

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Пояснювальна записка

до випускної атестаційної роботи магістра

зі спеціальності 136 – Металургія

ОП «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів»

на тему:

**Розробка та дослідження технології виготовлення
випусків в багаторазових формах**

Виконав: студент групи ЛВ-24-1м

Лесько Д.В.

Керівник випускної роботи

Ярош Т.П.

Нормоконтролер

Ярош Т.П.

Завідувач кафедри

Савельєв С.Г.

Кривий Ріг

2025 р.

**ВІДОМОСТІ ОБСЯГУ МАТЕРІАЛІВ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ**

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4		1	КНУ.РМ.136.25.500с-08 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Графічні матеріали</u>		
A4		2	КНУ.РМ.136.25.500с-08 ПР	Презентація		
A4		3				
A4		4				
A4		5				

РЕФЕРАТ

У роботі досліджено технології виготовлення напівпостійних ливарних форм, зокрема кам'яних, графітових, цементних, гіпсових, цегляних, глиняних, шамотних та металокерамічних. Проаналізовано їх конструкційні особливості, матеріали, технологію формоутворення й принципи забезпечення стійкості.

Особливу увагу приділено технології підвищення ресурсу піддонів ливарних виливниць, які часто виходять з ладу внаслідок розмиву внутрішньої поверхні струменем рідкого металу, утворення розпалів і локального перегріву. Запропоновано встановлення металокерамічних вставок у зону максимального термічного навантаження. Таке конструктивне рішення дозволяє значно знизити інтенсивність руйнування піддону, підвищити його ресурс та зменшити собівартість виробництва сталі.

Показано, що використання напівпостійних форм і металокерамічних вкладишів забезпечує підвищену стійкість форм, покращує якість поверхні виливків і скорочує трудомісткість ремонтно-відновлювальних робіт. Розроблена технологія рекомендована до промислового впровадження в ливарних підрозділах підприємств металургійної та машинобудівної галузі.

представлено результати дослідження, присвяченого технологіям виготовлення напівпостійних форм та підвищенню експлуатаційної надійності піддонів, що працюють у складних умовах ливарного виробництва.

На першому етапі було здійснено аналіз традиційних і сучасних типів ливарних форм: кокілів, кам'яних, графітових, цементних, гіпсових, цегляних, шамотних і глиняних. Кожен вид форм має свої переваги: від високої точності графітових форм до вогнетривкості шамотних і легкості виготовлення гіпсових. Напівпостійні форми поєднують довговічність із невисокою собівартістю, що робить їх оптимальними для серійного виробництва

Особливу увагу приділено піддонам — елементам, які найчастіше виходять з ладу через розмив робочої поверхні струменем рідкого металу, локальні перегріви та тріщиноутворення. Нерівномірна дія струменя часто призводить до приварювання вилівка до піддону, що змушує повністю руйнувати оснастку.

Для усунення цих недоліків розроблена технологія застосування металокерамічних вставок. Вони встановлюються у зону розмиву, приймають на себе теплове та механічне навантаження, ізолюють основу з чавуну й запобігають утворенню дефектів.

Кожна наступна заміна вкладиша збільшує ресурс піддону в арифметичній прогресії, зменшує кількість ремонтно-підготовчих операцій і знижує витрати на обладнання.

МІСТ

1 Аналітична частина.....	
1.1 Сутність процесу та основні операції	
1.2 Кокілі. Загальні відомості.....	
1.2.1 Класифікація конструкцій кокілів	
1.3 Елементи конструкції кокілів	
1.4 Матеріали для кокілів.....	
1.5 Виготовлення кокілів.....	
1.6 Стійкість кокілів та шляхи її підвищення.....	
1.7 Особливості формування та якість виливків.....	
1.8 Ефективність виробництва та сфера застосування кокілів.....	
1.9 Недоліки лиття в кокілі	
2 Основна частина.....	
2.1 Характеристика виливниць.....	
2.2 Особливості технології виробництва піддонів.....	
2.3 Способи підвищення стійкості піддонів.....	
2.4 Підготовка піддону до розливання.....	
2.5 Технологічні режими лиття в кокіль.....	
2.6 Лиття в облицьовані кокілі.....	
2.7 Голчасті кокілі	
2.8 Кокілі, виготовлені методом порошкової металургії	
2.9 Надійність і технологічність виливків при застосуванні керамічних форм	
2.10 Технологія виготовлення металокерамічних (напівпостійних) форм.....	
2.10.1 Лиття в кам'яні форми.....	
2.10.2 Лиття в графітові форми.....	
2.10.3 Лиття в цементні форми.....	
2.10.4 Лиття в гіпсові форми.....	
2.10.5 Лиття в металокерамічні форми.....	
2.10.6 Лиття в цегляні форми.....	
2.10.7 Лиття в глиняні форми.....	
2.10.8 Лиття в шамотні форми.....	
2.11 Механічні властивості напівпостійних форм.....	
3 Економічна частина.....	
4 Санітарно-екологічна оцінка результатів НДР.....	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	

ВСТУП

Ливарне виробництво є одним із ключових напрямів машинобудівної галузі, а вибір способу формоутворення та типу ливарних форм значною мірою визначає якість, точність і собівартість отриманих виливків. На сьогодні поряд із традиційним литтям у піщано-глинисті форми все ширше застосовуються кокільні, металокерамічні, графітові, шамотні, гіпсові, кам'яні та інші види напівпостійних форм, що забезпечують високу точність, стабільність геометрії й підвищену зносостійкість.

Особливе значення мають піддони та виливниці, що працюють у складних умовах дії високої температури, рухомого рідкого металу, абразивного зношування і термічного шоку. Руйнування робочої поверхні піддонів — одна з найпоширеніших причин браку виливків та підвищених витрат на ремонтно-відновлювальні роботи. Тому вдосконалення конструкцій форм і піддонів, застосування металокерамічних вкладишів і розробка ефективних технологій їх виготовлення є одним із пріоритетних напрямів підвищення надійності ливарного оснащення.

У роботі розглянуто класифікацію кокільів, матеріали для їх виготовлення, технологію лиття в кам'яні, графітові, цементні, гіпсові, металокерамічні, цегляні, глиняні та шамотні форми. Особливу увагу приділено підвищенню стійкості піддонів до термічного впливу шляхом застосування металокерамічних вставок, які запобігають розмиванню кюмпельної частини та дозволяють значно знизити собівартість лиття.

Актуальність

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення довговічності ливарного оснащення, удосконалення технологій формоутворення і забезпечення стабільної якості виливків у умовах інтенсивних теплових і механічних навантажень.

Піддони та виливниці під час експлуатації зазнають:

- прямих ударів струменя рідкого металу,
- термічних перепадів до 1200–1400 °С,
- абразивного зношування,
- утворення розмивів, розпалів та тріщин.

Відсутність ефективного захисту робочої поверхні піддону веде до зростання браку, приварювання виливків, вимушеного руйнування піддонів, підвищення собівартості плавки та частих простоїв.

Застосування металокерамічних вставок, графітових, цементних, гіпсових та інших напівпостійних форм дозволяє:

- стабілізувати процес лиття,
- підвищити точність і чистоту поверхні виливків,
- знизити витрати на оснастку,
- збільшити ремонтпридатність та ресурс роботи піддонів.

Це визначає високу актуальність комплексного дослідження видів ливарних форм та розробки технології підвищення стійкості піддонів.

Мета роботи

Метою роботи є аналіз та вдосконалення технології виготовлення напівпостійних форм і піддонів, а також підвищення їх експлуатаційної стійкості шляхом застосування металокерамічних вставок і оптимізації конструкції та матеріалу ливарних форм.

Завдання роботи

- Проаналізувати класифікацію кокілів та напівпостійних форм, їх конструкційні особливості, переваги та недоліки.
- Визначити основні технологічні властивості матеріалів для виготовлення кокілів і керамічних форм.
- Охарактеризувати технології лиття в кам'яні, графітові, цементні, гіпсові, металокерамічні, глиняні, цегляні та шамотні форми.
- Дослідити особливості експлуатації піддонів та фактори їх руйнування.
- Розробити технологію застосування металокерамічних вставок для захисту робочої поверхні піддону.
- Оцінити вплив металокерамічних вставок на стійкість, ремонтпридатність і ресурс піддонів.
- Розробити рекомендації щодо впровадження отриманої технології у промислове виробництво.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сутність процесу. Основні операції. Область використання

Кокіль (від франц. Coquille) - металева форма, яка заповнюється розплавом під дією гравітаційних сил. На відміну від разової піщаної форми кокіль може бути використаний багаторазово. Таким чином, сутність лиття в кокіль полягає у застосуванні металевих матеріалів для виготовлення багаторазово використовуваних ливарних форм, металеві частини яких складають їх основу і формують конфігурацію і властивості виливки.

Кокіль (рис. 1.1) зазвичай складається з двох напівформ 1, плити 2, вставок 10. Напівформи взаємно центруються штирями 8, і перед заливанням їх з'єднують замками 9. Розміри робочої порожнини 13 кокілю більше розмірів виливки на величину усадки сплаву. Порожнини і отвори в литві можуть бути виконані металевими 11 або піщаними 6 стержнями, які вилучаються від заливки після її затвердіння і охолодження до заданої температури. Розплав заливають в кокіль через ливникову систему 7, виконану в його стінках, а живлення масивних вузлів виливки здійснюється з прибутків (що живлять випари) 3. При заповненні кокілю розплавом повітря і гази видаляються з його робочої порожнини через вентиляційні випори 4, пробки 5, канали 12, що утворюють вентиляційну систему кокілю.

Основні елементи кокілю - півформи, плити, вставки, стрижні т. д. - зазвичай виготовляють з чавуну або сталі. Вище розглянуто кокіль простої конструкції, але в практиці використовують кокілі різних, дуже складних конструкцій.

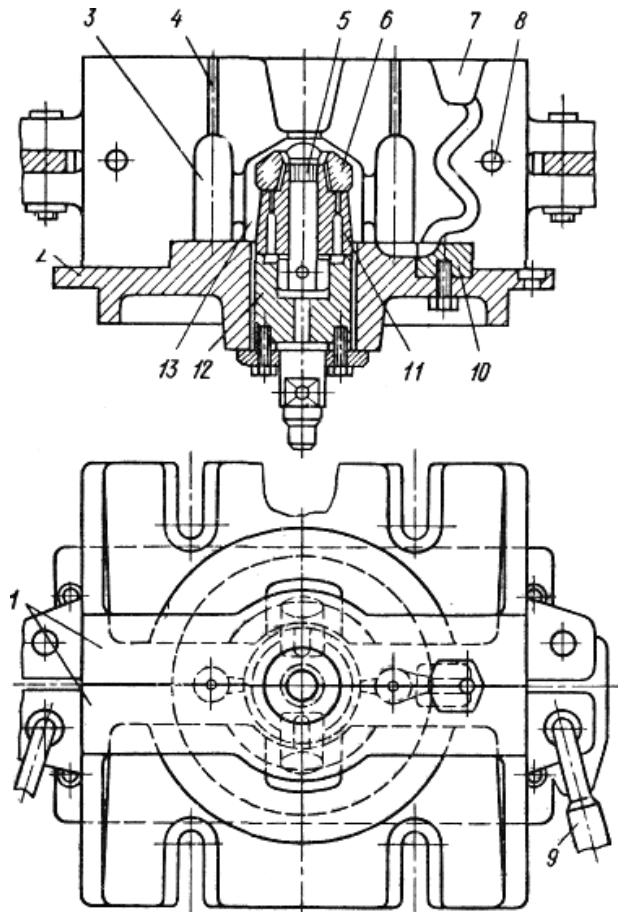


Рис.1.1.Кокіль

Основні операції технологічного процесу. Перед заливкою розплаву новий кокіль підготовляють до роботи: поверхню робочої порожнини і роз'єм ретельно очищають від слідів забруднень, іржі, масла; перевіряють легкість переміщення рухомих частин, точність їх центрування, надійність кріплення. Потім на поверхню робочої порожнини і металевих стрижнів наносять шар вогнетривкого покриття (рис. 1.2, а) - облицювання і фарби. Склад облицювань і фарб залежить в основному від заливаемого сплаву, а їх товщина – від необхідної швидкості охолодження виливка: чим товще шар вогнетривкого покриття, тим повільніше охолоджується виливок. Разом з тим шар вогнетривкого покриття оберігає робочу поверхню форми від різкого підвищення її температури при заливці, розплавлення і зчеплення з металом виливка. Таким чином, облицювання і фарби виконують дві функції: захищають поверхню кокілю від різкого нагріву і зчеплення з виливком і дозволяють регулювати швидкість охолодження виливка, а значить, і процеси її затвердіння, що впливають на властивості металу виливка.

