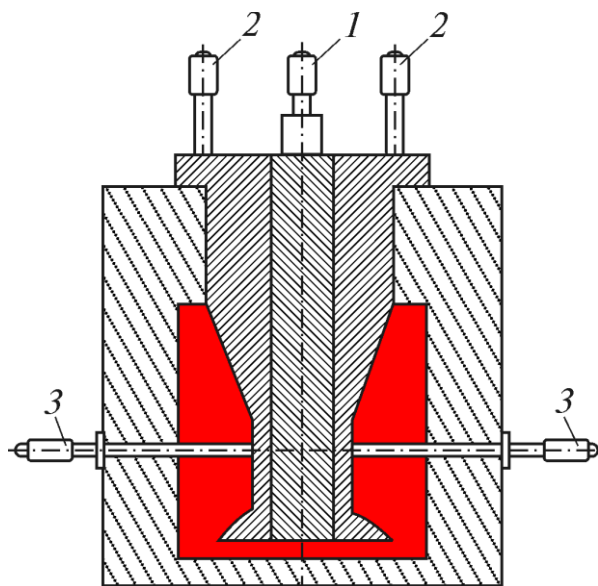


Рис. 9.3. Кокіль для лиття

поршнів:

1 - клин; 2 - боковини (1 і 2 складають центровий стрижень); 3 - циліндрові стрижні

приведений кокіль для лиття алюмінієвих поршнів.

Зовнішню конфігурацію поршня виконують рознімним кокілем, а внутрішню - центровим стрижнем, що складається з двох боковин 2 і клину 1. Отвори в поршні одержують циліндровими стрижнями 3. Після заливання сплаву через розрахунковий проміжок часу видаляють клин 1, що запобігає появі тріщин у виливках через усадку сплаву, а потім циліндрові стрижні 3 і боковини 2. Лиття в кокіль один з найбільш вживаних способів лиття, що забезпечує в порівнянні з ПГФ підвищення продуктивності праці, механічних властивостей, точності і якості виливків,

зменшення витрати формувальних матеріалів, поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці.

Велика міцність металевих форм дозволяє одержувати в них до десятків тисяч виливків. Підвищена охолоджуюча здатність кокілю сприяє підвищенню щільності і механічних властивостей виливків.

Для запобігання приварювання виливків до кокілю, зменшення теплової дії металу, що заливається, на кокіль, зниження швидкості охолодження виливків робочу поверхню кокілю фарбують спеціальною фарбою або облицовують формувальною сумішшю.

9.4 Облицьований кокіль – металева форма ливарні, робоча порожнина якої вкрита шаром піщано-смоляної або керамічної суміші (рис. 9.4). На нагріту модельну плиту 1 зі встановленою на ній моделлю 2, вкрити розділовим складом, накладають кокіль 3.

Робоча поверхня кокілю виконана свідомо більших розмірів, ніж модель. Цей зазор заповнюють піскодувним або піскострільним способом піщано-смоляною сипкою сумішшю (рис. 9.4 а).

Під дією теплоти суміш спікається і міцно утримується на поверхні кокілю. Потім кокіль знімають з плити (рис. 9.4б). Аналогічно виготовляють другу половину кокілю і їх складають для заливки (рис. 9.4 в).

Застосування комбінованої металевої і піщаної форми дозволяє усунути викривлення виливка незалежно від їх габаритів, забезпечити податливість форми і усунути відбілення чавуну.

9.5 Відцентрове лиття - спосіб отримання виливків вільним заливання металу у форму, що обертається, за якого формується виливок під дією відцентрових сил. Використовують відцентрові машини з вертикальною, горизонтальною і похилою осями обертання. Є два різновиди відцентрового лиття: лиття порожнистих циліндричних і фасонних заготовок. Під час лиття порожнистих заготовок (рис. 9.5) метал із ковша 4 по жолобу 2 заливають у форму-виливницю 3, що обертається. Її обертають доти, доки залитий метал 1 не закристалізується. Порожнистий виливок 5 отримують без застосування стриж-

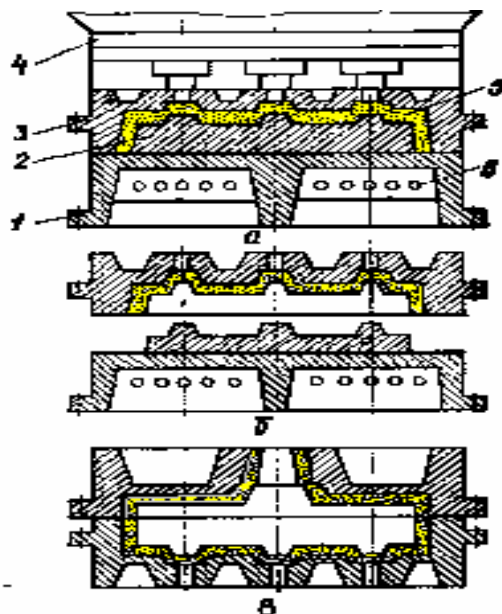


Рис. 9.4. Основні технологічні операції виробництва виливків способом лиття у облицьований кокіль:

а - надув суміші; б - знімання кокілю з облицьованим шаром з плити; в - складе для заливки форма; 1 – плита; 2 – модель; 3 – кокіль; 4 - піскострільна головка; 5 - облицювання; 6 – нагрівачі

нів. Внутрішній діаметр виливка регулюють кількістю металу, що заливають у форму.

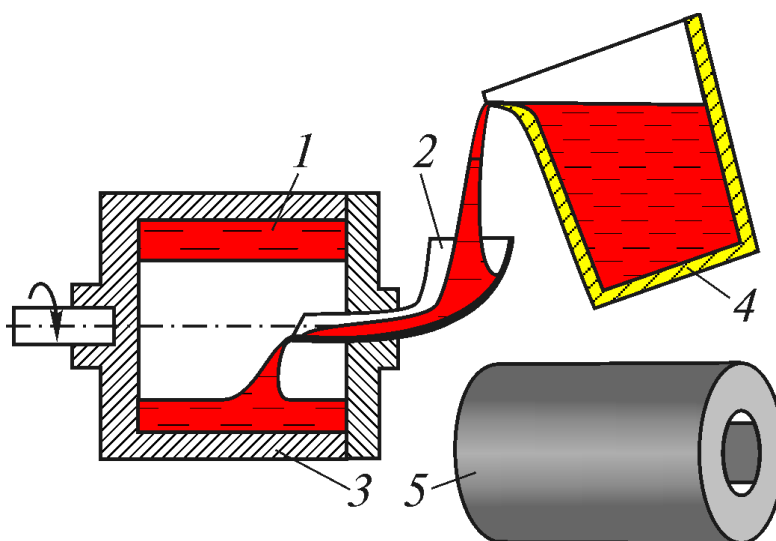


Рис. 9.5. Схема відцентрового лиття порожнистих циліндричних заготовок в машині з горизонтальною віссю обертання: 1 - розплав; 2 - жолоб; 3 - виливниця, що обертається; 4 - ківш з металом; 5 – виливок

При отриманні фасонних виливків (рис. 9.6) складені півформи 1, 2 встановлюють на стіл відцентрової машини з вертикальною віссю обертання і заливають металом порожнину форми 3. Відцентрові сили забезпечують поліпшення заповнення форми металом і живлення усадки виливка.

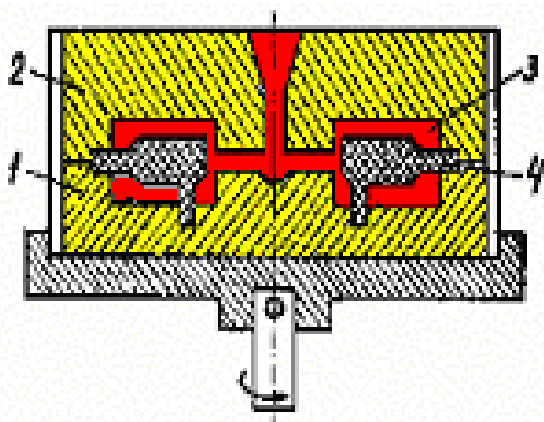


Рис. 9.6. Схема відцентрового лиття фасонних виливків в машині з вертикальною віссю обертання:
1 - нижня півформа; 2 - верхня півформа; 3 - робоча порожнина форми; 4 – стрижень

Литий метал, одержаний цим способом, характеризується високою щільністю за рахунок кращого підживлення міжкристалітних порожнеч усадкового і газового походження, більш дрібнозернистою структурою і підвищеними механічними властивостями.

Відцентровий спосіб лиття широко використовують для виробництва каналізаційних і водонапірних труб із чавуну, трубних заготовок зі сплавів кольорових і чорних металів, прокатних валків, біметалевих виливків та ін.

9.6 Електрошлакове лиття. На рис. 9.7 наведено схему цього способу. У проміжок між металевою водоохолодною формою-кристалізатором 4, що формує зовнішню конфігурацію майбутнього виливка, і водоохолодним пристроєм 3, що формує внутрішню конфігурацію виливка, заливають електропровідний шлак 5.

У шлак занурюють витратні електроди 1, виготовлені з металу тієї ж марки, що і заготовка 2. Під час пропускання електричного струму шлак, що має великий питомий електроопір, нагрівається і поступово розплавляє витратний електрод 1.

Рідкий метал краплями стікає в ливарну форму через шлакову ванну, рафінується від неметалевих включень і кристалізується.

Переваги способу: за якістю електрошлаковий литий метал не поступається кованому, поверхня виливка має мінімальні допуски на механічну обробку. Недоліки способу: велика витрата електроенергії (у 4 рази більше, ніж за інших способів лиття), обмеженість (за конфігурацією) номенклатури литих виробів.

9.7 Лиття з кристалізацією під тиском (рідке штампування). Суть процесу: над вільно залитим у форму металом створюють механічний або всебічний газовий тиск, який витримують до повного твердіння металу (рис. 9.8).

Переваги: високий коефіцієнт виходу придатного (90-97%) через відсутність литникової системи, надливу, усадкових дефектів, подрібнення зерна литого металу. Міцність металу збільшується в 1,2-1,5 рази, ударна в'язкість – в 2,0-2,5 рази. Максимальна маса виливка з кольорових сплавів – 160 кг, із сталі – 80 кг.

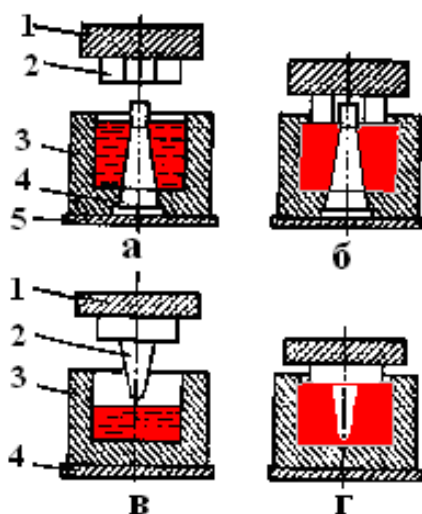


Рис. 9.8. Схема процесу виробництва виливків з кристалізацією під тиском: а, в - заливка розплаву в матрицю; б, г - кристалізація розплаву під тиском пуансона; 1 - верхня плита, 2 - пуансон, 3 - матриця, 4 - стрижень, 5 - нижня плита

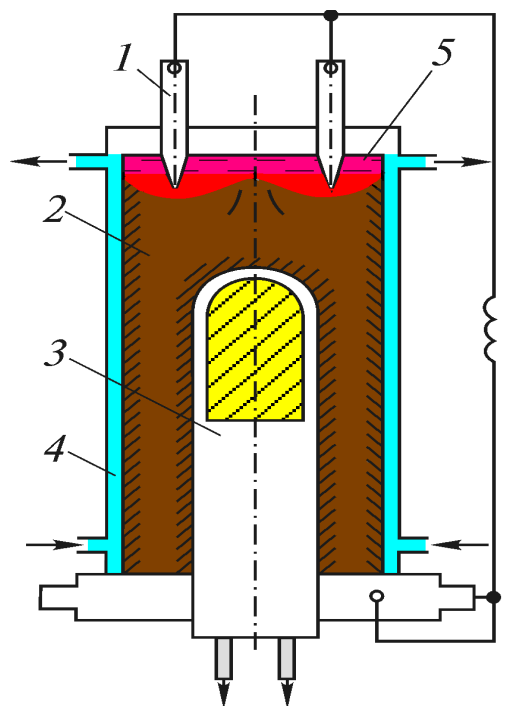


Рис. 9.7. Схема електрошлакового лиття:

1 - електроди, що витрачаються; 2 - заготовка; 3 - водоохолоджуваний пристрій, що виконує внутрішню частину виливка; 4 - кристалізатор; 5 - електропровідний шлак

9.8 Лиття під тиском (ЛПТ). Спосіб отримання виливків в прес-формах, які сплав заповнює з великою швидкістю під високим тиском лиття. Цим способом одержують деталі з цинкових, алюміні-

нієвих, магнієвих, мідних сплавів і рідше з деяких марок сталі. Виливки виробляють на ливарних машинах з холодною і гарячою камерами пресування (рис. 9.9 і 9.10).