Перед нанесенням вогнетривкого покриття кокіль нагрівають газовими пальниками або електричними нагрівачами до температури 423-453 К. Фарби наносять на кокіль зазвичай у вигляді водної суспензії через пульверизатор. Краплі водної суспензії, потрапляючи на поверхню нагрітого кокілю, випаровуються, а вогнетривка складова рівним шаром покриває поверхню.

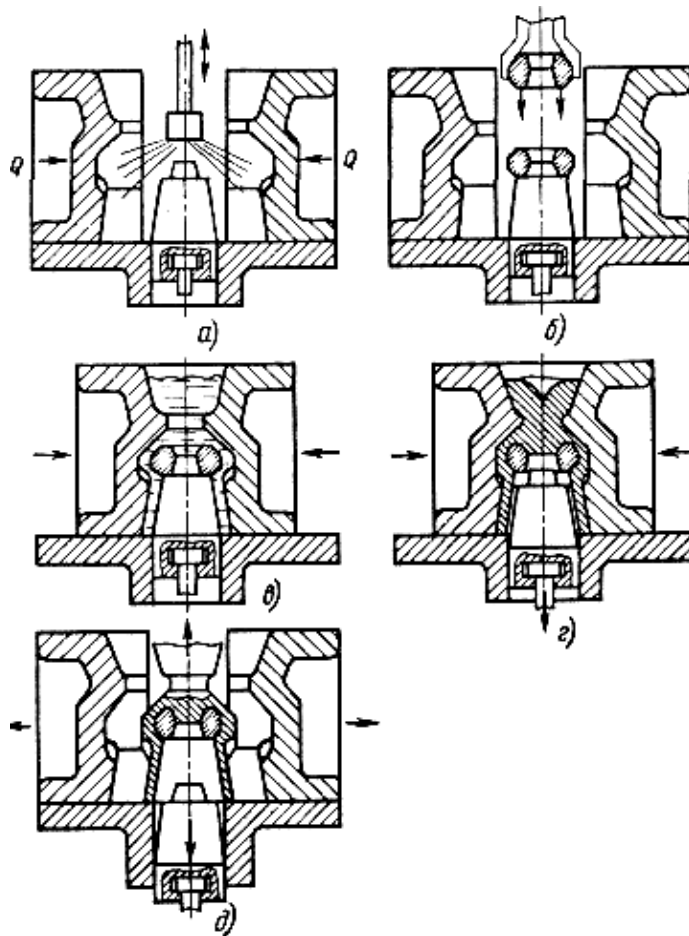


Рис.1.2.Послідовність виготовлення виливки в кокілі

Після нанесення вогнетривкого покриття кокіль нагрівають до робочої температури, що залежить в основному від складу заливаємого сплаву, товщини стінки виливки, її розмірів, необхідних властивостей. Зазвичай температура нагріву кокілю перед заливанням 473-623 К. Потім у кокіль встановлюють піщані або керамічні стрижні (рис. 1.2, б), якщо такі необхідні для отримання виливки; половини кокілю з'єднують (рис. 1.2, в) і скріплюють спеціальними зажимами, а при установці кокілю на кокільний машині за допомогою її механізму замикання, після чого заливають розплав в кокіль. Часто в процесі затвердіння і охолодження виливки, після того як виливок придбає достатню міцність, металеві стрижні «підривають», тобто частково витягують з виливки (рис. 1.2, г) до її вилучення з кокілю. Це роблять для того, щоб зменшити обтиснення вмощуваємим виливком металевого стержня і забезпечити його витяг з виливки. Після охолодження виливки до заданої температури кокіль розкривають, остаточно витягають металевий стрижень і видаляють виливок з кокілю (рис. 1.2, д). З виливки вибивають піщаний стрижень, обрізають ливники, прибуток, випори, контролюють якість виливки. Потім цикл повторюється.

Перед повторенням циклу оглядають робочу поверхню кокілю, площину роз'єму. Зазвичай вогнетривку фарбу наносять на робочу поверхню кокілю 1-2 рази на зміну, зрідка відновлюють її в місцях, де вона відшарувалася від робочої поверхні. Після цього при необхідності, що частіше буває при литті тонкостінних виливків або сплавів з низькою рідкоплинністю, кокіль підігрівають до робочої температури, так як за час вилучення виливки і фарбування робочої поверхні він охолоджується.

Якщо ж виливок досить масивний, то, навпаки, кокіль може нагріватися його теплотою до температури більшої, ніж необхідна робоча, і перед наступним заливанням його охолоджують. Для цього в кокілі передбачають спеціальні системи охолодження.

Як видно, процес лиття в кокілі - малоопераційний. Маніпуляторні операції досить прості і короткочасні, а лімітуючою за тривалістю операцією являються охолодження виливка у формі до заданої температури. Практично всі операції можуть бути виконані механізмами машини або автоматичної установки, що є істотними перевагами способу, і, звичайно, найголовніше виключається трудомісткий і матеріаломісткий процес виготовлення форми, кокіль використовується багаторазово.

1.2 Кокілі. Загальні відомості

У виробництві використовують кокілі різних конструкцій.

Класифікація конструкцій кокілів. Залежно від розміщення поверхні роз'єму кокілі бувають: нероз'ємні (витрушуючі); з вертикальною площиною роз'єму; з горизонтальною площиною роз'єму; зі складною (комбінованою) поверхнею роз'єму.

Нероз'ємні, або витрушуючі, кокілі (рис. 1.3) застосовують у тих випадках, коли конструкція виливки дозволяє видалити її разом з ливниками з порожнини кокілю без його роз'єму. Зазвичай ці виливки мають досить просту конфігурацію.

Кокілі з вертикальною площиною роз'єму складаються з двох або більше напівформ. Виливок може розташовуватися цілком в одній з половин кокілю, в двох половинах кокілю, одночасно у двох половинах кокілю і в нижній плиті.

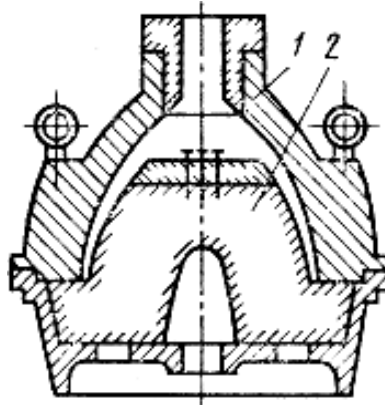


Рис.1.3.Кокіль витрушуючий: 1 – стрижень; 2 - кокіль

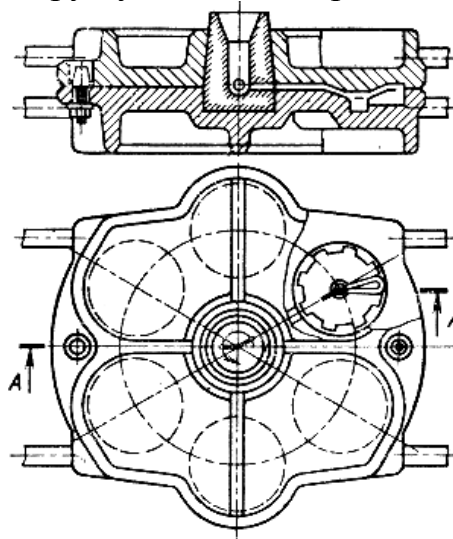


Рис.1.4.Кокіль з горизонтальним роз'ємом

Кокілі з горизонтальним роз'ємом (рис. 1.4) застосовують переважно для простих по конфігурації, а також великогабаритних виливків, а в окремих випадках для виливків досить складної конфігурації.

Кокілі зі складною (комбінованою) поверхнею роз'єму (рис. 1.5) використовують для виготовлення виливків складної конфігурації. За кількістю робочих порожнин (гнізд), визначаючих можливість одночасного, з однією заливкою, виготовлення тієї чи іншої кількості виливків, кокілі поділяють на одномісні і багатомісні (рис. 1.4).

Залежно від способу охолодження розрізняють кокілі з повітряним (природним і примусовим), з рідинним (водяним, масляним) і з комбінованим (водо-повітряним і т. д.) охолодженням. Повітряне охолодження використовують для мало тепло-навантажених кокілів. Водяне охолодження використовують зазвичай для високо тепло-навантажених кокілів, а також для підвищення швидкості охолодження виливки або її окремих частин. На рис. 1.6 представлений кокіль з повітряним охолодженням. Ребра на стінках кокілю

збільшують поверхню дотику охолоджувача - повітря - з кокілем і відповідно тепловідвід. На рис. 1.7 представлений водоохолоджуваний кокіль для виливки барабана шахтної лебідки з високоміцного чавуну. Вода подається роздільно в обидві половини кокілю, нижню плиту і верхню кришку.

1.3 Елементи конструкції кокілів

Кокіль, як і будь-яка ливарна форма, відповідальний і точний інструмент. Технічні вимоги до кокілів обумовлені ГОСТом. Конструктивне виконання основних елементів кокілей - напівформ, плит, металевих стрижнів, вставок - залежить від конфігурації виливки, а також від того, чи призначена форма для установки на кокільну машину. До основних конструктивних елементів кокілів відносять:

- *формотворчі елементи* - половини кокілів, нижні плити (піддони), вставки, стрижні;
- *конструктивні елементи* - виштовхувачі, плити виштовхувачів, замикаючі механізми, системи нагрівання й охолодження кокіля і окремих його частин, вентиляційну систему, центруючі штирі і втулки.

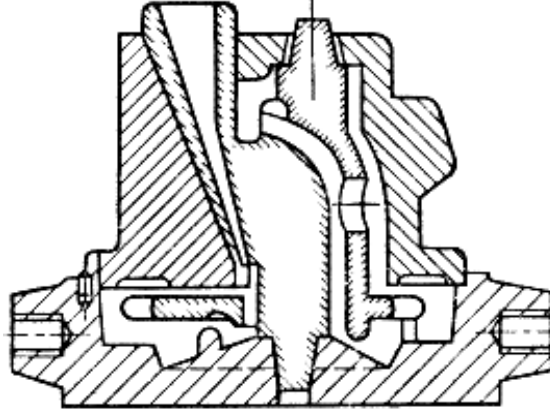


Рис. 1.5. Кокіль зі складним роз'ємом

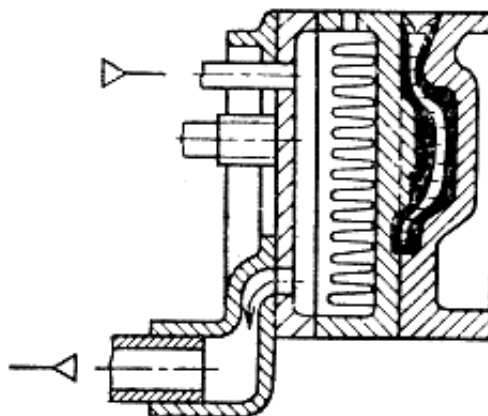


Рис. 1.6. Кокіль з повітряним охолодженням

Корпус кокілю або його половини виконують коробчастими, з ребрами жорсткості. Ребра жорсткості на тильній, неробочій стороні кокілю роблять невисокими, завтовшки 0,7-0,8 товщини стінки кокілю, поєднуючи їх галтелями з корпусом. Товщина стінки кокілю залежить від складу заливаемого сплаву і

його температури, розмірів і товщини стінки виливки, матеріалу, з якого виготовляється кокіль, конструкції кокілю.

Товщина стінки кокілю повинна бути достатньою, щоб забезпечити заданий режим охолодження виливки, достатню жорсткість кокілю і мінімальне його викривлення при нагріванні теплотою залитого розплаву, стійкість проти розтріскування.

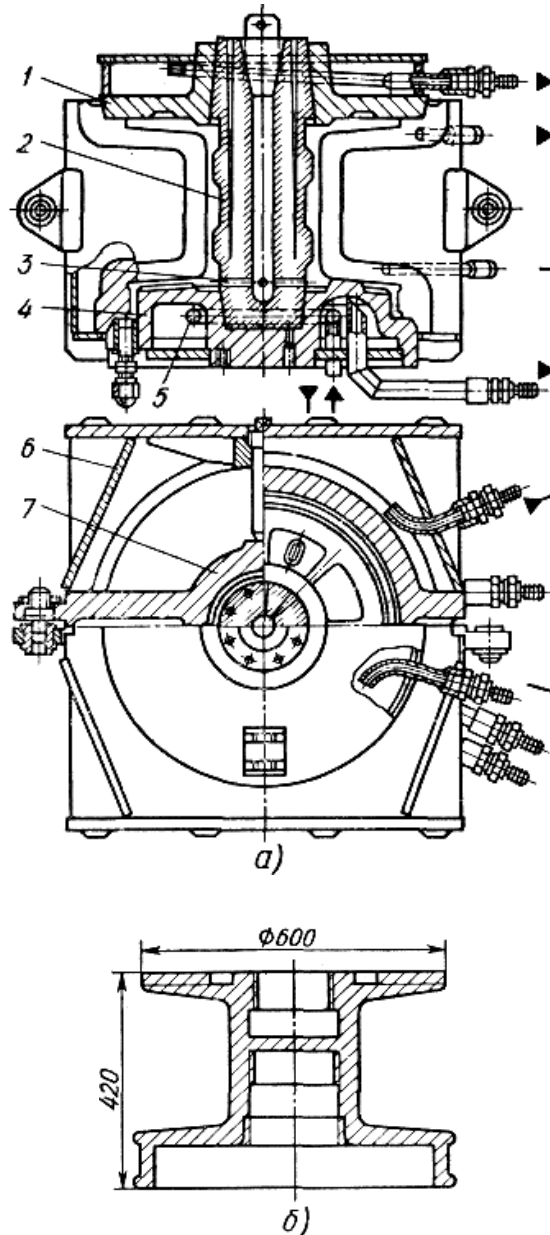


Рис. 1.7. Водоохолоджувані кокілі (а) і виливок (б):

1 - верхня плита; 2 - стрижень; 3 - живильник; 4 - піддон; 5 - труба охолодження; 6 - кожух; 7 - половина кокілю

Розміри половинок кокілю повинні дозволяти розміщувати його на плитах кокільної машини. Для кріплення на плитах машини кокіль має припливи.

Стрижні в кокілях можуть бути піщаними і металевими.

Піщані стрижні для кокільних виливків повинні мати знижену газотворність і підвищену поверхневу міцність. Перша вимога обумовлена труднощами видалення газів з кокілю; друга – взаємодією знакових частин стрижнів з кокілем, в результаті чого окремі піщинки можуть потрапити в порожнину

кокілю й утворити засмічення у виливку. Стрижневі суміші і технологічні процеси виготовлення піщаних стрижнів можуть бути різними – по гарячим ящикам (сумісні оболонкові стрижні), з холоднотвердіючих сумішей і т. д.

У кожному разі використання піщаних стрижнів в кокілях виникає необхідність організації додаткової технологічної лінії для виготовлення стрижнів в кокільному цеху. Однак у кінцевому підсумку використання кокілів в комбінації з піщаними стержнями в більшості випадків виправдовує себе економічно.

Металеві стрижні застосовують, коли це дозволяють конструкція виливки і технологічні властивості сплаву. Використання металевих стрижнів дає можливість підвищити швидкість затвердіння виливки, скоротити тривалість циклу її виготовлення, в окремих випадках підвищити механічні властивості і щільність (герметичність). Однак при використанні металевих стрижнів зростають напруги в виливку, збільшується небезпека появи в них тріщин через утруднення усадки.

Металеві стрижні, які виконують зовнішні поверхні виливки, називають вкладишами (рис. 1.8, а). Вкладиші затрудняють механізацію та автоматизацію процесу, так як їх встановлюють і видаляють вручну. Металеві стрижні, які виконують рольотворів і порожнин простих обрисів (рис. 1.8, б). До моменту повного вилучення виливки «підривають» для зменшення зусилля вилучення стрижня. Порожнини більш складних обрисів виконуються роз'ємними (рис. 1.8, в) або поворотними (рис. 1.8, г) металевими стрижнями.

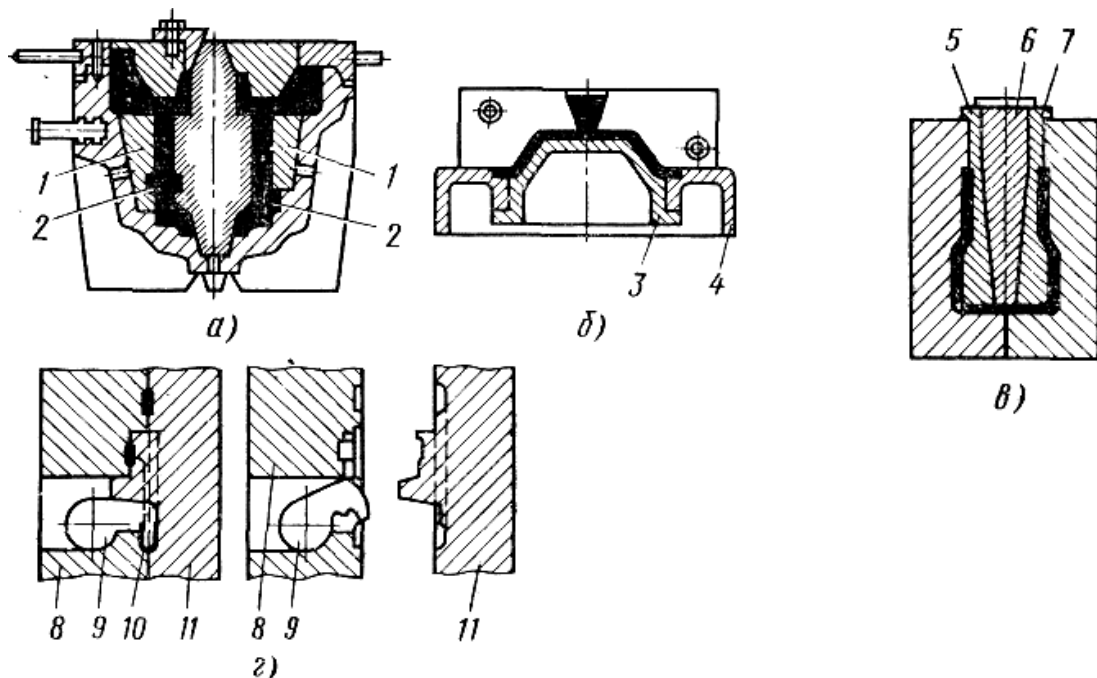


Рис. 1.8. Металеві стрижні: 1 - вкладиш; 2 - виступи на виливку; 3 стрижень; 4 - плита; 5 - 7 - частини стрижня; 8, 11 - напівформи; 9 - поворотний стрижень; 10 – виливок

Для надійного вилучення стрижнів з виливки вони повинні мати ухили 1-5 °, хороші направляючі щоб уникнути перекосів, а також надійну фіксацію у формі.

У багатьох випадках металеві стрижні роблять водоохолоджуючими зсередини. Водяне охолодження стрижня зазвичай включають після утворення в литві міцної скоринки. При охолодженні розміри стрижня скорочуються так, що між ним і виливком утворюється зазор, який зменшує зусилля вилучення стрижня

з

виливки.

Для вилучення стрижнів в кокілях передбачають винтові, ексцентрикові, рейкові, гідравлічні та пневматичні механізми. Конструкції цих пристроїв виконують відповідно до діючих ГОСТами.

Вентиляційна система повинна забезпечувати направлене витіснення повітря з кокілю розплавом. Для виходу повітря використовують відкриті випори, прибутку, зазори по площині роз'єму і між рухомими частинами (вставками, стрижнями) кокілю і спеціальні вентиляційні канали: по площині роз'єму роблять газовідвідні канали / (див. Б - Б на рис. 1.9), спрямовані по можливості вгору. У місцевих поглибленнях форми при заповненні їх розплавом можуть утворюватися повітряні мішки (див. А - А). У цих місцях в стінці кокілю встановлюють вентиляційні пробки 2. При виборі місця установки вентиляційних пробок необхідно враховувати послідовність заповнення форми розплавом.

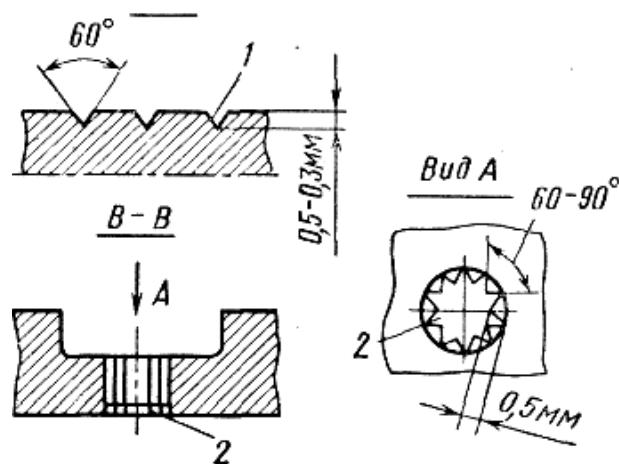


Рис.1.9.Вентиляційна система кокілю

Центруючі елементи - контрольні штирі і втулки - призначені для точної фіксації половинок кокілю при його складанні. Зазвичай їх кількість не перевищує двох. Їх розташовують у діагонально розташованих кутках кокілю.

Замикаючі механізми призначені для запобігання розкриття кокілю і виключення прориву розплаву по його гнізді при заповненні, а також для забезпечення точності виливків. У ручних кокілях застосовують ексцентрикові, клинові, гвинтові замки та інші пристрої, що забезпечують щільне з'єднання частин кокілю.

Закриття і замикання кокілів, що встановлюються на машинах, здійснюється пневматичним або гідравлічним приводом рухомої плити машини.

Системи нагрівання й охолодження призначені для підтримки заданого температурного режиму кокілю. Застосовують електричний і газовий обігрів.

Перший використовується для загального нагріву кокілю, другий більш зручний для загального та місцевого нагріву.

Видалення виливки з кокілю здійснюється спеціальними механізмами. При розкритті кокілю виливок повинен залишатися в одній з його половин, бажано в рухомій, щоб використовувати її рух для виштовхування виливка. Тому виконують на одній стороні виливки менші, а на іншій великі ухили, спеціальні технологічні припливи і передбачають несиметричне розташування ливникової системи в кокілі (разом в одній половині кокілю).

При виготовленні великих виливок має бути забезпечено видалення виливки з обох половин кокілю. Виливки з кокілю видаляються виштовхувачами, які розташовують на невідповідальних поверхнях виливки або ливниках рівномірно по периметру виливки, щоб не було перекосу і заклинювання її в кокілі. Виштовхувачі повертаються у вихідне положення пружинами (невеликі кокілі) або контрштовхачами.

1.4 Матеріали для кокелів

У процесі експлуатації в кокілі виникають значні термічні напруги внаслідок чергування різких нагрівів при заливці і затвердінні виливки і охолоджень при розкритті кокілю і добуванні виливка, нанесенні на робочу поверхню вогнетривкого покриття. Крім знакозмінних термічних напруг під дією змінних температур в матеріалі кокілю можуть протікати складні структурні зміни, хімічні процеси. Тому матеріали для кокілю, особливо для його частин, що безпосередньо стикаються з розплавом, повинні добре протистояти термічній втомі, мати високі механічні властивості і мінімальні структурні перетворення при температурах експлуатації, мати підвищену зростостійкість і окалиностійкість, мати мінімальну дифузію окремих елементів при циклічному впливі температур, добре оброблятися, бути недефіцитними і недорогими.

Виробничий досвід показує, що для робочих стінок кокелів досить повно зазначеним вимогам відповідають приведені в таблиці 1.1 матеріали.

Таблиця 1.1

СЧ20, СЧ25	Кокілі для дрібних і середніх виливків з алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів, чавуну; кокілі з повітряним і водоповітряним охолодженням
ВЧ42-12, ВЧ45-5	Кокілі для дрібних, середніх і великих виливків з чавунів: сірого, високоміцного, ковкого; кокілі з повітряним і водоповітряним охолодженням
Сталі 10, 20, Ст3, сталі 15Л-П, 15ХМЛ	Кокілі для дрібних, середніх, великих та особливо великих виливків з чавуну, сталі, алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів

Мідь і її сплави, леговані сталі і сплави з особливими властивостями	Вставки для інтенсивного охолодження окремих частин виливків; тонкостінні водоохолоджувані кокілі; масивні металеві стрижні для виливків з різних сплавів
АЛ9, АЛ11	Водоохолоджувані кокілі з анодованою поверхнею для дрібних виливків з алюмінієвих, мідних сплавів, чавуну

Найбільш широко для виготовлення кокілів застосовують сірий і високоміцний чавуни марок СЧ20, СЧ25, ВЧ42 - 12, так як ці матеріали в достатній мірі задовольняють основним вимогам і порівняно дешеві. Ці чавуни повинні мати феритно-перлітну структуру.