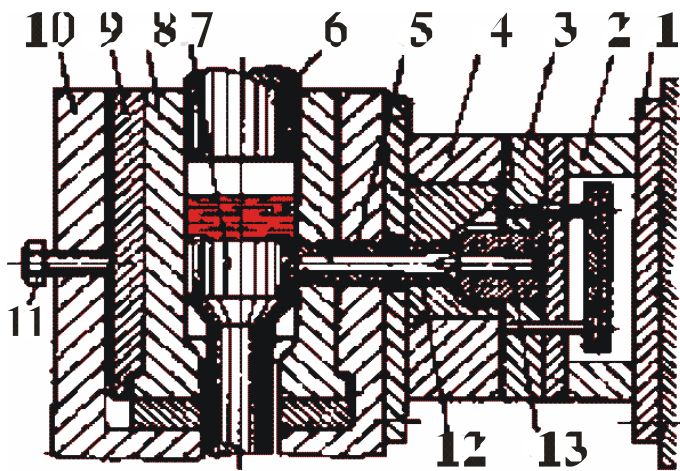


Рис. 9.9. Схема процесу лиття під тиском на машині з холодною вертикальною камерою пресування, розташованою поза прес-формою:

1 - формотримач; 2 - постамент; 3 - рухома частина прес-форми; 4 - нерухома частина прес-форми; 5 - мундштук; 6 - верхній поршень; 7 - нижній поршень (п'ята); 8 - камера пресування; 9 - металева «сорочка»; 10 - станина; 11 - притискний гвинт; 12 - литникова втулка; 13 - розсікач

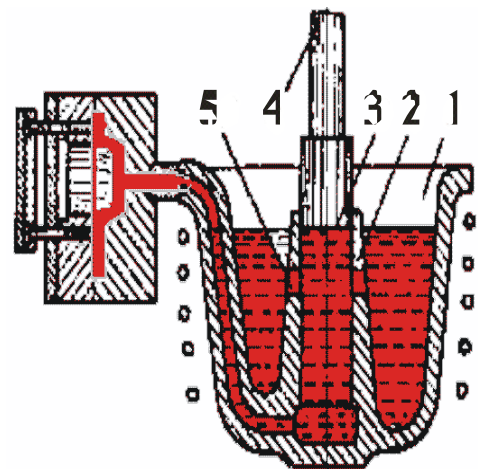


Рис. 9.10. Схема процесу лиття під тиском на машині з гарячою вертикальною камерою пресування:

1 - піч з тиглем; 2 - камера пресування, що складає одне ціле з тиглем 1, що знаходиться в печі; 3 - плунжер; 4 - шток; 5 - отвір для запуску розплаву в камеру пресування

Ливарні форми в цьому способі лиття називають прес-формами, їх виготовляють із сталі, що оформляє порожнину форми і відповідає зовнішній поверхні виливка з урахуванням чинників, що впливають на розмірну точність. Крім того, в прес-форму входять рухомі металеві стрижні, які створюють внутрішні порожнини виливків, і виштовхувачі. При отриманні виливків на ливарних машинах з холодною камерою пресування (рис. 9.9) необхідну кількість сплаву заливають в камеру пресування вручну або заливальним дозуючим пристроєм. Сплав з камери пресування під тиском пресуючого поршня через канали-литники, поступає в порожнину щільно закритої форми. Надлишок сплаву залишається в камері пресування у вигляді залишку пресу, який потім відрізають. Після твердіння сплаву форму відкривають, знімають рухомі стрижні і виливки виштовхувачами видаляють із форми.

При отриманні виливків на машинах з гарячою камерою пресування (рис. 9.10) сплав з тиглю нагрівальної печі самопливом поступає в камеру пресування. Після заповнення камери пресування спрацьовує автоматичний пристрій

(реле часу, налаштоване на певний інтервал), а поршень починає тиснути на рідкий сплав, який через мундштук, що обігривається, і литникову втулку, під тиском поступає по литникових каналах в порожнину форми і кристалізується. Потім проводять розкриття прес-форми, виливки видаляють виштовхувачами, обрізають затоки (облой), елементи литникових систем і, якщо необхідно, проводять термообробку.

Продуктивність машин ЛПД від 1 до 50 заливок в хвилину. При використанні багатогніздних прес-форм за 1 заливку виготовляють більше 20 деталей.

9.9 Лиття вичавлюванням – процес отримання тонкостінних великогабаритних виливків методом вільної заливки розплавленого металу в розкриті металеві форми з подальшим їх зрушенням і вичавлюванням рідкого металу (рис. 9.11 а, б). Цим способом одержують виливки з кольорових сплавів розмірами до 1х2,5 м і товщиною стінок 2,5-5 мм.

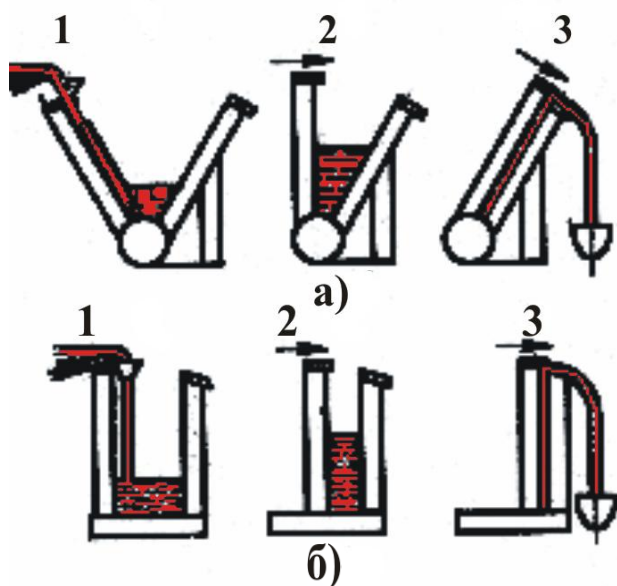


Рис. 9.11. Схема процесу лиття вичавлюванням з поворотом рухомої платформи (а) і з плоскопаралельним переміщенням (б):

1-заливка сплаву; 2-початок зближення півформи; 3-вичавлювання надлишку металу

певного часу до твердіння заданої товщини шару металу і виливання не затверділого металу з форми. Внутрішня поверхня виливків після виливання має нерівну поверхню, а товщина затверділого шару не завжди відповідає заданим значенням через нерівномірність прогрівання ливарної форми, при багатократних заливках ливарних форм.

9.10 Лиття в заморожені форми - процес отримання виливків методом вільної заливки розплавленого металу в заморожені форми із зволжених піщаних сумішей. Вологість форми 3-8%, зміст глини до 0,5%, температура форми перед заливкою не вище -50°C . Джерела холоду - зріджені гази (діоксид вуглецю, азот, повітря).

Низька температура формувальної суміші забезпечує прискорене твердіння виливків, отримання структури металу з вищими фізико-механічними властивостями в порівнянні з литтям в ПГФ.

9.11 Лиття з випліскуванням (виливом) - спосіб отримання порожнистого виливка шляхом витримки рідкого металу у формі на протязі

9.12 Лиття в магнітні форми (по газифікованих моделях) - спосіб виготовлення виливків по газифікованих (пінополістиролових) моделях. Модель поміщають в опоку-контейнер, засипають її сталевим або чавунним дробом і піддають вібрації. Форму зміцнюють за допомогою постійного магнітного поля, під дією якого дріб зв'язується в єдине ціле.

При заливці модель газифікується, гази віддаляються через пори суміші або спеціальні отвори, а порожнина форми заповнюється металом. Після зняття магнітного поля дріб висипають з опоки. Лиття по газифікованих моделях останніми роками розширює сферу використання завдяки відсутності стрижневої ділянки і низької витрати пісків в порівнянні з литтям в ПГФ.

9.13 Лиття в керамічні форми (Шоу процес) - спосіб отримання заготовок (в т.ч. крупногабаритних) підвищеної точності в разових негасотвірних керамічних формах, виготовлених з рідкорухомих сумішей по постійній моделі.

Суміш складається з вогнетривких порошоків різної зернистості, гідролізованого розчину етилсилікату і огелівателю. Суміш виливають в модельне оснащення, де вона твердне. Форму прожарюють, так що при інтенсивному згоранні пари спирту в ній утворюються мікротріщини, що забезпечують достатню газопроникність.

Лиття в керамічні форми забезпечує високу точність і мінімальну шорсткість поверхні виливка, але через відносно високу вартість пов'язуючих матеріалів поки широко не використовується.

9.14 Лиття під низьким тиском - процес отримання тонкостінних виливків у ливарних формах, при якому заповнення форм металом і його кристалізація відбуваються під тиском до 98 кПа. Метал у форму поступає знизу через металопровід під дією надмірного тиску повітря або інертного газу на дзеркало металу.

9.15 Лиття вакуумним всмоктуванням — лиття, за якого метал заповнює форму за рахунок створюваного в ній вакууму (рис. 9.12). Після твердіння на стінках кристалізатора 1 заданої товщини металу вакуум знімають, не затверділа частина металу повертається в піч 2. У такий спосіб одержують порожнисті циліндрові заготовки без стрижнів і усадкових дефектів.

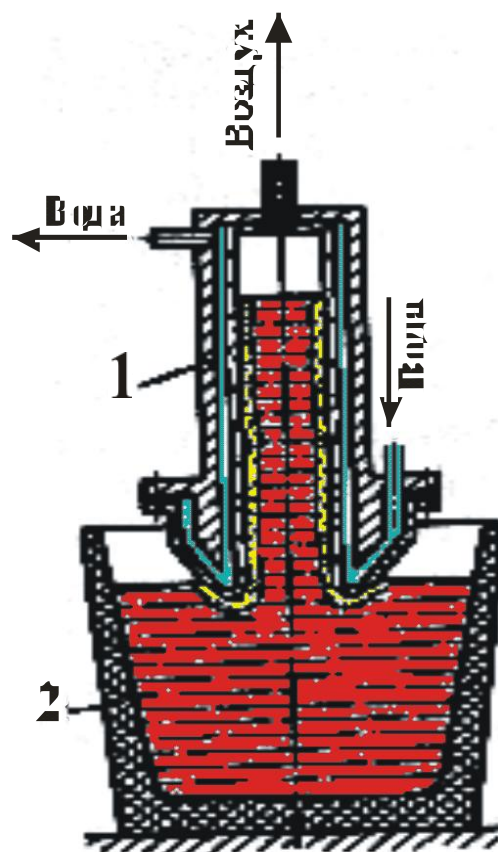


Рис. 9.12. Схема заливки вакуумним всмоктуванням:
1 – кристалізатор; 2 – вакуумна піч

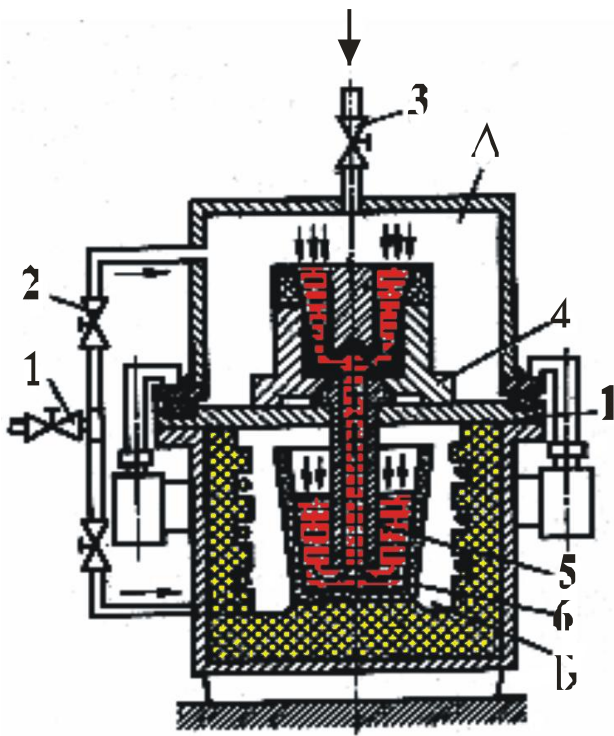


Рис. 9.13. Установка для лиття з протитиском:

А - камера з формою 4; Б - камера з тиглем 6; 1, 2, 3 - клапани; 5 - металопровід

вків, отримання структури металу з вищими фізико-механічними властивостями.

9.17 Лиття наморозжуванням (рідке прокатування) - спосіб отримання виробів у вигляді стрічок або листів вільним безперервним заливання розплавленого металу в зазор між валками, що обертаються (рис. 9.14). Це один із прогресивних способів виробництва, який внаслідок високої швидкості охолодження рідкого металу дає змогу отримувати метал із високими фізико-механічними властивостями.

9.18 Лиття безперервним наморозжуванням безпосередньо з розплаву дозволяє одержувати готові профілі деяких виливків (рис. 9.15). Це один із прогресивних способів виробництва, який дозволяє отримати різні профілі виробів без ливарного оснащення, але має низьку швидкість процесу витягування і поки не знаходить широкого використання.

Лиття вакуумним всмоктуванням забезпечує отримання тонкостінних заготовок з високою точністю зовнішньої поверхні, проте внутрішня поверхня має підвищену шорсткість після виливання металу з форми.

9.16 Лиття з протитиском - процес отримання виливків в металевих формах, при якому метал, що знаходиться під тиском до $2 \cdot 10^6$ Па, заповнює форму і кристалізується. Газ або повітря через клапан 1 (рис. 9.13) поступає в герметичні камери А і Б при закритому клапані 3.

Після досягнення необхідного тиску клапан 2 закривають, а клапан 3 розчиняють. Під дією різниці тиску рідкий метал піднімається по металопроводу і заповнює форму. Твердіння виливків при підвищеному тиску забезпечує прискорене твердіння виливків.

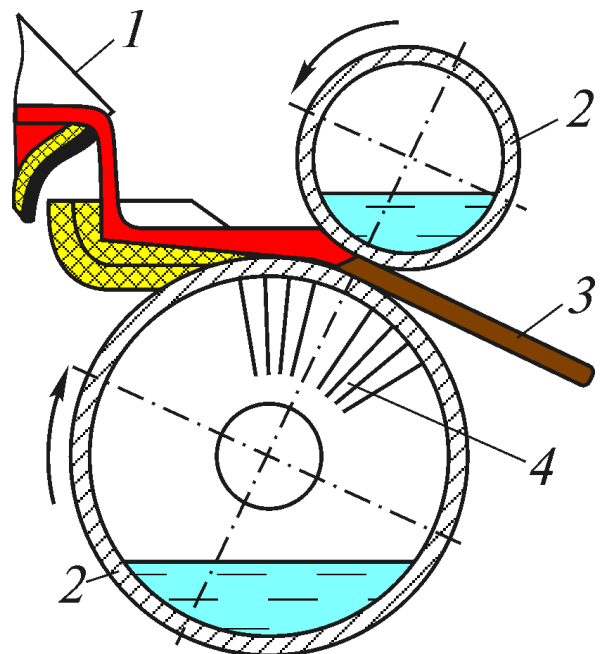


Рис. 9.14. Схема процесу лиття наморозжуванням:

1 - ківш; 2 - водо охолоджені валки-кристалізатори; 3 - стрічка; 4 - струмені води

9.19 Безперервне лиття — спосіб отримання виливків і зливків розливанням металу з печі або ковша (через проміжний пристрій) у водоохолодний кристалізатор, з якого затверділу заготовку безперервно виймають ролики з водяним охолодженням (рис. 9.16). Машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) за конструкцією поділяють на: вертикальні; з вигином смуги; з горизонтальним кристалізатором.

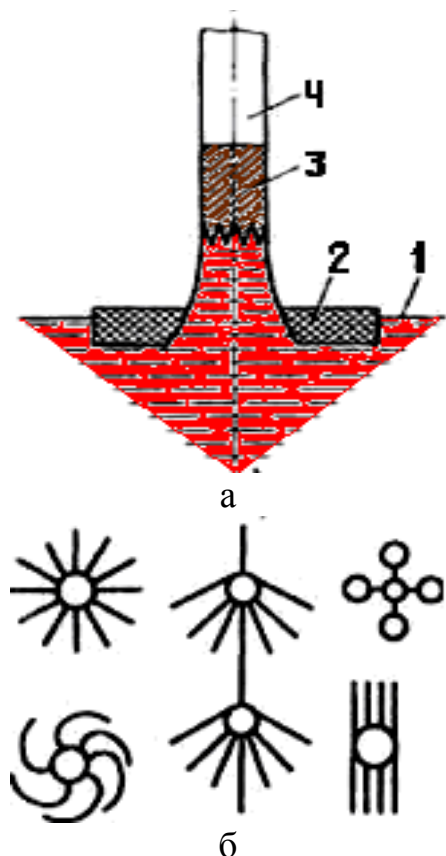


Рис. 9.15. Схема процесу лиття безперервним наморожуванням безпосередньо з розплаву (а) і профілі деяких виливків (б):

1 - розплавлений метал; 2 - плита-поплавець; 3 - виливки; 4 - приманка

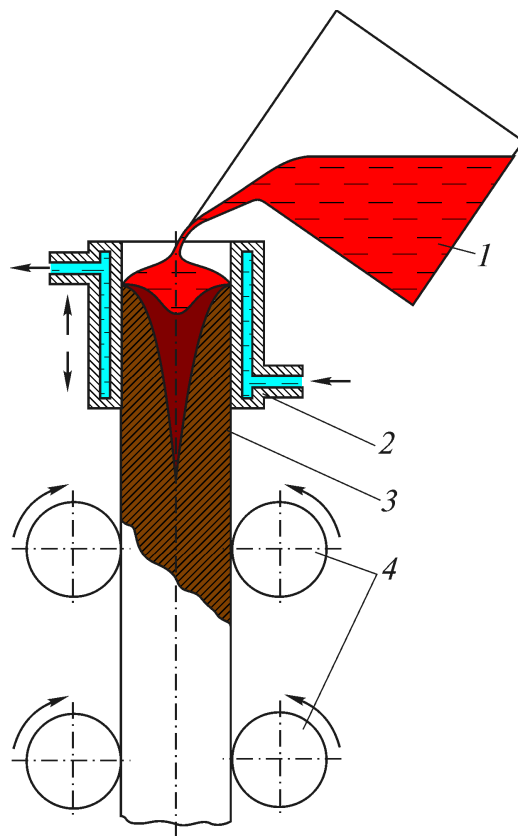


Рис. 9.16. Схема безперервного лиття:

1 - ківш, 2 - водоохолоджуваний кристалізатор, 3 - злиток, 4 - ролики

Переваги способу: технологія розливання забезпечує зниження втрат металу на надливи порівняно з виробництвом зливків у виливницях; дає змогу отримувати заготовки, форма яких наближається до форми прокату. МБЛЗ забезпечують основний обсяг виробництва прокату в найбільш розвинених країнах.

Недоліки способу: у кристалізаторі твердне тільки поверхневий шар металу, а осьова зона знаходиться в рідинно-твердому стані до глибини в кілька метрів, тому в осьовій зоні утворюються невеликі усадкові пори, які потрібно обтискати під час прокатування і заварювати. Крім того, до якості металу, що виплавляється, ставляться підвищені вимоги (технологія піч — ківш, вакуумування та ін.), оскільки надлив відсутній. У разі лиття зливків у виливниці таких

самих розмірів спливаючі ліквати і неметалічні включення потрапляють у надлив, який потім відрізують і переплавляють. Тому при підвищених вимогах до якості заготовки лиття злитків залишається затребуваним.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Розшифруйте аббревіатуру «лиття в ПГФ».
2. З якого матеріалу виконують кокільні форми?
3. Назвіть основні переваги лиття в кокіль.
4. У чому суть способу лиття в облицьований кокіль?
5. У чому суть способу лиття в оболонкові форми?
6. У чому полягають переваги і недоліки лиття в оболонкові форми в порівнянні з литтям в ПГФ?
7. У чому суть способу лиття по моделях, що виплавляються?
8. У чому полягають переваги і недоліки лиття по моделях, що виплавляються?
9. У чому полягають переваги і недоліки відцентрового лиття?
10. У чому суть способу електрошлакового лиття?
11. У чому суть способу безперервного лиття?
12. Розшифруйте аббревіатуру МНЛЗ.
13. Назвіть основні переваги і недоліки способу безперервного лиття заготовок.
14. У чому суть способу лиття з кристалізацією під тиском (рідке штампування)?
15. У чому суть способу лиття під тиском?
16. У чому суть способу лиття по газифікованих моделях?
17. У чому суть способу лиття на мороженні (рідке плющення)?

10 ВИЛИВКИ ДЛЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ

Технологічне і піднімально-транспортне устаткування металургійних підприємств працює в умовах підвищеної температури, запиленої атмосфери, випробовує ударно-вібраційні навантаження. Тому багато деталей необхідно періодично міняти. Велика частина таких змінних деталей є звичайними машинобудівними виливками з чавуну, сталі або кольорових сплавів. Прокатні валки і виливниці мають специфічні особливості виробництва, що зумовило їх докладніший розгляд.

10.1 Виробництво литих прокатних валків

Всі валки повинні мати зносостійкий і термостійкий (для валків гарячого прокатування) робочий шар, міцну і в'язку серцевину бочки і шийок. Валки відливають з чавуну (~90%) і заевтектоїдної сталі, а частка кованих валків складає

~5%. Валки з чавуну, зокрема, з кулястою формою графіту, забезпечують високу зносостійкість робочого шару і задовільну міцність осьової зони.

Розрізняють наступні основні типи валків: листопрокатні (Л), сортопрокатні (С) і трубопрокатні (Т); бумаго- і картоноробні (К); гумотехнічні (Р); мукомольні, маслобойні і фарботерочні (М). За формою включень графіту в структурі чавунні валки поділяють на: кулясту (Ш), пластинчасту (П) і вермикулярну (В). Більше 50% валків виготовляють з високоміцного чавуну. Відливають валки в стаціонарні ливарні форми або відцентровим способом, з гладкою бочкою або з литими калібрами.

Ливарні форми для виготовлення прокатних валків складаються з таких елементів (рис. 10.1): піщано-глинистої форми нижньої шийки (2, 3), кокільної частини (5), що формує бочку валка (6), піщано-глинистих форм верхньої шийки (7, 8), надливів (9 - 11) і елементів литникової системи (12, 13, 17). Чистові розміри валка (після механічної обробки) обведені тонкими лініями (див. рис. 10.1).

Заливка форм через сифонну литникову систему з тангенціальним підведенням живильника в нижню шийку валка (17) забезпечує інтенсивне обертання розплаву у формі і за рахунок цього відтиснення шлакових включень з робочого шару бочки в осьову зону.

Твердіння шийок в піщано-глинистих елементах форми сприяє зменшенню тепловідводу. Тому в структурі утворюється незначна кількість крихкої цементитної складової, що підвищує експлуатаційну стійкість валків.

Чавунний кокінь забезпечує інтенсивний тепловідвод в початковий період твердіння робочого шару бочки валка і формування зносостійких, але крихких цементитних структур.

Подальший нагрів кокілю і утворення усадкового зазору між бочкою валка і кокілем обумовлює зменшення тепловідводу і формування в перехідному і осьовому шарах бочки графітових включень. Цим забезпечується збільшення міцності осьової зони валка.

Важливим показником зносостійкості валків є твердість робочого шару бочки, що виражена в одиницях Шора, і його глибина в мм. Основними розмірами валків є: діаметр бочки і її довжина (мм).

Наприклад, листопрокатний валок з пластинчастою формою графіту в серцевині і шийках з чавуну, легованого хромом (Х), нікелем (Н), молібденом (М), двошарового (д), з нижньою границею твердості робочого шару на бочці 72 і верхньою 83 од. по Шору (506 - 597 НВ), номеру групи (II), бочкою діаметром 620 мм і завдовжки 1680 мм позначається: ЛПХНМд-72, II, 620x1680. Глибина вибіленого робочого шару повинна бути не менше 12 і не більше 32 мм, а хімічний склад знаходитися в межах, мас. %: С - 2,5-3,2; Si - 0,3-0,7; Mn - 0,3-1,0; P ≤ 0,50; S ≤ 0,10; Ni - 3,6-4,8; Mo - 0,3-0,8; Cr - 0,5-1,0.