Графіт в сірих чавунах повинен мати форму дрібних ізольованих включень. У цих чавунах заборонена присутність вільного цементиту, так як при нагріванні кокілю відбувається розпад цементиту зі зміною обсягу матеріалу, в результаті в кокілі виникають внутрішні напруження, що сприяють викривленню, утворення сітки розпаду, зниження його стійкості.

До складу таких чавунів для підвищення їх стійкості вводять до 1% нікелю, міді, хрому, а вміст шкідливих домішок сірки і фосфору має бути мінімальним.

Наприклад, для виготовлення кокілів з високою тепло-навантаженістю рекомендується [14] сірий чавун наступного хімічного складу, % : 3,0-3,2 С; 1,3-1,5 Si; 0,6-0,8 Mn; 0,7-0,9 Cu; 0,3-0,7 Ni; 0,08 -0,1 Ti; до 0,12 S; до 0,1 P.

Для виготовлення кокілів використовують низько вуглецеві сталі 10, 20, а також сталі, леговані хромом і молібденом, наприклад 15ХМЛ. Ці матеріали мають високу пластичність, тому добре опираються розтріскування при експлуатації. Кокілі для дрібних виливків з чавуну і алюмінієвих сплавів іноді виготовляють з алюмінієвих сплавів АЛ9 і АЛ11. Такі кокілі анодують, в результаті чого на їх робочій поверхні утворюється тугоплавка (температура плавлення близько 2273 К) зносостійка плівка окислів алюмінію завтовшки до 0,4 мм.

Висока теплопровідність алюмінієвих стінок кокілю сприяє швидкому відводу теплоти від виливки.

Таблиця 2.1. Матеріали для виготовлення деталей кокілю

Деталі кокіля	Умови роботи	Матеріали
Стрижні, штирі, зворотні штовхачі, тяги	Стикаються з рідким металом, працюють на стирання	Сталь 45
Стрижні, вставки, виштовхувачі з різкими переходами в перетинах	Оформляють глибокі порожнини виливків і знаходяться під дією високих температур	30ХГС, 35ХГСА, 35ХНМ, 4Х5МФС

Виштовхувачі	Відчують ударні навантаження	У8А; У10А
Осі, вали, ексцентрики	Працюють на стирання	Сталь 25*

*Піддають

*Піддаються цементації

Ці кокілі зазвичай роблять водоохолоджуваними. Мідь також часто використовують для виготовлення робочих стінок водоохолоджуваних кокілів. З міді роблять окремі вставки, вкладиші в місцях, де необхідно прискорювати тепловідвід від виливки і тим самим управляти процесом її затвердіння.

Стрижні простої конфігурації виготовляють з конструкційних вуглецевих сталей, а складної конфігурації - з легованих сталей, для інших деталей - осей, валів, болтів і т. д. - використовують конструкційні сталі (табл. 1.1).

1.5 Виготовлення кокілів

Кокілі невеликих розмірів для дрібних виливків з алюмінієвих, магнієвих, цинкових, олов'яних сплавів виготовляють литими з чавуну, а також часто з поковок обробкою різанням з електрофізичною та електрохімічною обробкою робочих порожнин. Більші кокілі - виконують литими. При литві робочих стінок кокілів особливу увагу звертають на те, щоб заготовки не мали внутрішніх напружень, що забезпечується технологією лиття, а також зниженням рівня залишкових напруг відповідною термічною обробкою.

Бажано виконувати литу заготовку кокілю такою, щоб не було потрібно обробки різанням робочих порожнин, в крайньому випадку може проводитися їх зачистка. Це забезпечує зниження вартості кокілю і підвищення стійкості робочої поверхні до появи сітки розгарних тріщин при експлуатації.

Проте вирішити це завдання важко, особливо якщо конфігурація робочої порожнини складна. Тому литі необроблені кокілі застосовують для виливків нескладної конфігурації. Робочу порожнину кокілю виконують стрижнями, які для отримання чистої поверхні кокілю, без пригару, обов'язково фарбують або натирають протипригарними пастами. Без фарбування використовують лише стрижні, одержувані по нагрівальній оснастці з сумішшю зі зв'язуючим ПК- 104, а також стрижні з пісків зернистості не вище 016, стрижні з цирконієвих пісків.

Для отримання литих кокілів зі сталі використовують CO₂ - процес, а також керамічні форми, виготовлені за постійним моделям [11]. Останній спосіб дозволяє отримувати робочі порожнини кокілів складної конфігурації без обробки різанням. Точність розмірів робочих порожнин в цьому випадку досягає 12 - 14 -го квалітетів по СТ РЕВ 145-75, а шорсткість поверхні R_z= 40 ÷ 10 мкм по ГОСТ 2789-73. Використання керамічних форм для виготовлення робочих стінок кокілів дозволяє знизити обсяг обробки різанням на 50-60%.

Литі заготовки сталевих кокілів після виливки піддають термічній обробці - нормалізації. Термічну обробку сталевих водоохолоджуючих кокілів проводять після приварки до них кожухів і коробок для подачі рідини, так як при зварюванні в конструкції неминуче виникнуть внутрішні напруги, які можуть призвести до викривлення кокілю при експлуатації.

Для стабілізації розмірів і форми сталеві кокілі перед остаточною обробкою різанням піддають старінню по режиму: нагрівання до 773-873 К, витримка 2 год на кожні 25 мм товщини стінки, охолодження з вночі до 473 – 573 К і далі на повітрі. Використовують також «тренування» - циклічну термічну обробку: в піч, нагріту до 1173 К, поміщають кокіль і нагрівають до 573 К, потім охолоджують обдуванням повітря. Цей цикл повторюють 3-4 рази. Старіння і циклічну термічну обробку за зазначеними режимами використовують також і для чавунних заготовок кокілів.

1.5 Стійкість кокілів та шляхи її підвищення

Стійкість кокілів вимірюється числом виливків необхідної якості, отриманих в даному кокілі до виходу його з ладу. Приблизна стійкість кокілів приведена в табл. 1.2.

Збільшення стійкості кокілю при литті чавуну, сталі, мідних сплавів дозволяє підвищити ефективність виробництва виливків завдяки зниженню витрат на виготовлення кокілю, розширити область застосування цього перспективного технологічного процесу.

Таблиця 1.2. Наближена стійкість кокілів

Заливаємий сплав	Виливки	Матеріал кокілю	Стійкість кокілю (число виливок)
Мідні	Малі	Чавун	1000—10000
	Середні		1000—8000
	Малі	Сталь	1000— 1 500
	Середні		500 - 3000
Алюмінієві магнієві цинкові	Малі Середні Великі	Чавун	Сотні тисяч Десятки тисяч Декілька тисяч

Основною причиною руйнування кокілю є складні термохімічні процеси, що викликаються нерівномірним циклічним нагріванням і охолодженням робочої стінки кокілю у всіх трьох її вимірах (по товщині, довжині, ширині). Це призводить до появи неоднорідного, що змінюється з зміною температури поля напружень у стінці кокілю, що викликає її пружні і пластичні деформації. Останні призводять до залишкових деформацій і напруженням. Теоретично показано, що в поверхневому шарі кокілю нереалізована термічна деформація зазвичай в 2 рази перевершує деформацію, відповідну межі плинності матеріалів при певній температурі. Тому в кожному циклі навантаження (залівка – вибивка) деформація стиснення змінюється деформацією розтягування, що приводить до термічної втоми матеріалу кокілю. Термічні напруги виникають також внаслідок структурних перетворені зростання зерна матеріалу кокілю, що протікають тим інтенсивніше, чим вище температура його нагрівання.

Здатність кокілю витримувати термічні напруги залежить від механічних властивостей його матеріалу при температурах роботи кокілю. Ці властивості різко знижуються при нагріванні. Наприклад, межа плинності сталі 15 при нагріванні до 900 К зменшується в 3 рази.

Рівень виникання у кокілі напруг залежить також від конструкції кокілю - товщини його стінки, конструкції ребер жорсткості і т. д. Наприклад, тонкі ребра жорсткості великої висоти призводять до появи тріщин на робочій поверхні кокілю, а низькі ребра можуть не забезпечити жорсткість кокілю і призвести до жолоблення.

Стійкість кокілів забезпечується конструктивними, технологічними та експлуатаційними методами.

Конструктивні методи засновані на правильному виборі матеріалів для кокілів залежно від переважного виду руйнування, розробки раціональної конструкції кокілю.

Термічні напруги, що призводять до зниження стійкості кокілю, є наслідком нереалізованої термічної деформації: менш нагріті частини кокілю (шари робочої стінки, що прилягають до зовнішньої неробочої поверхні, ребра жорсткості) перешкоджають розширенню нагріваемого металом вилівки частини кокілю. Зменшити напругу можливо, якщо термічна деформація нагрітої частини відбувається безперешкодно. Цього можна досягти, якщо розчленувати робочу стінку кокілю на окремі елементи (вставки) в подовжньому (рис. 1.10, б) або поперечному (рис. 1.10, а) напрямках. Тоді внаслідок проміжків між елементами кокілю кожен з них при нагріванні розширюється вільно.

Для підвищення стійкості кокілів використовують змінні вставки 1, які оформляють робочу порожнину кокілю (рис. 1.10, в). За рахунок зазорів між корпусом 2 і вставкою 1 термічна деформація вставки протікає вільно, і виникаючі в ній напруги знижуються, стійкість кокілю зростає. Найбільш ефективно використання змінних вставок в багатомісних кокілях.

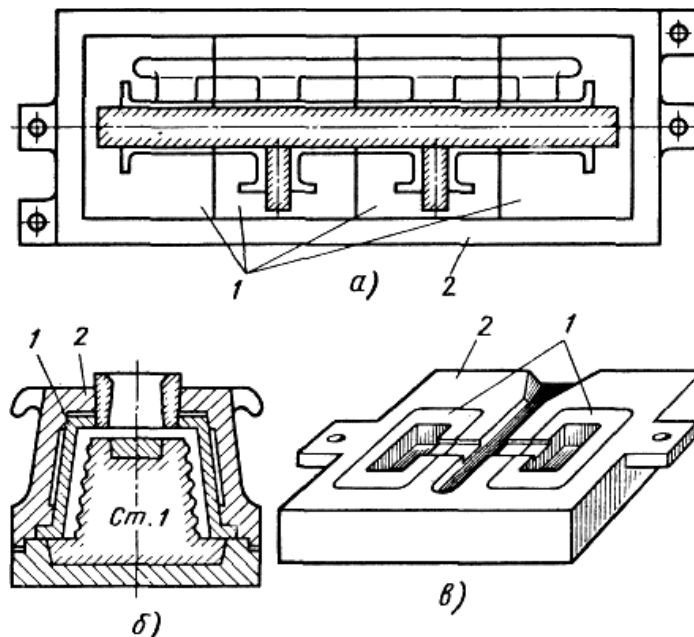


Рис. 1.10. Кокіль з розчленуванням стінки:

а - поперечним; б - поздовжнім; в - вставка в кокіль; 1 - вставки; 2 – корпус

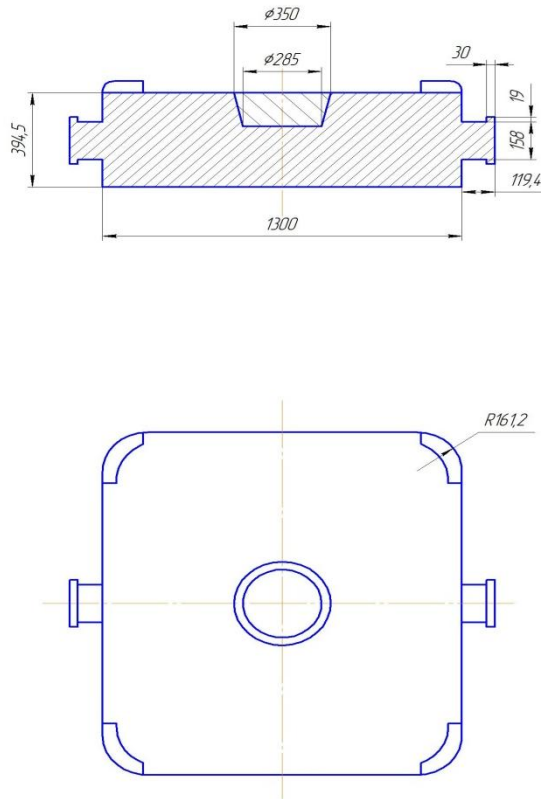


Рис. 1. Піддон виливниці МКС–12,5 із металокерамічною вставкою на робочій поверхні

Технологічні методи спрямовані на підвищення стійкості поверхневого шару робочої порожнини, мають найбільшу температуру при роботі кокілю. Для цього використовують армування, поверхнєве легування, силіцування, термічну обробку різних видів, наплавку, напилення на робочу поверхню матеріалів, що підвищують стійкість кокілю. Кожен з цих способів призначений для підвищення стійкості кокілю до руйнувань певного виду.