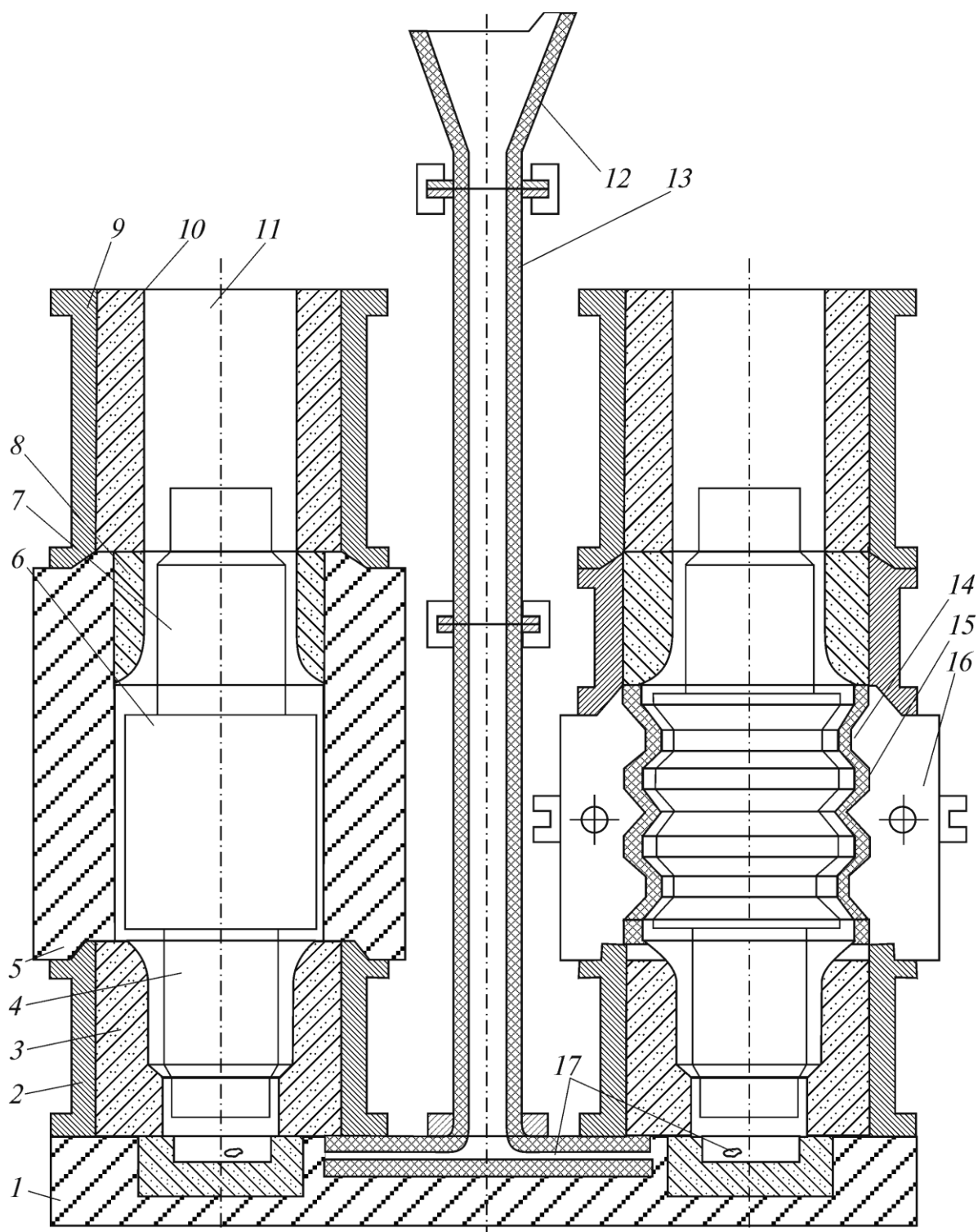


Рис. 10.1. Схема форми для лиття валків з гладкою бочкою і з литими калібрами (тонкими лініями позначені чистові розміри валків):

1-двомісний піддон; 2-форма нижньої шийки; 3-формувальна суміш; 4-нижня шийка прокатного валка; 5-кокіль; 6-бочка прокатного валка; 7-верхня шийка прокатного валка; 8- «закладення» - формувальна суміш в кокілі; 9-форма надливу; 10-формувальна суміш надливу; 11-надлив; 12-лійка; 13-стояк; 14-виступ калібру кокілю; 15-западина калібру кокілю; 16-кокіль з литими калібрами і вертикальним роз'ємом; 17-тангенціальний живильник

У шийках і трехах листопрокатних валків допускається наявність окремих фосфідокарбідних включень, а карбідна сітка є ознакою бракування. Залежно від виду чавуну (вибіленого або з кулястою формою графіту) властивості металу робочого шару коливаються $\sigma_B = 10-90 \text{ кгс/мм}^2 \{ \sim (10-90) \times 10^7 \text{ Па} \}$ і НВ 200-675. Для різних прокатних станів і клітей підбирають валки відповідного виконання, структури і твердості, що забезпечують максимальну експлуатаційну стійкість в умовах ударних і вигинаючих навантажень, що циклічно змінюються, і сил тертя при високотемпературній дії.

У валках з вибіленим робочим шаром (рис. 10.2) в перехідній і осьовій зонах бочки кількість цементиту повинна бути мінімальною. Оцінку якості виплавленого металу проводять по технологічних пробах. Показником якості валків прийнято рахувати відношення глибини чистого відбілення до суми товщини чистого відбілення і перехідної зони. Для різних типів і розмірів валків показник якості може мати значення від 0,25 до 0,45.

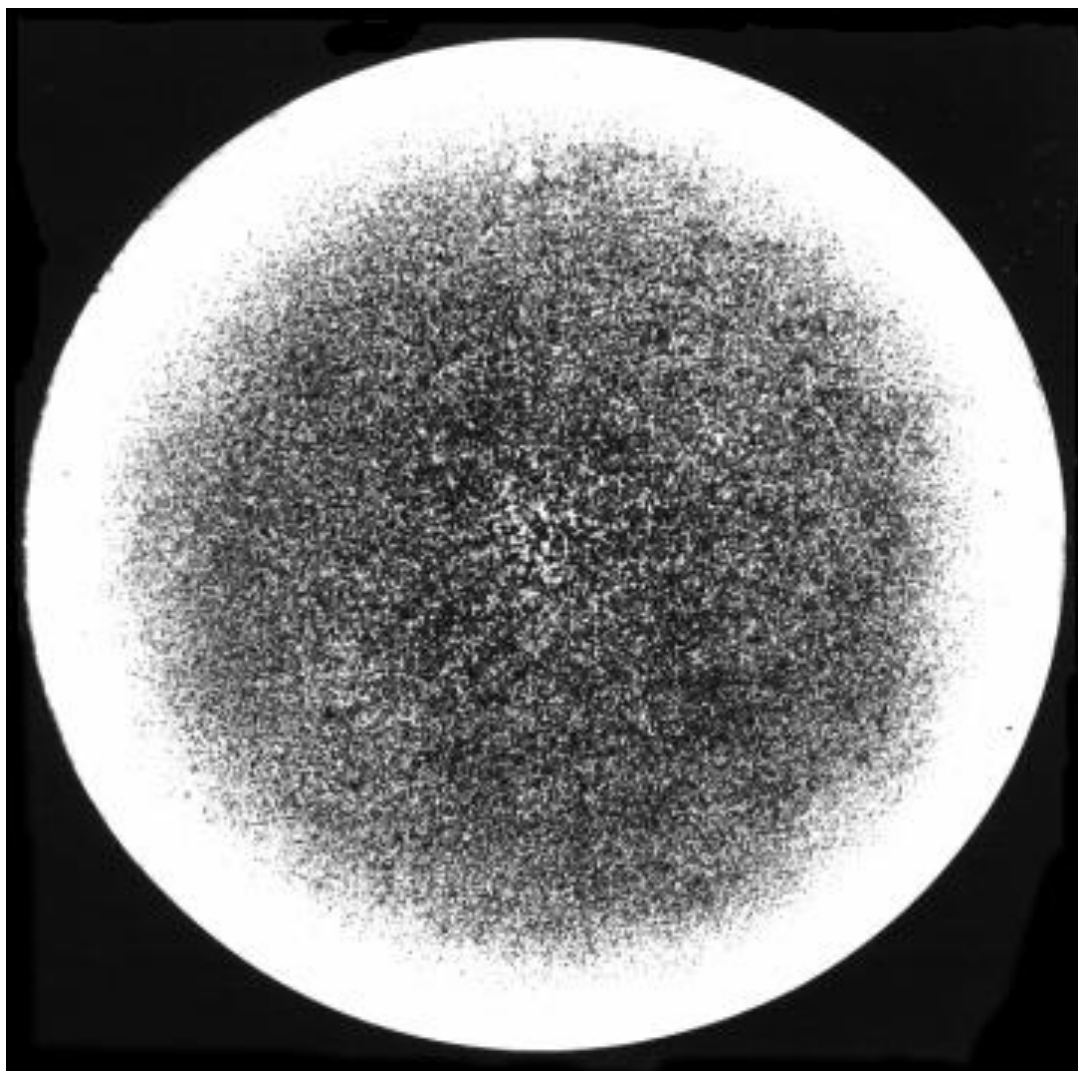


Рис. 10.2. Макроструктура бочки прокатного валка діаметром 431 мм з виплавленого у вагранці вибіленого чавуну, мас. %: С-3,75; Si-0,44; Mn-0,39; P-0,38; S-0,14; Cr-0,73; Ni-1,81; $T_{\text{зал}} \sim 1305^\circ\text{C}$

Виплавку чавуну проводять у вагранках, полум'яних, мартенівських, індукційних і дугових печах. Важливим чинником виробництва валків високої якості є використання в шихті лому валків, відпрацьованих свій термін на прокатних станах.

Позапічна обробка чавуну на випуску з печі або в ковші застосовується для корегтування глибини відбілення і отримання кулястої форми графіту. При модифікуванні розплаву металевим магнієм його питома витрата складає 2,7-4,0 кг/т і залежить від початкового вмісту сірки (0,028...0,065%). Питома витрата лігатури при отриманні чавуну з кулястою формою графіту змінюється від 0,8 до 1,5 кг/т і залежить від масової частки магнію в лігатурі і початкового вмісту сір-ки в розплаві.

На рис. 10.3 наведена схема виробництва двошарового листопрокатного валка в стаціонарній ливарній формі (а). Легований чавун твердне в бочці валка, формуючи робочий шар, а періодична доливка високовуглецевого нелегованого чавуну запобігає твердінню литника (б).

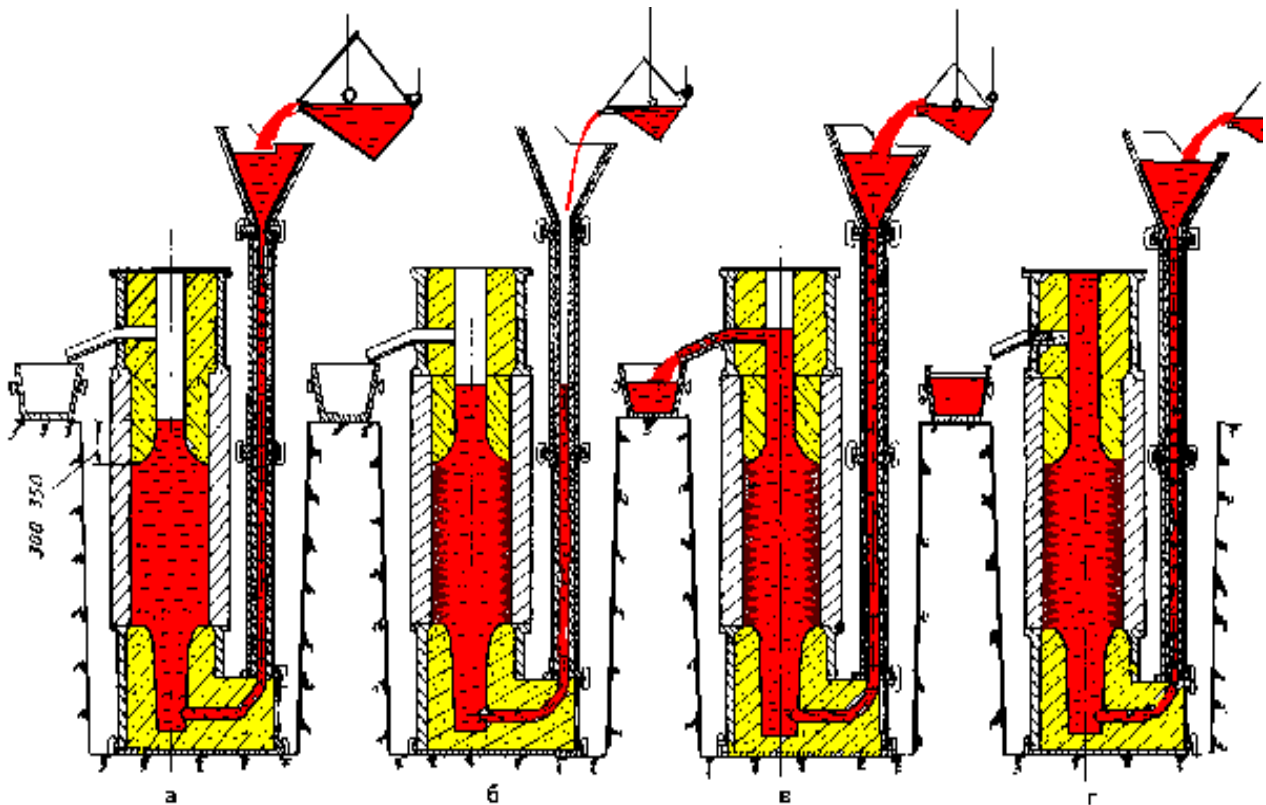


Рис. 10.3. Схема лиття двошарового листопрокатного валка в стаціонарній ливарній формі

Потім (в на рис. 10.3) легований чавун витісняють в спеціальну ємність (колоду) за рахунок доливання високовуглецевого нелегованого чавуну. Отвір в надливці закривають і заповнюють розплавом ливарну форму. Недоліком даної технології є висока витрата металу (~2,2т/т) і неможливість повного виключення перемішування легованого і нелегованого металів.

Застосування відцентрового способу для лиття листопрокатних валків дозволяє на 30-40% зменшити витрату легованого металу, підвищити твердість і глибину робочого шару, міцність осьової зони. Метал робочого шару виконують з високолегованих сплавів з підвищеним вмістом хрому, нікелю, вольфраму і інших дорогих легуючих елементів. Це найбільш прогресивний спосіб отримання листопрокатних валків, що вимагає наявності спеціального устаткування і строгого дотримання технологічного процесу лиття.

Щільність робочого шару чавунних прокатних валків більша, ніж у вуглецевої сталі. Тому збільшуються непродуктивні втрати металу на надливи. Використання екзотермічних сумішей для надливів ефективно лише у виливках, тривалість тверднення яких не більш двох часів. Розроблена технологія комбінованого електродугового-електрошлакового обігріву (ЕДЕШО) надливів виливків і злитків (рис. 10.4 і 10.5). При її застосуванні витрати металу на надливи зменшуються в 2,5-3,0 рази, не утворюються усадкові дефекти в прокатних валках і злитках. Неметалеві включення із виливка спливають вгору і залишаються в шлаковій ванні, що забезпечує вищу якість металу в порівнянні з серійною технологією.

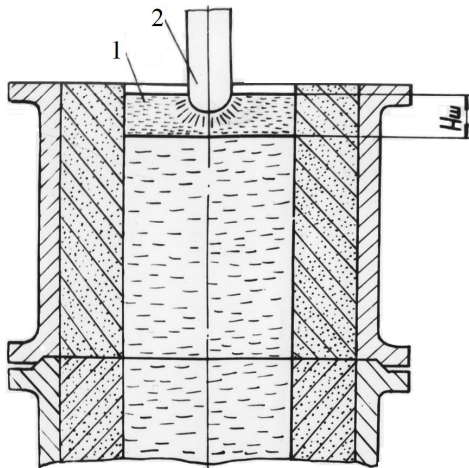


Рис. 10.4. Схема процесу комбінованого електродугового-електрошлакового обігріву надливу:

1 - розплавлена шлакова ванна; 2 - графітовий електрод



Рис. 10.5. Торець надливу виливка з високоміцного чавуну масою 26000 кг, відлитого з комбінованим електродуговим-електрошлаковим обігрівом і виливків, відлитих з утепленням деревним вугіллям і дворазовою доливкою надливу з додаткової печі

Економічна ефективність впровадження технології ЕДЕШО зростає із збільшенням вартості енергоресурсів. Це обумовлено тим, що електрообігрів компенсує тільки втрати тепла розплаву з надливів в навколишнє середовище. При живленні усадки виливка за рахунок металу, що раніше доливали з додат-

кової печі, необхідно витрачати енергію на підігрів, розплавлення і перегрів сплаву.

10.2 Виробництво виливниць

Виливниця – металева форма для розливання сталі в злитки, призначені для подальшого кування або плющення. Основні типи виливниць з різною формою внутрішнього перетину приведені на рис. 10.6.

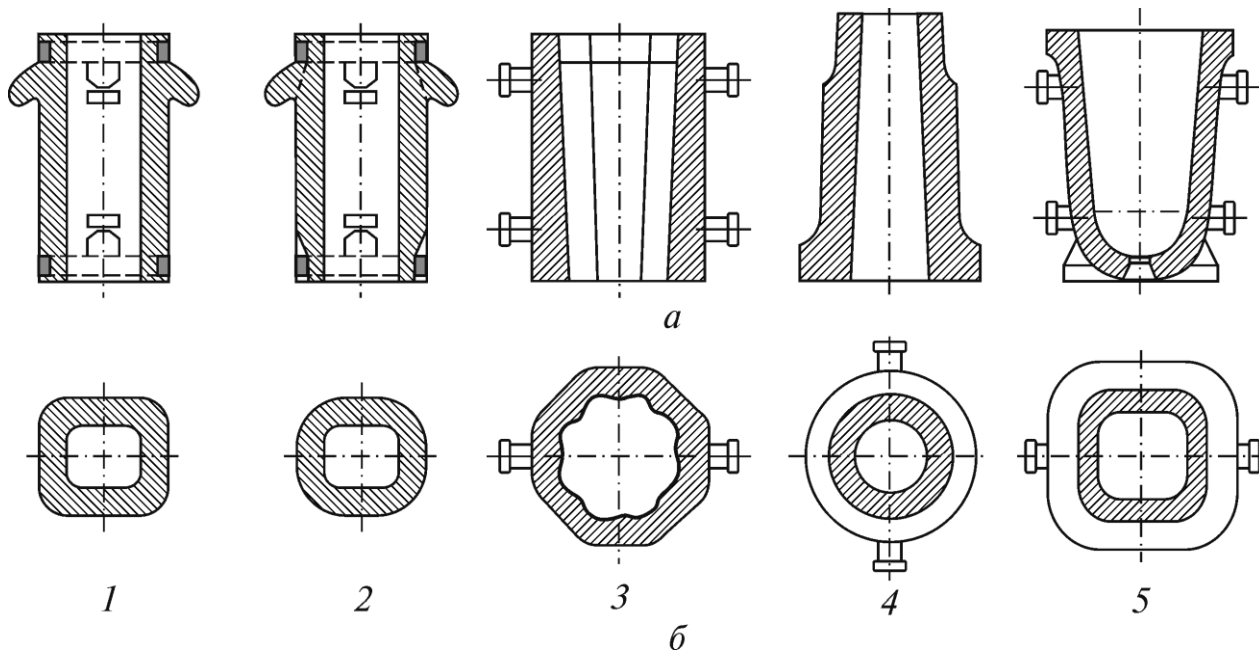


Рис. 10.6. Схеми основних типів виливниць:

а – поздовжній, б – поперечний перетин; 1, 2 – відповідно рівностінкова і термозрівноважена виливниці; 3 – для ковальських злитків загального призначення; 4 – для витратних електродів ЕШП; 5 - глухондонна листовая для спокійної сталі

Під час розливання сталі виливниця зазнає термоудару ($T_{\text{зал}} \sim 1500-1600^{\circ}\text{C}$), феростатичного тиску і динамічного удару струменем металу, що заливається. Виливниці виготовляють з сірого чавуну з перлітною і ферито-перлітною структурою матриці із вмістом цементиту не більше 1,5%, рідше з чавуну з вермикулярним або кулястим графітом, двошарові та ін. Для виробництва виливниць застосовують разові, напівпостійні, кокільні або комбіновані ливарні форми. Разові форми з піщано-глинистих або рідкорухомих самотвердіючих сумішей (РСС) ширше поширені.

Виливниці масою до 1,0 т іноді відливають в вологі форми, а частіше – в сухі або підсушені форми. Для запобігання пригару і забезпеченню чистоти поверхні виливниці порожнину форми і стрижні фарбують протипригарними фарбами. Хімічний склад чавуну для виливниць встановлюють з урахуванням спадковості початкових шихтових матеріалів, способу плавлення, маси виливниці та ін. Наприклад, для ковальських злитків масою 32-356 т у разі плавлення в електропечі рекомендують такий хімічний склад чавуну з пластинчастим гра-

фітом для виливниці: C~3,8%, Si - 1,2-1,6% Mn~0,80%, P~0,1%, S~0,06%, Cr≤0,16%.

Ливарна форма для виливниць (рис. 10.7) включає: форму 1, що утворює порожнину 2 заповнювану розплавленим металом; стрижень 3, що формує робочу поверхню виливниці; каркас 4 і центральний каркас (патрон) 5, що забезпечують транспортування стрижня, його міцність і відведення газів із стрижневої суміші; литникову систему 6 (сифонної, ярусної або дощової); опоки 7, 8, 9; литникову чашу 10 і надлив 11.

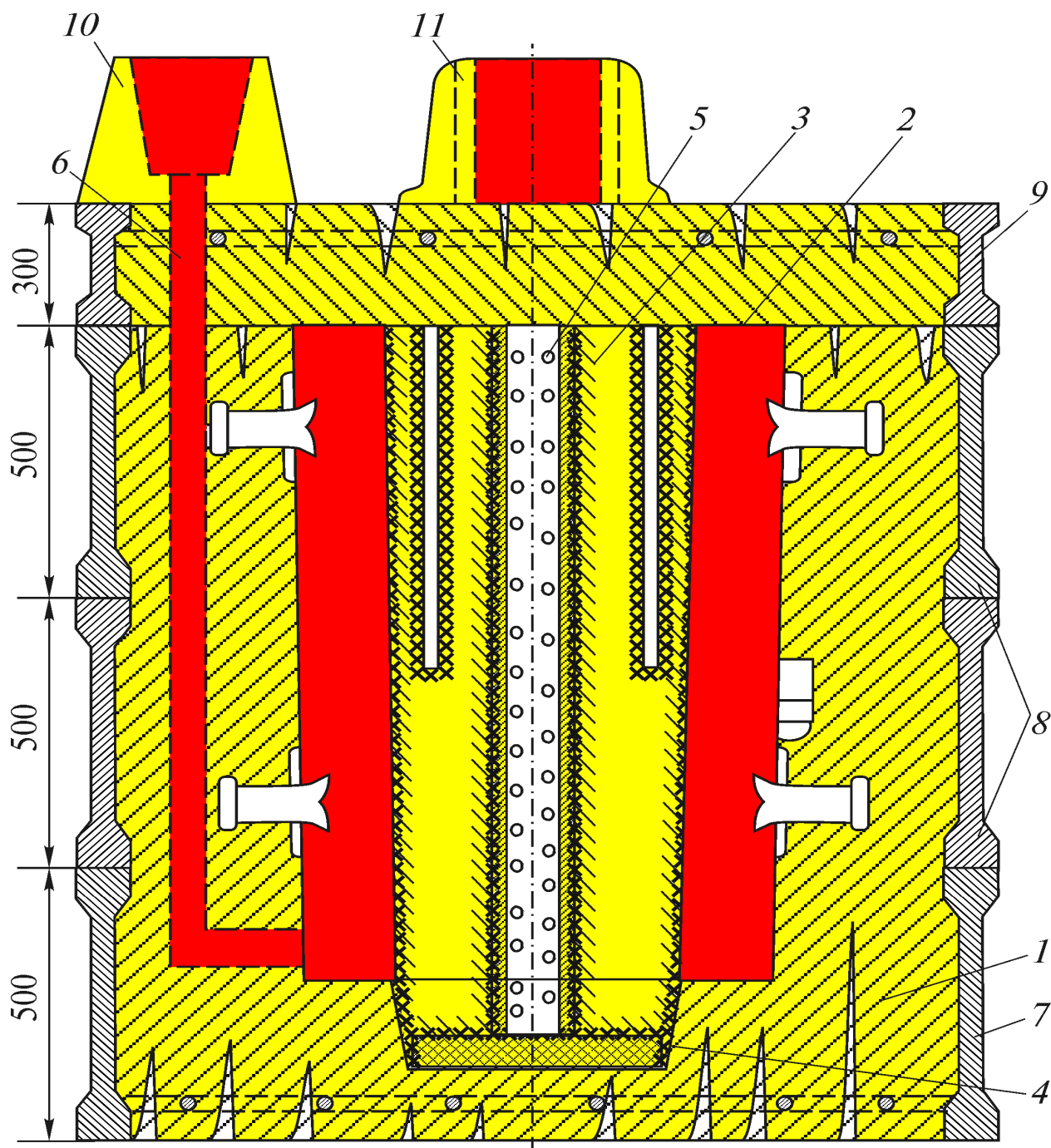


Рис. 10.7. Схема ливарної форми для ковальської виливниці:

1 – форма; 2 – порожнина форми; 3 – стрижень; 4 – каркас; 5 – центральний каркас (патрон); 6 – литникова система; 7, 8, 9 – опоки; 10 – литникова чаша; 11 – надлив

При багатократній заливці виливниць сталлю на її робочій поверхні утворюються дефекти, які можуть привести до зависання сталевих злитків. Найбільш характерними дефектами виливниць є: сітка розпалу, тріщини, раковини, вигорання різних видів (рис. 10.8).