Експлуатаційні методи підвищення стійкості кокілів засновані на суворій регламентації температурного режиму кокілю, залежного від температури кокілю перед заливкою, температури заливаємого металу, складу, властивостей і стану вогнетривкого покриття на його робочій поверхні, темпу (частоти заливок) роботи кокілю. Перед заливкою кокіль нагрівають або охолоджують (якщо він був нагрітий) до оптимальної для даного сплаву і виливки температури T_{ϕ} . Початкова температура T_{ϕ} кокілю залежить від темпу роботи кокілю (рис. 1.11). При підвищенні темпу роботи скорочується тривалість $t_{\text{ц}}$ циклу, в основному внаслідок зменшення часу $t_{\text{зан}}$ від вибивки виливки з кокілю до наступної заливки. Це призводить до того, що в момент заливки кокіль має температуру трохи вище необхідної (рис. 1.11, а). Зі збільшенням Ц кокілю зменшується різниця температур $\Delta T_{\phi} = T_{\text{юл}} - T_{\phi}$ і відповідно зменшуються залишкові напруги в кокілях з пружно - пластичних матеріалів. Разом з тим підвищення T_{ϕ} сприяє інтенсифікації корозії, структурних перетворень та інших процесів в матеріалі кокілю, що знижує його стійкість.

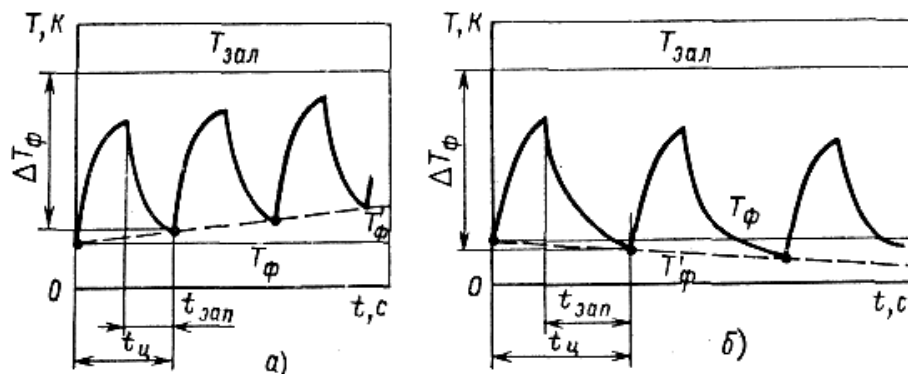


Рис.1.11.Залежність температури кокілю від темпу роботи

При зменшенні темпу роботи (рис. 1.11,б) тривалість циклу зростає також через збільшення часу t_{zan} . Це призведе до того, що перед черговою заливкою температура $T'_ф$ буде нижче заданої, відповідно зросте різниця температур $\Delta T_ф$ і збільшаться залишкові напруги в кокілі, його стійкість знизиться. Виробничі дані показують (рис. 1.12), що для даного конкретного кокілю існує оптимальний темп роботи t , при якому стійкість його $k_{зал}$ найбільша.

На стійкість кокілю впливає температура заливаємого металу $T_{зал}$. Підвищення температури металу вище необхідної за технологією для даної виливки призводить до зниження стійкості кокілю та погіршення якості виливки - усадочної раковини, рихлоти, тріщини.

Стійкість кокілю може бути підвищена при належному догляді за ним при експлуатації. Це забезпечується системою планово - попереджувального ремонту (ППР).

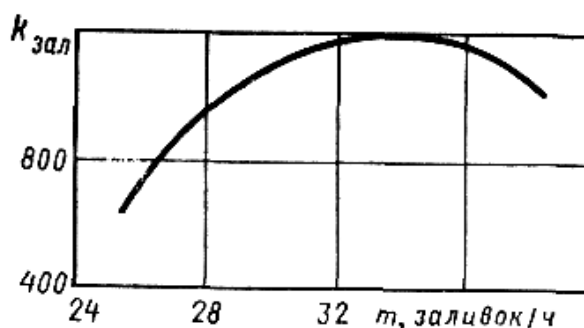


Рис.1.12.Залежність стійкості k кокілю від температури роботи t

1.6 Особливості формування та якості виливків

Кокіль - металева форма, що володіє у порівнянні з піщаною значно більшою теплопровідністю, теплоємністю, практично нульовою газопроникністю і газотвірністю. Ці властивості матеріалу кокілю зумовлюють розглянуті нижче особливості його з металом виливки.

1. Висока ефективність теплової взаємодії між виливком і формою: розплав і виливок, що затвердіває охолоджується в кокілі швидше, ніж в піщаній формі, тобто при однаковому гідростатичному напорі і температурі заливаємого розплаву заповнюваність кокілю зазвичай гірша, ніж піщаної форми. Це ускладнює одержання в кокілях виливків зі сплавів з зниженою рідкоплинністю і обмежує мінімальну товщину стінок і розміри виливків. Разом з тим підвищена

швидкість охолодження сприяє отриманню щільних виливків з дрібнозернистою структурою, що підвищує міцність і пластичність металу виливки. Однак в виливках з чавуну, одержуваних у кокілях, в результаті особливостей кристалізації часто утворюються карбіди, ферито-графітна евтектика, що негативно впливають на властивості чавуну: знижується ударна в'язкість, зносостійкість, різко зростає твердість у вибіленому поверхневому шарі, що затрудняє обробку різанням таких виливків і призводить до необхідності піддавати їх термічній обробці (відпалу) для усунення відбілу.

2 . Кокіль практично непіддатливий і більш інтенсивно перешкоджає усадці виливки, що перешкоджає вилучення її з форми, може викликати появу внутрішніх напружень, викривлення і тріщини в виливку. Проте розміри робочої порожнини кокілю можуть бути виконані значно точніше, ніж піщаної форми. При литті в кокіль відсутні похибки, викликані розштовхуванням моделі, пружними і залишковими деформаціями піщаної форми, знижується точність її робочої порожнини і відповідно виливки. Тому виливки в кокілях виходять більш точними. Точність виливків в кокілях зазвичай відповідає 12 - 15 квалітетам по СТ РЕВ 145-75 . При цьому точність по 12-му квалітету можливий для розмірів, розташованих в одній частині форми. Точність розмірів, розташованих у двох і більше частинах форми, а також оформлюваних рухомими частинами форми, нижче. Коефіцієнт точності виливків по масі досягає 0,71, що забезпечує можливість зменшення припусків на обробку різанням.

3. Фізико-хімічна взаємодія металу виливка і кокілю мінімальна, що сприяє підвищенню якості поверхні виливки. Виливки в кокілі не мають пригару. Шероховатість поверхні виливків визначається складами облицювань і фарб, що наносяться на поверхню робочої порожнини форми, і відповідає $R_z = 80-10$ мкм, але може бути і менше.

4. Кокіль практично газонепроникний, а газотворність його мінімальна і визначається в основному складами вогнетривких покриттів, що наносяться на поверхню робочої порожнини. Проте газові раковини в кокільних виливках - явище не рідкісне. Причини їх появи різні, але в кожному разі розташування виливки у формі, спосіб підведення розплаву і вентиляційна система мають забезпечувати видалення повітря і газів з кокілю при заливці .

1.7 Ефективність виробництва та сфера застосування кокілів

Ефективність виробництва виливків в кокіль, як, втім, і інших способів лиття, залежить від того, наскільки повно і правильно інженер – ливарник використовує переваги цього процесу, враховує його особливості та недоліки в умовах конкретного виробництва.

Нижче наведені переваги лиття в кокіль на основі виробничого досвіду:

1. Підвищення продуктивності праці в результаті виключення трудомістких операцій сумішеприготування, формовки, очистки виливків від пригару. Тому використання лиття в кокілі, за даними різних підприємств, дозволяє в 2-3 рази підвищити продуктивність праці в ливарному цеху, знизити капітальні витрати при будівництві нових цехів і реконструкції існуючих за рахунок скорочення необхідних виробничих площ, витрат на обладнання, очисні споруди, збільшити з'їм виливків з 1 м площі цеху.

2. Підвищення якості виливки, обумовлене використанням металевої форми, підвищення стабільності показників якості: механічних властивостей, структури, щільності, шероховатості, точності розмірів виливків.

3. Усунення або зменшення обсягу - шкідливих для здоров'я працюючих операцій вибивки форм, очищення виливків від пригару, їх обрубки, загальне оздоровлення та поліпшення умов праці, менше забруднення навколишнього середовища.

4. Механізація і автоматизація процесу виготовлення виливки, обумовлена мноюкратністю використання кокілю. При литті в кокіль усувається складний для автоматизації процес виготовлення ливарної форми. Залишаються лише складальні операції: установка стрижнів, з'єднання частин кокілю та їх кріплення перед заливкою, які легко автоматизуються. Разом з тим усувається ряд збурюючих факторів, які впливають на якість виливків при литті в піщані форми, таких, як вологість, міцність, газопроникність формувальної суміші, що робить процес лиття в кокіль більш керованим. Для отримання виливків заданої якості легше здійснити автоматичне регулювання технологічних параметрів процесу. Автоматизація процесу дозволяє поліпшити якість виливків, підвищити ефективність виробництва, змінити характер праці ливарника-оператора, керуючого роботою таких комплексів.

1.8 Лиття в кокілі має і недоліки:

1. Висока вартість кокілю, складність і трудомісткість його виготовлення.

2. Обмежена стійкість кокілю, яка вимірюється числом придатних виливків, які можна отримати в даному кокілі. Від стійкості кокілю залежить економічна ефективність процесу особливо при литті чавуну і сталі, і тому підвищення стійкості кокілю є однією з найважливіших проблем технології кокільного лиття цих сплавів.

3. Хибність отримання виливків з піднутреннями, для виконання яких необхідно ускладнювати конструкцію форми – робити додаткові роз'єми, використовувати вставки, роз'ємні металеві або піщані стрижні.

4. Негативний вплив високої інтенсивності охолодження розплаву в кокілі в порівнянні з піщаною формою. Це обмежує можливість отримання тонкостінних протяжних виливок, а в чавунних виливках призводить до відбілу поверхневого шару, який погіршує обробку різанням; викликає необхідність термічної обробки виливків.

5. Непіддатливий кокіль призводить до появи в виливці напруг, а іноді до тріщин.

Переваги та недоліки цього способу визначають раціональну область його використання: економічно доцільно внаслідок високої вартості кокілів застосовувати цей спосіб лиття лише у серійному або масовому виробництві. Серійність при литті чавуну повинна складати більше 20 великих, або більше 400 дрібних виливків на рік, а при литті алюмінієвих - не менше 400-700 виливків на рік.

Ефективність лиття в кокіль зазвичай визначають в порівнянні з литтям в піщані форми. Економічний ефект досягається завдяки усуненню формувальної суміші, підвищенню якості виливків, їх точності, зменшення припусків на

обробку, зниження трудомісткості очищення обробки виливків, механізації та автоматизації основних операцій і, як наслідок, підвищенню продуктивності і поліпшенню умов праці.

Таким чином, лиття в кокіль з повною підставою слід віднести до трудо- і ресурсозберігаючих, малоопераційних і маловідходних технологічних процесів, який поліпшує умови праці в ливарних цехах і зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика виливниць

За своїм призначенням застосовуються два типи виливниць: виливниці для розливання киплячої сталі та виливниці для розливання спокійної сталі. Конструкція виливниць для киплячої сталі не залежить від того, розливається сталь зверху, безпосередньо з ковша, або розливається знизу - сифонним способом. Конструкція оснащення для спокійної сталі часто залежить від способу розливання і від того, як обробляються виливки - прокаткою або куванням. Вага вилівка і форма оснащення для киплячої і спокійної сталі залежить від потужності станів і від того, на якому обтискному стані прокатуються виливки – на Блюмінгу або на слябінгу: виливниці для блюмінгових виливків мають квадратний перетин, виливниці для слябінгових виливків – прямокутний [1].