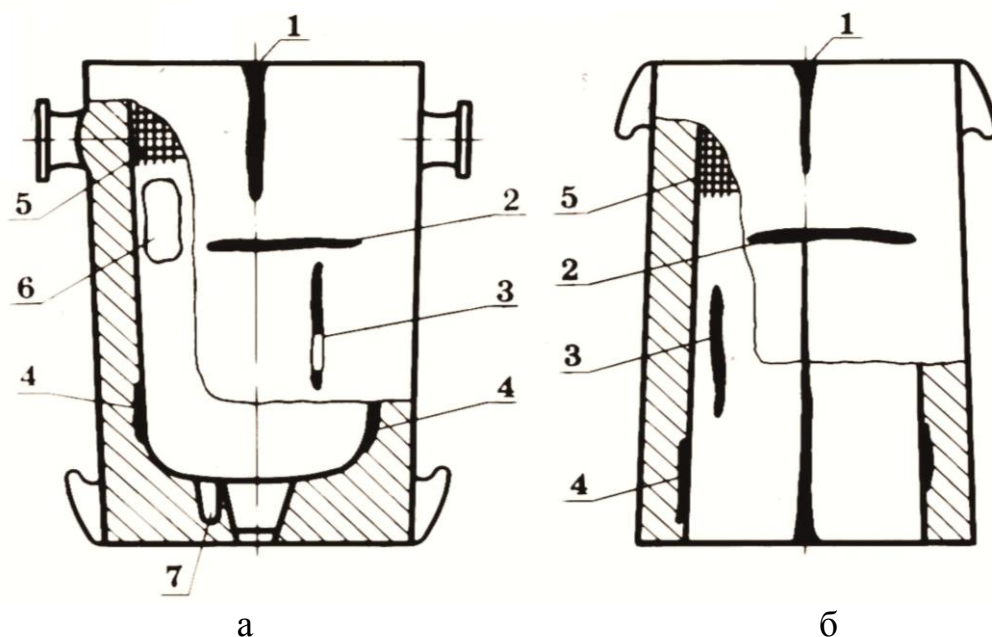


Рис. 10.8. Схема найбільш характерних дефектів виливниць при виробництві спокійної (а) і киплячої (б) марок сталей:

1 – верхня подовжня тріщина; 2 – поперечкова тріщина; 3 – подовжня тріщина; 4 – «вигор» на стінці; 5 – крупна сітка розпалу; 6 – раковина; 7 – «вигор» донної частини

Для захисту робочої поверхні виливниць застосовують ливарні фарби і покриття, які приймають на себе термічний удар сталі, що заливається.

Не рекомендується охолоджувати виливниці після видалення сталевих злитків у воді для прискорення оборотності оснащення. Це приводить до накопичення напружень, розширення зони розпалу і поступового розширення тріщин. Ремонт дефектів проводять методом стягання тріщин скобами з подальшою заваркою і обробленням дефектного місця з подальшою заваркою тріщин, вибоїн і раковин. Зварний шов повинен знаходитися на рівні робочої поверхні виливниці, так щоб виключити зависання сталевих злитків.

Виробництво сталевих злитків і виливниць поступово зменшується через розширення об'ємів виробництва за допомогою машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Ця технологія має вищі техніко-економічні показники.

Проте слід пам'ятати, що при виробництві спокійних марок сталей в невеликій виливниці якість металу злитка вище, в порівнянні із заготівкою МБЛЗ тих же розмірів. Це обумовлено тим, що в злитку всі неметалічні включення і гази спливають в надлив, який після твердіння металу відрізується. При литті в МБЛЗ на поверхні кристалізатора швидко утворюється шар затверділого металу, який витягується роликками і охолоджується повільніше. Внаслідок цього двофазна рідко-тверда зона тягнеться на глибину до 10-12 м, а компенсація

усадки і спливання газів утруднені. Тому при розливанні сталі в МНЛЗ, до її якості пред'являють підвищені вимоги, зокрема, застосовують продування аргонном високої чистоти, вакуумування, піч-ківш, захищають струмінь металу при розливанні нейтральними газами.

Для отримання злитків спокійних марок сталі застосовують надливні надставки, які відливають з сірого чавуну або з вуглецевої сталі (рис. 10.9). Внутрішню частину надставки викладають вогнетривкою цеглиною або набивають теплоізолюючою сумішшю. Це обумовлено тим, що при твердінні злитка у виливниці сталь, що знаходиться в надливній надставці, повинна затвердіти після кристалізації злитка, забезпечити живлення усадки і адгезію неметалічних включень.

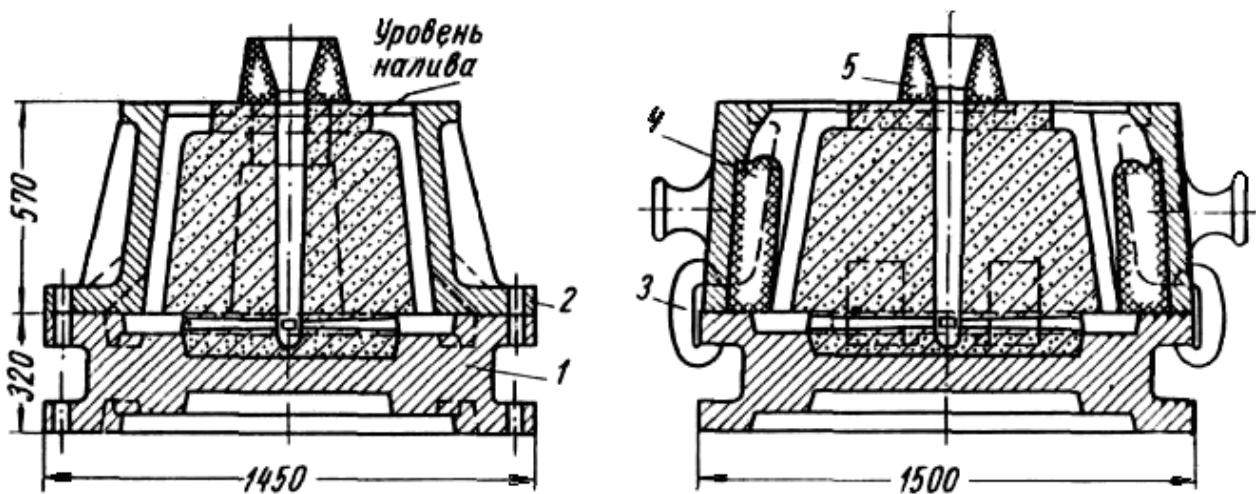


Рис. 10.9. Форма для лиття надставки надливу:

1 – нижня кокільна форма; 2 – верхня кокільна форма; 3 – скоба для запобігання підніманню верхньої форми при заливці; 4 – стрижень; 5 – заливальна чаша

Для зменшення витрат на форму надливної надставки останнім часом застосовують теплоізоляційні вставки, які закріплюють на стінках виливниці.

В процесі заливки сталі, робочу поверхню виливниці захищають шлакотвірні суміші. Частина шлакотвірної суміші після спливання вгору утеплює дзеркало металу і зменшує непродуктивні втрати металу на надлив.

10.3 Дефекти виливків і причини їх утворення

По ГОСТ 15467-79 дефектом називають кожну окрему невідповідність продукції встановленим вимогам. У ливарних цехах з різним технічним рівнем і культурою виробництва брак виливків коливається від 1 до 10 %, а по ряду найменувань складних виливків може досягати 50-70 %. Тому питанням виявлення й усунення браку приділяється велика увага.

У залежності від схильності дефектів до виявлення вони можуть бути явними і схованими. Всі можливі дефекти можуть підрозділятися на критичні, значні і малозначні.

Основними причинами дефектів виливків є - не технологічність конструкції деталі; недосконалість технологічного процесу лиття; порушення технології лиття; недоброякісність вихідних технологічних матеріалів.

Поправний брак виливків визначають при можливості усунення одного чи декількох дефектів, після виправлення яких вони можуть бути допущені до подальшої обробки і використання за призначенням. Непоправний або остаточний брак виливків - це дефекти, виправлення яких технічно неможливе чи економічно недоцільно, або якість виправлення яких неможливо проконтролювати. Бракуванню підлягають виливки, що мають хоча б один неусувний дефект.

Дефекти виливків з різних видів сплавів класифікує відділ технічного контролю, підрозділяє на основні групи та аналізує з ІТР для виявлення причин їх виникнення і усунення. Основними засобами виправлення дефектних виливків є заварка, закладення, наприклад, епоксидними компаундами, просочення герметизуючими матеріалами, а також установка різних заглушок, пробок і втулок.



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яку литникову систему застосовують при виробництві чавунних прокатних валків в стаціонарних ливарних формах?
2. Назвіть показники, які прийнято вважати показниками якості бочки прокатного валка.
3. Які марки сталі найчастіше застосовують для лиття сталевих прокатних валків?
4. Розшифруйте аббревіатуру СШХН-48?
5. Який роз'єм мають кокілі при литті валків з литими калібрами?
6. Чому в шийках валків обмежують кількість цементиту?
7. Опишіть спосіб виробництва двошарового листопрокатного валка у стаціонарній ливарній формі?
8. Які переваги має відцентровий спосіб лиття листопрокатних валків перед стаціонарним способом?
9. З якого матеріалу виконують виливниці?
10. Які види ливарних форм застосовують для виробництва виливниць?
11. При багатократній заливці виливниць сталю які види дефектів утворюються на її робочій поверхні?
12. Як захищають робочу поверхню виливниці від термічного удару сталі, що заливається?
13. Чому об'єм виробництва сталевих злитків і виливниць зменшується?
14. Які переваги мають теплоізоляційні вставки при литті злитків?
15. Який відділ заводу контролює брак виливків?
16. Наведіть основні причини дефектів виливків.

11 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ

Ливарні цехи класифікують по роду металу, характеру лиття, об'єму виробництва і ступеню серійності (табл. 11.1). Оскільки ливарні цехи обслуговують різні галузі промисловості, то їх також класифікують за галузевою ознакою.

Таблиця 11.1 – Класифікація ливарних цехів по максимальній масі вироблюваних виливків

Виливки	Виливки з чорних сплавів (кг) при виробництві		Виливки з легких кольорових сплавів (кг) в металевих формах	
	серійному, дрібносерійному і одиничному виробництві	масовому і великосерійному виробництві	під тиском	у кокілі
Дрібні	≤ 100	≤ 10	$\leq 0,2$	≤ 1
Середні	≤ 1000	≤ 50	≤ 1	≤ 6
Крупні	≤ 5000	≤ 500	6	≤ 25
Важкі	≤ 20000	> 500	> 6	> 25
Особливо важкі	> 20000	-	-	-

Виробничу програму ливарного цеху розраховують залежно від вихідних даних як точну, приведену або умовну. Причому, необхідно прагнути застосовувати автоматичні лінії формування-заливки-вибивки, що забезпечують виробництво невеликих серій виливків з швидкою зміною модельно-опочного оснащення.

У ливарних цехах застосовують три види режимів роботи: паралельний всіх відділень цеху; ступінчастий, з розділенням операцій за часом; комбінований, що призначається з урахуванням маси, і характеру виробництва виливків в різних відділеннях цеху.

При розрахунку устаткування використовують ефективний фонд часу, в якому враховані неминучі втрати часу при експлуатації устаткування. Наприклад, ефективний річний фонд часу ($\Phi_{\text{э}}$) при робочому тижні 41 година і 8 святкових днів в році складає: для індукційної печі промислової частоти місткістю 6-25 т при плавці чавуну і роботі в II зміні – 3850 годин, в III зміні – 5710 годин; для автоматизованої формувальної і стрижньової лінії при роботі в II зміні – 3645 годин, в III зміні – 5340 годин; для дугової електропечі місткістю 3-6 т при роботі в II зміні – 3890 годин, в III зміні – 5840 годин і т. ін.

Розрахунок устаткування плавильного відділення проводять виходячи з програми цеху, типу сплаву і плавильного агрегату, що забезпечує отримання металу необхідної якості. Обраний спосіб плавки дозволяє визначити відсоток і масу літників, брак лиття (приймають 3-4 % або за даними цеху-аналога), чад і безповоротні втрати. Ці дані дозволяють визначити металозавалення і загальну масу рідкого сплаву.

Наприклад, для отримання 116667 т рідкої сталі (25Л ГОСТ 977-88) в дуговій печі ДСП-6Н при тривалості циклу плавки 2,5 год і середньогодинної продуктивності 2,4 т/год розрахункова кількість печей складе 14 шт. При нормованому коефіцієнті завантаження печі 0,81 кількість ДСП-6Н приймаємо рівним 17 шт.

На рис. 11.1 наведено поперечний розріз шихтового і вагранкового прольотів чавуноливарного цеху з скиповим підйомником, що забезпечує передачу шихти, зваженої на вагах, з шихтового в плавильне відділення і завантаження її у вагранку.

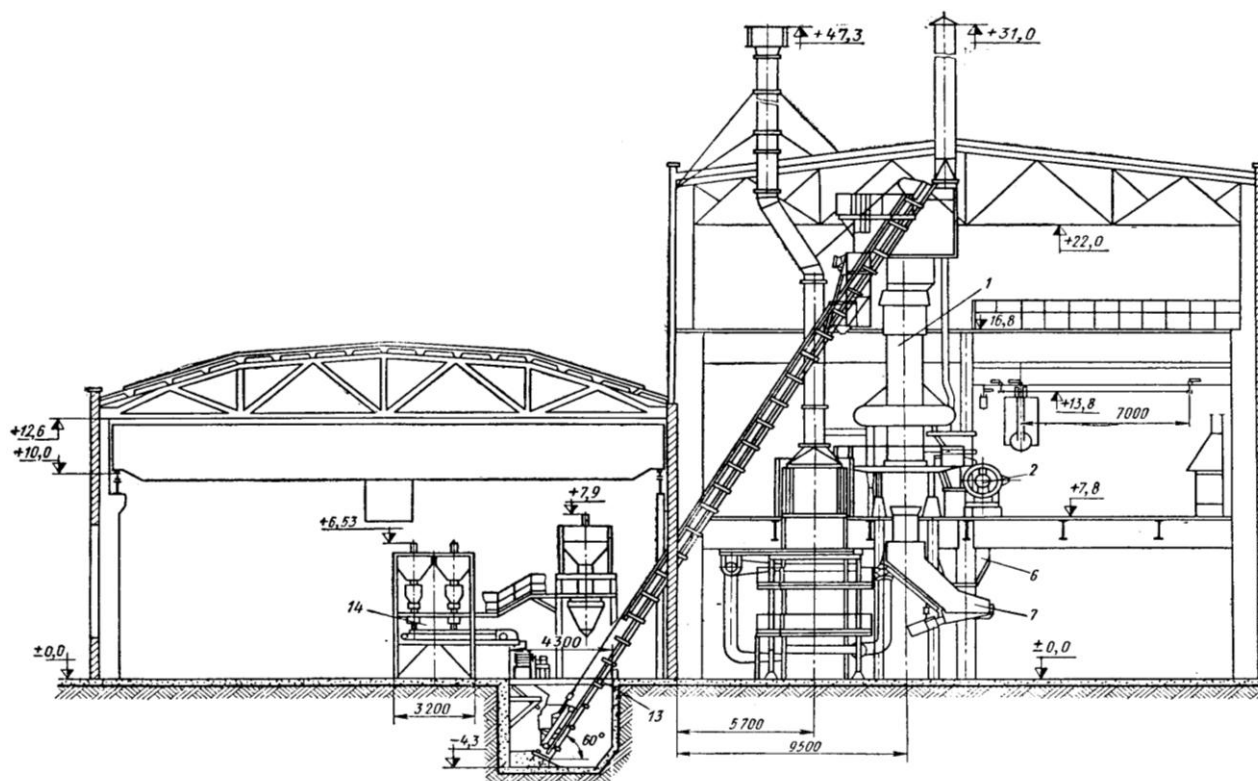


Рис. 11.1. Поперечний розріз вагранкового і шихтового прольотів чавуноливарного цеху

Як приклад, на рис. 11.2 наведено план розміщення устаткування сталеливарного цеху для автомобільного литва потужністю 35000 т/рік, загальною площею 17280 м², з випуском виливків на 1 м² загальній площі 2 т/рік і на одного працівника 64,2 т/рік. Такі високі показники можливі тільки при крупносерійному і масовому виробництві виливків.

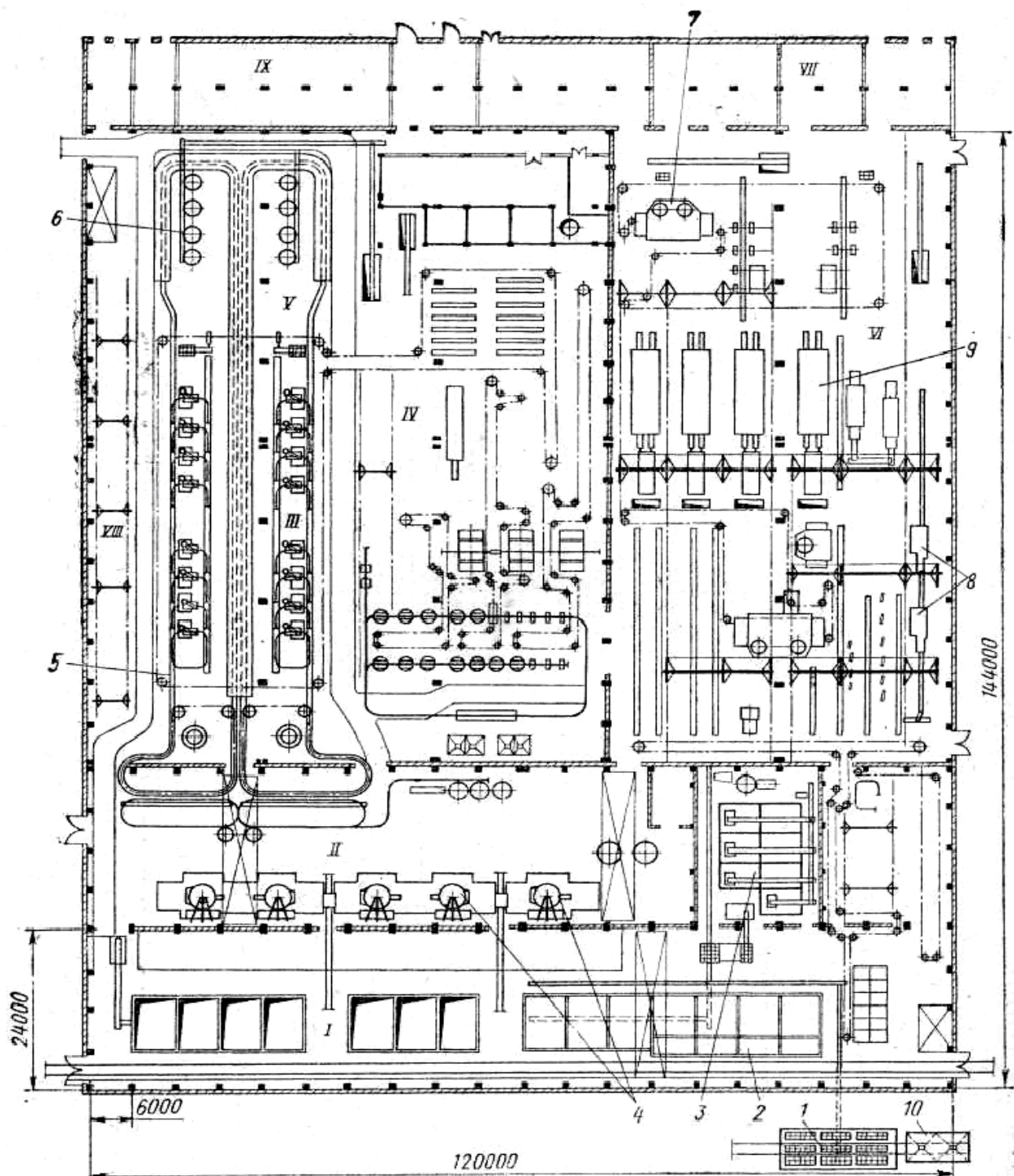


Рис. 11.2. Одноповерховий сталеливарний цех для автомобільного литва потужністю 35000 т за рік:

I - склад шихти і формувальних матеріалів; II - плавильне відділення; III - формувальне відділення; IV - стрижньове відділення; V - сумішеприготувальне відділення; VI - термообрубне відділення; VII - ремонтна служба; VIII - склад оснащення; IX - побутові приміщення; 1 - пристрій для розвантаження піску; 2 - засіки для вологого піску; 3 - засіки для сухого піску; 4 - електрична дугова піч місткістю 5 т; 5 - ливарний конвеєр з формувальними машинами, розмір опок 800x700 мм; 6 - комплект сумішеприготувального устаткування; 7 - дробометна камера безперервної дії; 8 - дробометний барабан періодичної дії; 9 - печі для термообробки; 10 - бункери для відходів суміші



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як класифікують ливарні цехи?
2. Як класифікують виливки по масі?
3. Як розраховують виробничу програму ливарного цеху залежно від вихідних даних?
4. Які види режимів роботи застосовують в ливарних цехах?
5. Чому при розрахунку устаткування використовують ефективний фонд часу?
6. Який нормований брак лиття приймають при проектуванні ливарного цеху?

ЛІТЕРАТУРА

1. Петриченко А.М. Книга о литье. -К.: Техніка, 1972.- 282с.
2. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. -М.: Машиностроение, 1990.- 384 с.
3. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. М.- Машиностроение.-1976.- 216 с.
4. Литейное производство: Учебник для металлургических специальностей вузов / А.М.Михайлов, Б.В.Бауман, Б.Н.Благов и др.; Под общ. ред. А.М.Михайлова.- 2-е изд. перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1987.- 256с.
5. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник /С.С.Жуковский, Г.А.Анисович, Н.И.Давыдов и др.; Под ред. Жуковского С.С.- М.: Машиностроение, 1993, 432с.
6. Чугун: Справочник / Под ред. А.Д.Шермана и А.А.Жукова.- М.- Металлургия, 1991.- 576с.
7. Федоров Г.Е., Ямшинский М.М., Платонов Е.А., Лютый Р.В.. Стальное литье.: Киев. НТУУ КПИ ПАО (Випол) 2013.- 896с.
8. Голод В.М., Денисов В.А. Теория, компьютерный анализ и технология стального литья.- СПб.: ИПЦ СПГУТД.- 2007.- 610с.
9. Производство отливок из сплавов цветных металлов. Учебник для вузов / Курдюмов А.В., Пикунов М.В., Чурсин В.М., Бибиков Е.Л.- Изд. 2-е доп. и перераб.- М.: МИСИС, 1996.- 504с.
10. Специальные способы литья: Справочник / В.А.Ефимов, Г.А.Анисович, В.Н.Бабич и др.; Под ред. В.А.Ефимова. -М.: Машиностроение, 1991.-436с.
11. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. - Днепропетровск.: Лира.- 2006.- 1056с.
12. Лейбензон В.А., Пилюшенко В.Л., Кондратенко В.М., Хрычиков В.Е., Недопекин Ф.В., Белоусов В.В., Дмитриев Ю.В. Затвердевание металлов и металлических композиций/Учебник для ВУЗов. Киев. Наукова думка.-2009.-410с.
13. Машиностроение. Энциклопедия.- М.: Машиностроение, 2001.- Т II-2 Стали. Чугуны / Под ред. О.А.Баннх и Н.Н.Александрова. 2001. 784 с., ил.
14. Основы проектирования литейных цехов и заводов / Л.И. Фанталов, Б.В. Кнорре, С.И. Четверухин и др. Под ред. Б.В. Кнорре.- М.: Машиностроение.- 1979.- 376с.

Додаток А
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУННОГО ВИЛИВКА ПО
КРЕСЛЕННЮ ДЕТАЛІ

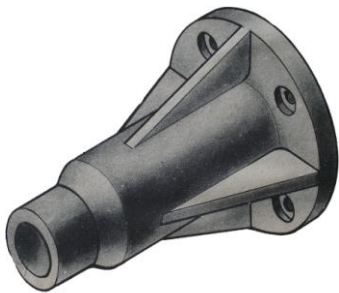


Рис. А.1. Лита деталь «Корпус»

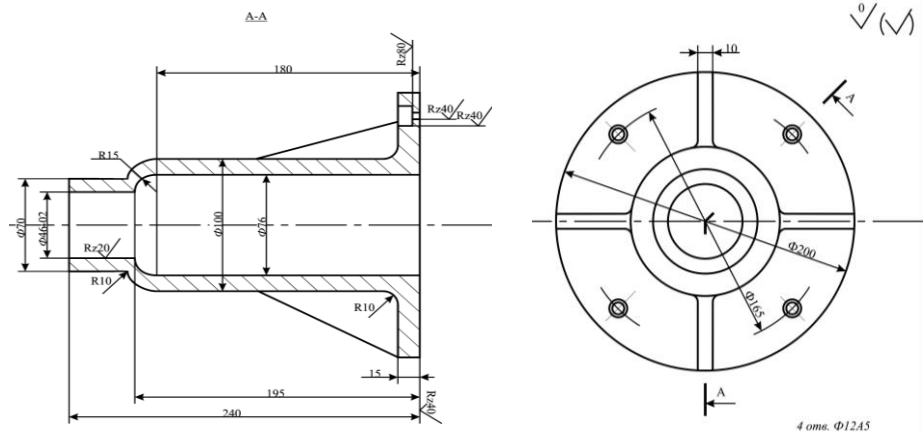


Рис. А.2. Креслення литої деталі «Корпус»