При конструюванні виливниць слід приділяти особливу увагу формі і розмірам порожнини для відливання виливків. Надалі, для зручності викладу, замість розмірів порожнини виливниць слід розглядати вагу та габаритні розміри виливків.

Надмірне збільшення висоти виливків, при незмінній ширині, негативно впливає на їх якість. Так наприклад, значне збільшення висоти виливків, які розливають зверху, сприяє збільшенню розмиву піддонів і утворення дефектів як розпал, розбризкування сталі при наповненні виливниць, що, в свою чергу, призводить до збільшення кількості плівок і підкіркових міхурів на поверхні виливків. Збільшення висоти виливків спокійної сталі викликає також погіршення внутрішньої будови виливків внаслідок розвитку усадочною рихлоти. При збільшенні висоти виливків спокійної сталі, що розливається сифонним способом, збільшується тривалість наповнення виливниць, внаслідок чого посилюється охолодження відкритої поверхні металу, який піднімається в виливниці при розливанні, що призводить до утворення на ній твердої окисленої «корочки» і до її зламування.

Збільшення висоти вилівка киплячої сталі, при незмінній ширині, погіршує кипіння сталі у виливниці, так як при цьому підвищується феростатичний тиск у вилівку, що ускладнює зародження і спливання бульбашок газу [5].

З іншого боку, збільшення поперечних розмірів виливниць, при незмінній висоті їх, як у виливків киплячої сталі, так і виливків спокійної сталі призводить до збільшення циклу, а також сприяє більшому розвитку хімічної неоднорідності, в результаті збільшення маси вилівка і часу його кристалізації.

2.2 Особливості технології виробництва піддонів

Піддони на металургійних заводах відливають з доменного чавуну в спеціалізованих цехах, на машинобудівних заводах - з ваграночного чавуну. Отримання якісного рідкого чавуну для відливу виливниць, що забезпечує високу їх стійкість, є досить важливим завданням.

У спеціалізованих цехах при підготовці рідкого доменного чавуну потрібно здійснити дві основні операції: знизити температуру з метою зменшення в металі графітових включень, попередження пригару і скоригувати хімічний склад до рівня вимог, обумовлених технічними умовами на піддон.

Коригування чавуну за змістом основних елементів здійснюється добавками відповідних феросплавів, змішанням ливарного і передільного чавунів або доменного та ваграночного.

Режим плавки чавуну для відливання піддонів визначається головним чином необхідністю отримання в ньому високого вмісту вуглецю. Для збільшення вмісту вуглецю в чавуні зазвичай збільшують горна вагранки, не прагнуть до форсованого режиму плавки і до перегріву металу. Температура його при випуску з печі не повинна перевищувати 1300°C.

Необхідна структура та властивості чавуну в піддонах досягається регулюванням швидкості кристалізації виливка і відповідним хімічним складом. Роль окремих складових обмежується регулюванням структури чавуну, що безпосередньо впливає і на службові властивості піддонів.

Для виливки піддонів найчастіше використовують чавуни, середній хімічний склад яких наведено нижче.

Таблиця 2.1 Хімічний склад чавунів

Елементи	В доменній печі, %	В вагранці, %
C	4,1 – 4,4	3,6 – 3,8
Si	0,5 – 1,2	1,7 – 2,2
Mn	0,5 – 0,9	0,7 – 1,1
S	0,025 – 0,040	0,08 – 0,10
P	до 0,12	до 0,12

Залежно від умов експлуатації і типорозмірів піддонів склад чавуну може змінюватися в межах, зазначених у технічних умовах. Вплив основних елементів на службові властивості піддонів найбільш повно проаналізовані в роботі [6].

Більшість ливарних цехів відливають виливниці в сухі разові піщано-глинисті форми, а також заливанням в кокіль.

2.3 Способи підвищення стійкості піддонів

Численні дослідження в галузі підвищення стійкості піддонів присвячені, головним чином, питань пов'язаних з утворенням наскрізних тріщин [14 - 17]. Шляхи запобігання цих дефектів визначені досить чітко. Проте за рахунок підвищення тріщиностійкості піддонів не можна повністю вирішити проблему зниження їх витрат.

Характерними причинами бракування піддонів на більшості вітчизняних заводів в даний час є приварювання виливків, сітка розпалу і вигорання [13].

Так за даними роботи [14] слід розрізнити два види приварювання:

1) приварювання на ранніх етапах експлуатації, що виникає в результаті зсуву струменя, підвищеної температури розливної сталі і високої початкової температури виливниць;

2) пізніше приварювання, «заклинювання виливка», що відбувається в результаті проникнення рідкої сталі в тріщини сітки розпалу.

Підвищення температуростійкості робочої поверхні піддону може бути досягнуто шляхом створенням захисного покриття на робочій поверхні піддону, а саме установки в центральній частині піддону металокерамічних вставок, що не вимагає значних матеріальних витрат.

2.4 Підготовка піддону до розливання

Якість поверхні виливка значною мірою залежить від стану внутрішньої поверхні піддону. Незадовільно очищені піддони служать причиною виникнення підкіркових міхурів і місцевих тріщин, на поверхні виливків, що окрім цього зменшує стійкість піддонів [20].

На «Криворіжсталі» в цеху підготовки складів чистку виливниць виконують в спеціальному відділенні, де виконують операції з очищення. Після охолодження до необхідної температури (90 – 120°C) піддони поступають у відділення чистки.

Піддони після «аварійних плавок» (розливання холодних плавок з пропаленням, що не криє шибєр і т.д.) з залитими торцями викладають на спеціальному майданчику для видалення розпалу за допомогою вогневого різання.

Розливка холодного металу і аварійних плавок так само чинить негативний вплив на стійкість піддонів. Наприклад, при сифонній розливці такий метал змушені розливати зверху, що призводить до розмивання піддону і виводить його з ладу.

Щоб усунути розмивання низу і граней піддону, необхідно при розливанні зверху струмінь строго центрувати по осі виливниць, а при розливанні сифоном забезпечити правильну (по центру) установку стаканчика, щоб не було перекосу [32].

При застосуванні двохстопорної розливки сталі (мартенівський цех, ємність ковша 300т), одночасно наповнюються сталлю дві виливниці через дві склянки в ковші. При розливанні сталі в виливниці, розширені догори, отвори в донній частині закривають вкладишами, які оберігають виливницю від розмивання струменем сталі в донній частині і від приварювання виливків [1]. Вкладиші для цієї мети виготовляють литими або кованими у вигляді підкладок, що прикривають дно виливниць. У процесі розливання через 2 стопора, дуже складно забезпечити центрування струменя металу одночасно в двох виливницях, хоча відомо, що правильне центрування струменя при розливанні зменшує приварювання виливків, сприяє поліпшенню їх якості і підвищує термін служби виливниць [1].

Одним з недоліків розливання сталі з ковшів великої ємності вважається велика швидкість витікання струменя сталі з ковша, яка призводить до розбризкування сталі при наповненні виливниць.

Швидкість витікання струменя сталі найбільшою мірою залежить від рівня металу в ковші, що видно із залежності:

$$V = R\sqrt{2g(H_1 + H_2)} \quad (2.1)$$

де:

H_1 - висота рівня сталі в ковші над сталерозливною склянкою;

H_2 - висота сталерозливної склянки над рівнем сталі у виливниці;

R - коефіцієнт опору руху струменя сталі.

Внаслідок великої швидкості закінчення струменя сталі відбувається сильне розбризкування її на початку наповнення виливниць, приварювання виливків до виливниць та піддонів, збільшується знос піддонів [1].

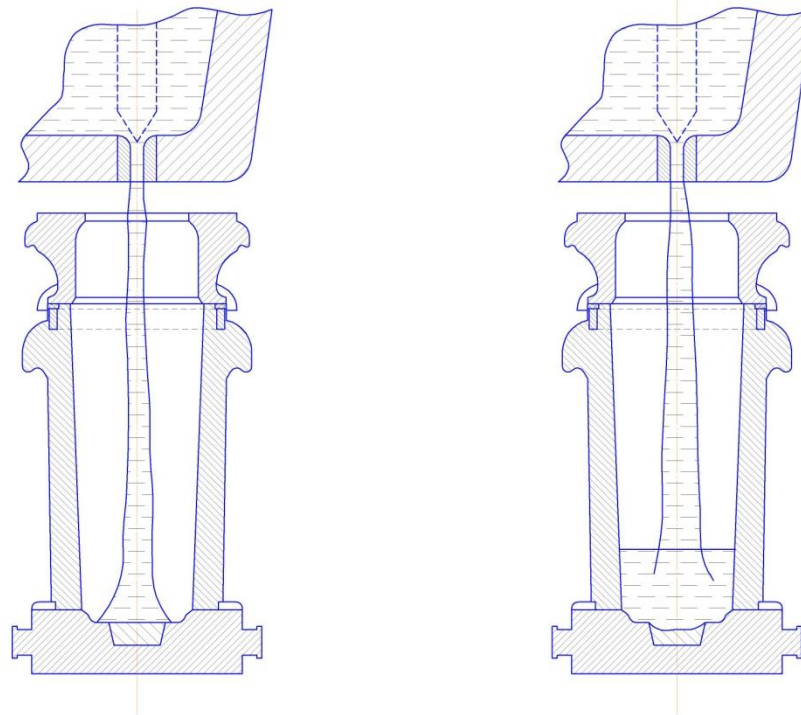


Рис. 2. Заливка виливниці зверху

Розбризкування сталі при наповненні виливниць утворюються внаслідок неправильної організації струменя, що випливає з ковша (через погану промивку склянки киснем), або внаслідок недостатнього плавного регулювання швидкості наповнення виливниць стопорним механізмом. Розбризкування сталі і сплески її при наповненні виливниць викликають утворення дефектів на поверхні виливків [26].

2.5 Технологічні режими лиття в кокіль

Майже завжди, за винятком особливих випадків, необхідна якість виливки досягається за умови, якщо ливарна форма заповнена розплавом без неспайів, газових і неметалевих включень в литві, а при затвердінні в литві не утворюються усадочні дефекти-раковини, пористості, тріщини, її структура і механічні властивості відповідають заданим. З теорії формування виливки

відомо, що ці умови досягання якості багато в чому залежать від того, наскільки даний технологічний процес забезпечує виконання одного із загальних принципів отримання якісної виливки – її направлене затвердіння та живлення. Спрямоване затвердіння та живлення усадки виливки забезпечується комплексом заходів: раціональною конструкцією виливки, її розташуванням у формі, конструкцією ЛПС, технологічними режимами лиття, конструкцією і властивостями матеріалу форми і т. д., призначуваних технологом з урахуванням властивостей сплаву і особливостей взаємодії форми з розплавом. Нагадаємо, що при литті в кокіль головна з цих особливостей – висока інтенсивність охолодження розплаву і виливки. Це утрудняє заповнення форми розплавом, прискорює охолодження його у формі, що не завжди сприятливо впливає на якість виливків, особливо чавунних.

Інтенсивність теплової взаємодії між кокілем і розплавом або виливком можливо регулювати в широких межах. Зазвичай це досягається створенням певного термічного опору на межі контакту виливки 1 (розплав) – робоча поверхню порожнини кокілю 2 (рис. 2.1). Для цього на поверхні порожнини кокілю завдають шар 3 вогнетривкого облицювання й фарби (табл. 2.2).

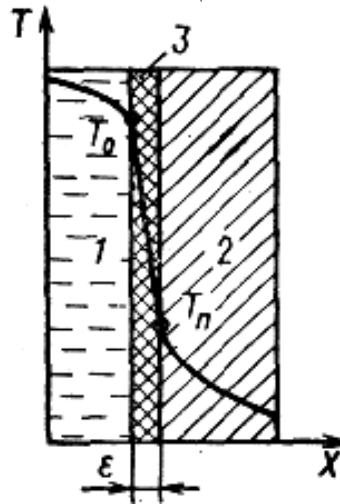


Рис. 2.1 Схема розподілу температур в системі виливок-кокіль

Завдяки меншій порівняно з металом кокілю теплопровідності $\lambda_{кр}$ вогнетривкого покриття між виливком і кокілем виникає термічний опір переносу теплоти:

$$1/\beta = \varepsilon/\lambda_{\varepsilon\delta} \quad (2.2)$$

де β – коефіцієнт теплової провідності вогнетривкої покриття

ε – товщина шару вогнетривкого покриття.

Вогнетривке покриття зменшує швидкість q відводу теплоти від розплаву і виливки, яка від теплової провідності вогнетривкого покриття і різниці між температурою поверхні виливки і температури поверхні кокілю:

$$q = \beta(T_0 - T_i) \quad (2.3)$$

Величини і $\lambda_{кр}$ можливо змінювати в найширших межах, регулюючи коефіцієнт теплової провідності вогнетривкого покриття і відповідно швидкість охолодження виливки, а отже, її структуру, щільність, механічні властивості.

Таблиця 2.2 Склад вогнетривких покриттів (красок) кокілем

Призначення	Компоненти	Вміст, мас. %	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(ч·К)
Для виливок із алюмінієвих сплавів	1.Оксид цинку	15	0,41
	Азбест прожарений (пудра)	5	
	Рідке скло	3	
	Вода	77	
	2.*Азбест прожарений	8,7	0,27
	Крейда молота	17,5	
	Рідке скло	3,5	
	Вода	70,3	
Для виливок із магнієвих сплавів	3.Тальк	18	0,39
	Борна кислота	2,5	
	Рідке скло	2,5	
	Вода	77	
Для виливок із чавуну	4.Пилеподібний кварц	10 - 15	0,58
	Рідке скло	3 - 5	
	Вода	80 - 87	
	5.Молотий шамот	40	0,25
	Рідке скло	6	
	Вода	54	
	Маргенцевокислий калій 0,05%(понад 100%)		
Для виливок із сталі	6.Вогнетривка складова (циркон, карбоунд, окис хрому)	30 – 40	0,3
	Рідке скло	5 - 9	
	Борна кислота	0,7 – 0,8	
	Вода	Інше до щільності 1,1 – 1,22 г/см ³	

* Вмісти застосовують для покриття поверхні ливникових каналів і випарів.

Відповідно до необхідної швидкості відводу теплоти від різних місць виливки товщину і теплопровідність $\lambda_{кр}$ вогнетривкого покриття можна робити

різними в різних частинах кокілю, створюючи умови для спрямованого затвердіння виливки, регулюючи швидкість її охолодження в окремих місцях.

Вогнетривке покриття зменшує швидкість нагріву робочої поверхні кокілю; завдяки термічному опору вогнетривкого покриття температура робочої поверхні буде нижче, ніж без покриття. Це знижує різницю температур по товщині кокілю, зменшує температурні напруги в ньому і підвищує його стійкість.

Вогнетривке покриття на поверхні кокілю повинно мати задану теплопровідність, добре наноситися і утримуватися на поверхні форми, протистояти різким коливанням температури, не виділяти газів при нагріванні, здатних розчинятися в виливку або створювати на її поверхні газові раковини. Покриття готують з вогнетривких матеріалів, зв'язуючих, активізаторів і стабілізаторів (див. табл. 2.2).

В якості вогнетривких матеріалів застосовують пилевидний кварц, шамотний порошок, оксиди і карбіди металів, тальк, графіт, азбест. Зв'язуючі для покриттів - рідке скло, вогнетривка глина, сульфідний луг.

Активізатори застосовують для поліпшення зчеплення з поверхнею кокіля. В якості активізаторів використовують для шамотних і азбестових покриттів буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) і борну кислоту (H_3BO_4); для маршалітових - кремнефтористий натрій (Na_2SiF_6), для талькових - буру, борну кислоту або марганцевокислий калій. Перед приготуванням вогнетривкі матеріали просівають через сито 016-01.

Стабілізатори застосовують для того, щоб зменшити седиментацію вогнетривких складових покриття. Найчастіше це поверхнево - активні речовини ОП5, ОП7.

При литті в кокіль чавуну, для усунення відбілу в виливку, на вогнетривке покриття наносять кіптява (сажу) ацетиленового полум'я.

Товщину шару вогнетривкого покриття контролюють вимірювальними пластинами, тяганиною, прямим виміром, електроконтактним способом. При прямому вимірі товщину шару облицювання визначають мікрометром (рис. 2.2): вимірюють відстань від базової поверхні 1 до поверхонь 2 і 3, відповідно не покритого і покритого облицювання. Різниця дає товщину шару облицювання.

Схема розподілу температур в системі виливок - покриття - форма практично реалізується тільки для поверхонь виливка, які при усадці утворюють щільний контакт з кокілем, між визначеними поверхнями виливки і кокілем утворюється зазор, змінюється по мірі усадки виливки. Цей зазор заповнений повітрям і газами, що виділяються з покриття. Утворення зазору призводить до збільшення термічного опору переносу теплоти від виливки в кокіль. Тому з боку внутрішніх стінок виливок охолоджується інтенсивніше, ніж з боку зовнішніх. В результаті зміщується зона утворення осьової пористості виливки до зовнішньої її стінки, що слід враховувати при розробці системи живлення усадки виливки.

Розглянуте явище використовують для усунення відбілу в поверхневих випадках чавунних виливків. Для цього після утворення в литві твердої скоринки достатньої міцності кокіль злегка розкривають так, щоб між поверхнями виливки і кокілю утворився повітряний зазор. Тоді теплота затвердіння внутрішніх шарів виливки, проходячи через затвердіваючу зовнішню кірку, розігріває її і в результаті відбувається «самовіджиг» виливки - він не має відбілу.

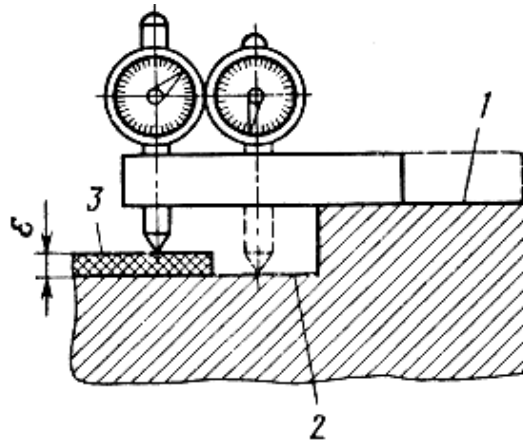


Рис. 2.2 Вимірювання товщини фарби або облицювання на кокілі

Швидкість відводу теплоти від розплаву і виливки залежить від різниці між температурами поверхонь виливки T_0 і кокілю T_n . З підвищенням температури заливаємого розплаву зростає температура T_e і швидкість відводу теплоти від виливки; з підвищенням температури T_n швидкість відводу теплоти від виливки зменшується. Тому на практиці широко використовують регулювання швидкості відводу теплоти від розплаву і виливки, змінюючи температури заливаємого розплаву або кокілю перед заливкою. Однак надмірне зниження температури заливаємого розплаву призводить до погіршення заповнюваності кокілю. Підвищення температури кокілю збільшує небезпеку приварювання виливки до кокілю, особливо при литті чавуну і сталі, знижує стійкість кокілю.

Практично встановлено, що оптимальна температура кокілю перед заливкою залежить від заливаємого розплаву, товщини стінки виливки і його конфігурації (табл. 2.3).

Температура заливки розплаву в кокіль залежить від його хімічного складу, товщини стінки виливки, способу її живлення при затвердінні. Оптимальні температури заливання в кокіль різних сплавів наведено нижче.

2.6 Лиття в облицьовані кокілі .особливості технології

Особливості розглянутої технології пов'язані, перш все, з необхідністю нанесення на кокіль облицьовки для отримання кожної чергової виливки. Лицьовий склад наносять на модель, шляхом заповнення зазору між робочими поверхнями моделі і кокілю. Способи заповнення зазору складом, режим твердіння останнього, методи очищення кокілів від залишків відпрацьованої облицьовки, підготовка оснащення до фарбування облицьовки, способи і пристрої для подачі облицювального складу в зазор між моделлю і кокілем залежать від властивостей облицювальної суміші.

Облицьовку з рідкорухомих сумішей найчастіше отримують заливанням через отвори в кокілі, рідше – вижиманням за допомогою моделі, занурюваної в кокіль з налитим складом. Для нанесення облицьовки використовують всі різновиди піскодувних процесів.

З метою забезпечення рівномірності ущільнення облицьованого складу іноді застосовують різні додаткові впливи: вакуумування порожнини між моделлю і кокілем, встряхування (вібрування) оснащення та ін.

Найбільш широкое застосування знайшла сипуча термо-твердіюча піщано-смоляна суміш. Близька до нуля міцність такої суміші в початковому стані в сполученні з піскодувним процесом дозволяє стабільно отримувати відносно тонку облицьовку на кокілях практично будь – якої конфігурації. Твердне суміш за рахунок теплоти нагрітого оснащення.

На рис. 2.5 показані схеми нанесення облицьовки на кокілі, вдування суміші через отвори в тілі кокілю (а) і через щілинний зазор між кокілем і моделлю (б).

Для виливків масою до 200 кг переважна товщина шару облицьовки дорівнює 4-6 мм. Необхідність її стоншування або потовщення визначається завданням локального управління умовами охолодження елемента виливка. Задана товщина облицьовки забезпечується величиною зазору між кокілем і моделлю в зібраному стані.

Технологічний процес лиття в кокілі з термотвердіючою облицьовкою починається з підготовчих робіт – нагрівання моделі і кокілю і нанесення на модель розділового складу, що запобігає прилипанню облицьовки до моделі. Потім виконують операції, необхідні для кожної заливки металу: установка кокілю на модельну плиту з моделлю, вдування суміші, її затвердіння, знімання облицьованого кокілю з моделі, складання та заливка кокілю, охолодження виливка у формі, розбирання кокілю і вилучення з нього виливки, очистка кокілю від залишків частково вигорілої облицьовки і, нарешті, охолодження кокілю до температури, необхідної для чергового нанесення облицьовки. Крім операцій, безпосередньо пов'язаних з підготовкою і заливкою облицьованих кокілів, технологія включає виготовлення облицьовальної суміші та загальні для ливарного переділу операції: шихтовку, плавку і фінішну обробку та ін.

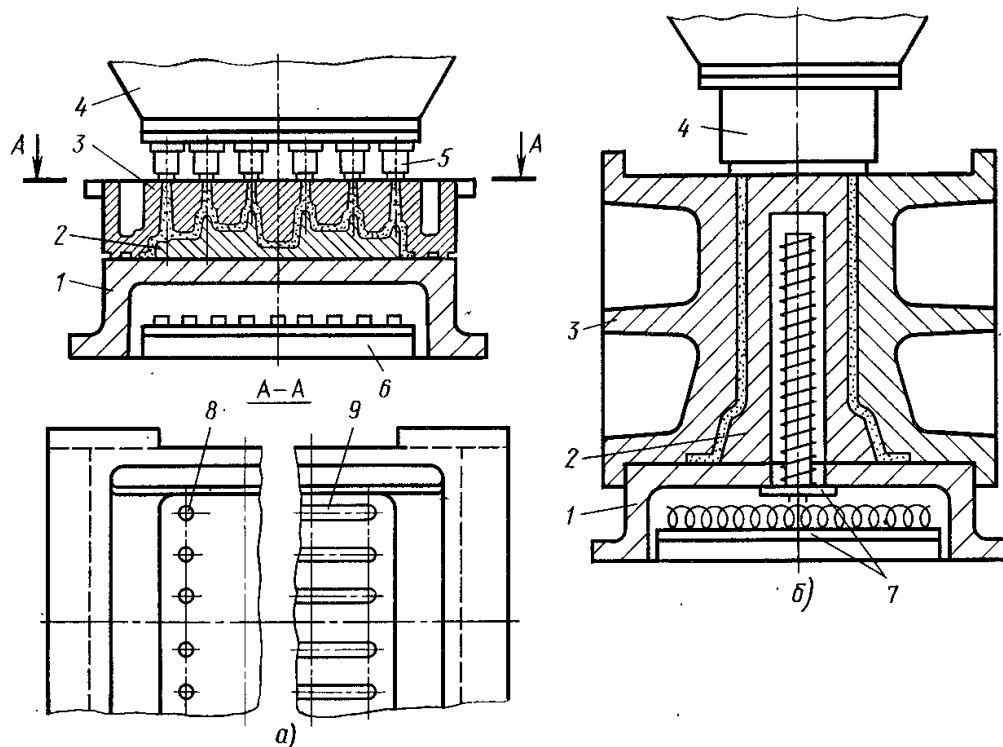


Рис. 2.5 Схема нанесення облицовки піскодувним способом через отвір в тілі кокілю (а) і через щілинний зазор між моделлю і кокілем: 1 - модельна плита; 2 - модель; 3 - кокіль; 4 - піскодувна головка; 5 - сопло 6 - газовий нагрівач; 7 - електричний нагрівач; 8, 9 – вдувний отвір

Переваги і недоліки. Теоретичний аналіз, експериментальні дослідження і промисловий досвід показують, що двошарові форми у вигляді облицьованих кокілів внутрішнього неметалевого і зовнішнього металевих шарів, дозволяють досягти економічного рішення ряду важливих технічних завдань. Завдяки невеликій товщині неметалевого шару облицьованих кокілів порівняно із звичайними формами потрібно значно менший обсяг піщаної суміші. Для виливків відповідального призначення стає економічно доцільним застосування високоякісних і дорогих формувальних матеріалів; в результаті підвищується якість поверхні виливків і зменшується брак. Наявність металевої опори зменшує деформацію піщаного шару, завдяки чому збільшується точність виливків. Велика жорсткість двошарових форм сприяє зменшенню усадочних пор і підвищенню щільності чавунних виливків. З'являється можливість активно впливати на теплові умови формування вилівка. Так, змінюючи товщини неметалевого і металевих шарів, можна уповільнювати охолодження одних частин вилівка (щодо тонких стінок, прибутку) і прискорювати охолодження інших (щодо більш товстих стінок, частин чавунних виливків, які повинні мати підвищену твердість, і т. д.).