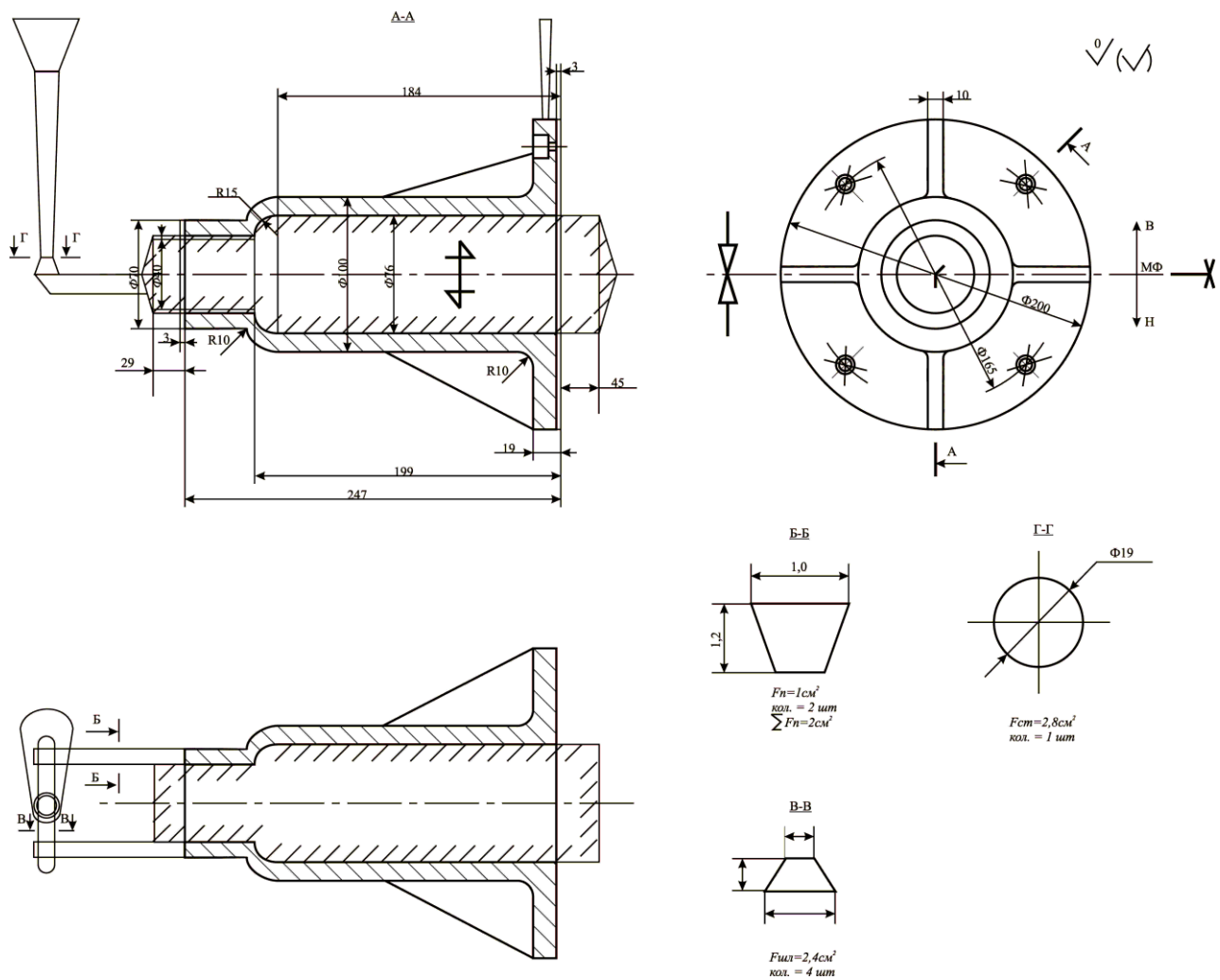


Рис. А.3. Ливарні технологічні вказівки на кресленні деталі:
ББ –переріз живильника; ВВ – переріз шлаковловлювача; ГГ – переріз стояка

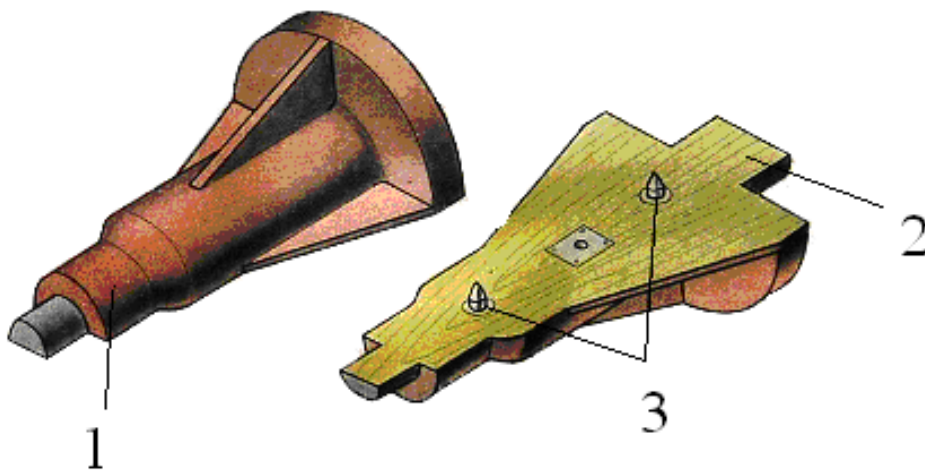


Рис. А.4. Роз'ємна модель (дерев'яна) вилівка «Корпус»:
1, 2 – верхня і нижня частини моделі; 3 –центруючі штирі

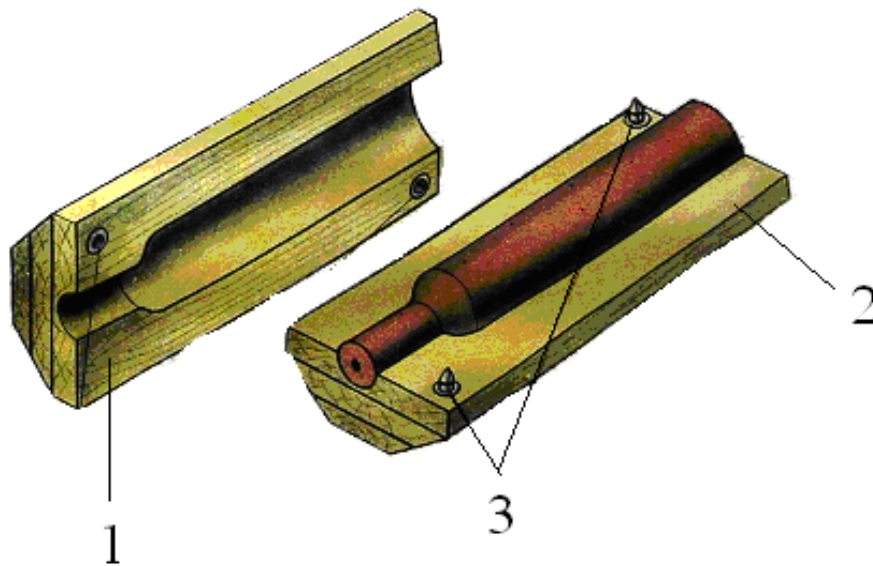


Рис. А.5. Стрижневий ящик із стрижнем:
1, 2 - верхня і нижня частини стрижневого ящика; 3 - центруючі отвори; 4 –центруючі штирки; 5 – стрижень

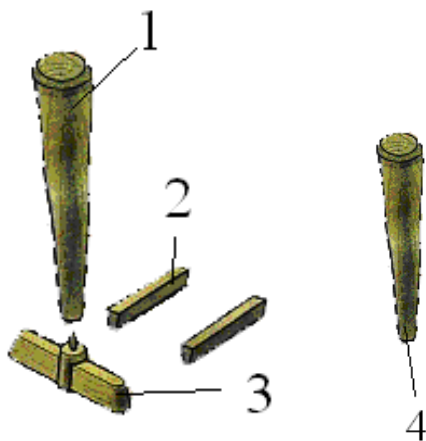
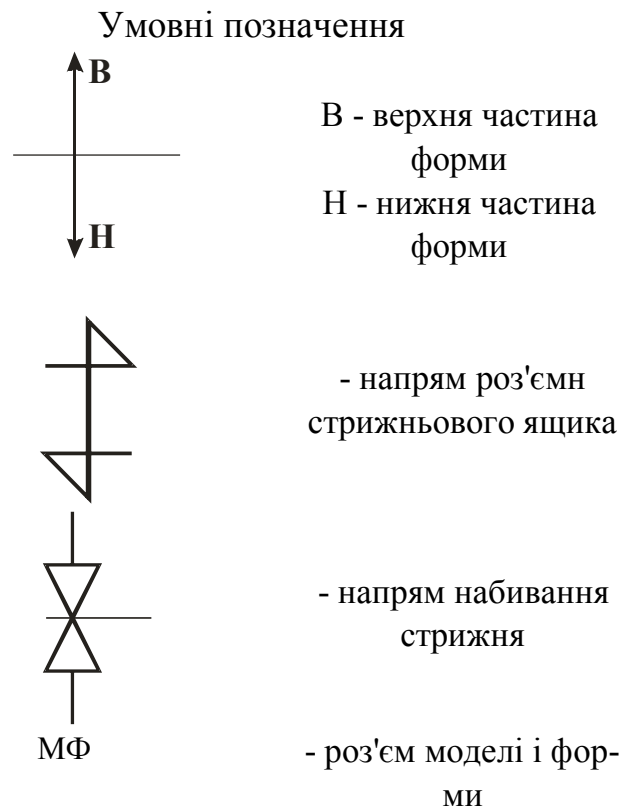


Рис. А.6 – Моделі елементів литникової системи:
1 - модель стояка; 2 - моделі жильників; 3 - модель шлаковловлювача (коллектора); 4 - модель випору



Додаток Б

**ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ХУДОЖНІХ І ЮВЕЛІРНИХ
ВИЛИВКІВ**

При литті скульптур застосовують формування по моделях, що виплавляються, кускове формування без опок в кесонах, кускове формування з глиняною сорочкою і кускове формування в опоках. На рис. Б.1 приведена схема формування бюста, при якому оригінал виробу, як художній твір, не знищується в процесі виготовлення ливарної форми. Такий спосіб складається також з двох процесів: 1) виготовлення по оригіналу виробу порожнистої моделі, що виплавляється, 2) виготовлення по порожнистій моделі ливарної форми виробу, що виплавляється.

Для зручності виготовлення форм художні і ювелірні вироби часто відливають окремими частинами, а потім їх сполучають зваркою, паянням, штифтами і ін. Виливки після вибивки форм мають на поверхні сліди від живильників, випорів, шви від з'єднань окремих частин форми (шматків), тому всі частини виливків потребують механічної обробки. Процес обробки і збірки художніх виливків полягає, як правило, з наступних операцій: відпалу виливків; обробки поверхні окремих частин; чеканки поверхні; складання деталей на постаменті; шпаклювання і забарвлення готового виробу. Ювелірні і художні вироби часто покривають в поглибленнях емаллю, прикрашають коштовними каменями і перлами. Приклади відомих витворів мистецтва лиття представлені на рис. Б.2 – Б.7.

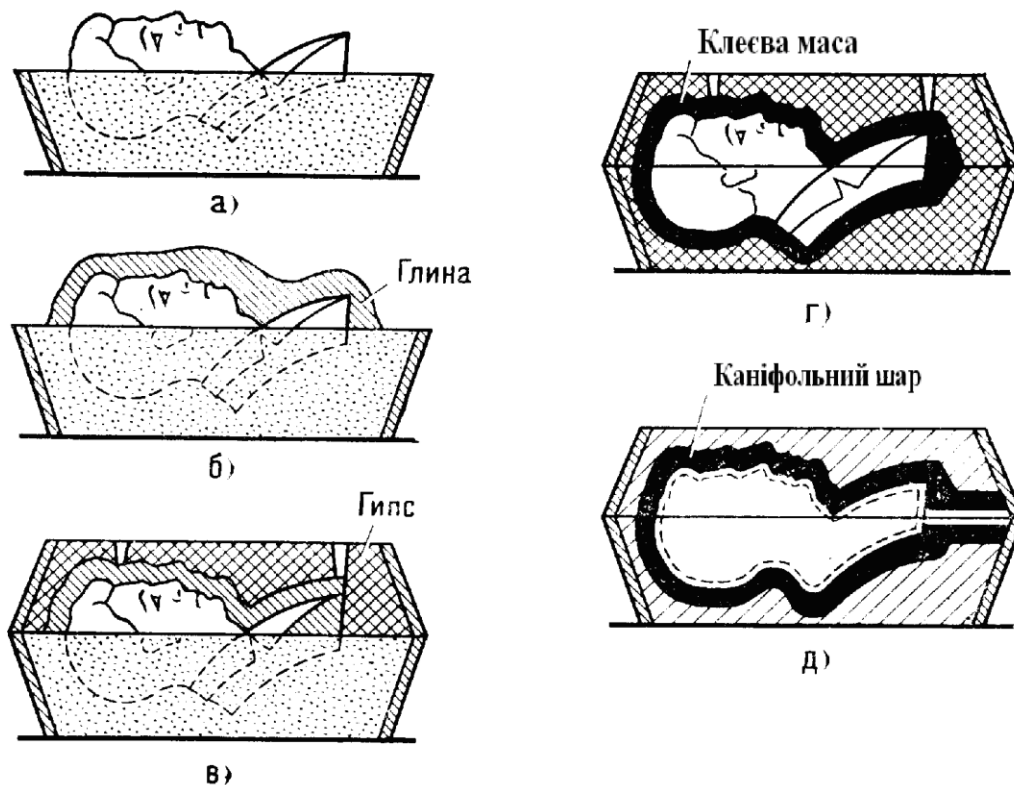


Рис. Б.1. Схема формування бюста за оригіналом