В облицьованому кокілі існують особливі можливості управління процесами структуроутворення і живлення вилівка, а також різкого зменшення в ній термічних напруг. Тут слід нагадати, що теплові процеси впливають на газовий режим форми, утворення пригару та інші явища. Математичний апарат зазначених розділів дозволяє провести кількісний аналіз впливу різних факторів і розрахунковим шляхом вибрати основні параметри технології.

Внаслідок значно більшого термічного опору товстошарового покриття в порівнянні з тонкошаровим термічне навантаження на облицьований кокіль різко зменшується. Поява на поверхні кокілю тріщин і деяке його короблення істотних змін в технологічний процес не вносять: робоча поверхня форми повністю відновлюється при черговому нанесенні облицьовки. Таким чином, за інших рівних умов стійкість облицьованих кокілів незмірно вище, ніж звичайних. Більше того, застосування облицьованих кокілів стає економічно ефективним, коли лиття в звичайні кокілі недоцільно через низьку їх стійкість. Прикладами в цьому відношенні служать процеси лиття колінчастих валів і майже всіх сталевих фасонних виливків.

Особливої уваги заслуговує питання про геометричну точність виливків, отриманих за новою технологією. В облицьованих кокілях відливали різні за масою і геометричною складністю виливки з чавуну і сталі: чавунні колінчаті і розподільні вали, станини електродвигунів, корпуси розподільників, сталеві букси залізничних вагонів і кришки до буксів, ланки ланцюга, зірочки провідні та ін. Маса перерахованих виливків становила 1,5 - 120кг. Виливали їх, як правило, в багатомісних формах. В результаті статистичної обробки обмірів та зважування виливків отримані дані, наведені в табл. 2.4. Там же для порівняння наведені матеріали, запозичені з роботи [103], про точність виливків, отриманих іншими способами лиття. Як видно, нова технологія дозволяє одержувати виливки підвищеної розмірної і масової точності.

При цьому процесі розмірна точність не падає з збільшенням розмірів виливка, в той же час при інших процесах із зростанням габаритних розмірів і маси виливка його розмірна точність зменшується. Таким чином, чим крупніше виливок, тим відчутніше перевагу технології лиття в облицьовані кокілі.

Таблиця 2.4 Порівняльні дані геометричної точності виливків

Показники	Машинна формовка встряхуванням	Формовка пресовкою під великим тиском	Лиття в оболочкову форму	Лиття по виплавляємим моделям	Лиття в облицьований кокіль
Розмірна точність (клас по ГОСТу)	8-11	9 – 10	9 – 11	7 – 10	7 – 9
Точність по масі, %	4 - 25	2 - 7	7 - 18	5,5 – 8,5	3 - 5

Підвищення геометричної точності виливків, отриманих в облицьованих кокілях, пояснюється великою міцністю і жорсткістю при заливці і істотно меншим зниженням цих якостей облицьованого кокілю в період нагріву виливка порівняно з неметалевою формою (піщаною об'ємною, оболонковою рознімною і нероз'ємною). Це підтверджується порівнянням даних про точність виливків, отриманих в оболонкових формах і в облицьованих кокілях. Дійсно, в порівнюваних випадках всі фактори точності, крім жорсткості і міцності форми, по суті однакові.

До недоліків розглянутого процесу відносяться: підвищена складність і

вартість оснащення, утруднене переналаштування спеціального технологічного устаткування і оснащення, обмеженість номенклатури одночасного виливання деталей в одному технологічному потоці. Облицьований кокіль, хоча і володіє деякою піддатливістю, однак за цією властивістю явно поступається звичайним сирим піщаним і тим більше оболонковим формам. Цю обставину необхідно враховувати при виробництві тонкостінних великогабаритних виливків, усадка яких утруднена формою.

Область застосування. На підставі досвіду розробки технології лиття в облицьовані кокілі різних деталей і отриманих при цьому техніко-економічних результатів можна окреслити область найбільш ефективного використання цієї технології. Тут слід підкреслити, що кокілі являють собою не універсальну оснастку. Параметри аналізованої технології (включаючи нанесення облицьовки) регламентуються у вузьких межах, тому часті зміни оснащення та пов'язані з ними порушення ритмічності небажані. Виходячи з цього, доцільно використовувати облицьовані кокілі при масовому виробництві виливків. Разом з тим, слід зазначити, що мається позитивний досвід використання в окремих випадках облицьованих кокілів і при малосерійному виробництві.

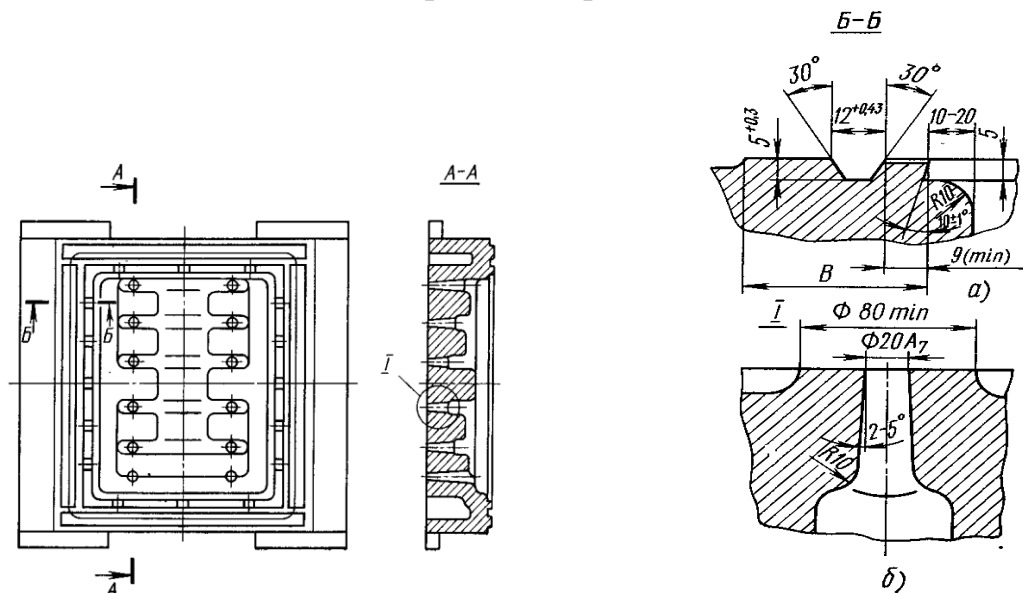


Рис. 2.6 Елементи конструкції облицьованого кокілю (за ГОСТ 19508 - 74) а - стрічка змикання і обрамлення; б - вдувний отвір. Розмір В дорівнює 30 мм при розмірі кокілю до 1000 мм, 50 - при розмірі кокілю від 1000 до 1500 мм і 75 мм при розмірі кокілю понад 1500 мм

Облицьовані кокілі можуть знайти застосування при литті деталей авто- і тракторобудування, в електротехнічній промисловості, транспортному машинобудуванні і т. п. Технологію отримання виливків в облицьованих кокілях можна рекомендувати, насамперед, для отримання виливків підвищеної точності, при великому обсязі їх механічної обробки, при литті сплавів, які мають підвищену схильність до усадки. У цих випадках найбільш повно реалізується перевага облицьованих кокілів. Тут доречно підкреслити, що наявний виробничий досвід лиття в облицьовані кокілі обмежується в основному отриманням виливків масою до 200 кг.

Оснащення. Конструкція і матеріал модельного оснащення для

нанесення облицьовки залежать від властивостей облицьовального складу. Зокрема, при використанні термотвердіючої піщано-смоляної суміші вона аналогічна застосовуваній у виробництві виливків у звичайних оболонкових формах.

Для отримання фасонних виливків використовують, як правило, роз'ємні кокілі, довжина і ширина яких значно більше, ніж висота (рис. 2.6). Такі форми можуть бути цільними і складеними. Складові представляють собою раму, в яку з компенсаційним зазором вставляється вкладиш, що оформляє робоче гніздо. Складові конструкції характеризуються вищою стійкістю через менші напруги і деформацію. У вітчизняній практиці для отримання складних фасонних виливків застосовують товстостінні кокілі (40 мм і більше). Для подібних, але дрібних виливків відомий, проте, досвід використання тонкостінних кокілів.

Конструкція і розміри елементів спарюючих пристроїв для установки кокілів на модельні плити і з'єднання між собою частин різних кокілів регламентовані ГОСТ 19509-74 – ГОСТ 19516-74.

Число отворів в кокілі для вдування сипучої піщано-смоляної суміші визначається під детальною технологією виливка. Вдувні отвори рекомендується розташовувати над виступаючими частинами моделі. При невеликих перепадах висот між різними частинами моделі вдувні отвори розташовуються з кроком 150 - 250 мм. Розміри вдувних отворів визначені ГОСТ 19507-74 (рис. 2.6, б). Облицьовальна суміш може наноситися також через щілинні отвори 9 (рис. 2.5).

Шорсткість литої поверхні робочого гнізда кокілю буває недостатньою для утримання облицьовки. Тому рекомендується наносити на поверхні робочого гнізда насічки і канавки. Цій же меті служить зворотний ухил на стрічці змикання (рис. 2.6, а). Стрічка змикання являє собою продовження облицьовки, що виходить на поверхню зіткнення кокілю та модельної плити. Основне призначення стрічки змикання – ліквідація нещільності облицьовки по контуру робочого гнізда форми. Розміри стрічки змикання регламентовані ГОСТ 19508-74.

Поверхня, по якій кокіль контактує з модельною плитою по периферії кокілю, називається обрамленням. Його мінімальна ширина встановлена ГОСТ 19508-74 (рис. 2.6).

Нанесення піщано-смоляної облицьовки з сипучого складу. Дослідами нанесення облицьовки при вдуванні суміші під постійним тиском у піскодувні голівки, забезпеченою керованим соплом, встановлено існування області оптимальних тисків повітря і товщини облицьовки. Дослідження проводили із сумішшю кварцового піску К016Б, ГОСТ 2138 -74, плакованою новолаковою фенолформальдегідною смолою при вмісті останньої 2%. Якість облицьовки оцінювали за її масою, віднесеної до всього обсягу порожнини, в яку суміш вдували. Всі досліди проводили при температурах моделі і кокілю 470 К. Як видно з рис. 2.7, підвищення надлишкового тиску повітря в голівці від 0,2 до 0,6 МПа підвищує щільність облицьовки, якщо хід не більше 4-5 мм; при більшій товщині облицьовки підвищення тиску малоефективно.

Великий вплив на щільність облицьовки надає система вентиляції порожнини, що заповнюється сумішшю. Для виведення повітря з порожнини в кокіль виконують вентиляційні канали. Канали являють собою, переважно, щілини (розміри по ГОСТ 16250-70), розташовані навколо робочого гнізда в поверхні роз'єму кокілю. Щілинні канали об'єднують у вентиляційні колектори (рис.2.6). Конструкція і розміри останніх регламентовані ГОСТ 19508-74 . Якщо щілини не можна вивести до краю кокілю, то їх підводять до спеціального наскрізного отвору в кокіль. Для вентилявання глибоких порожнин застосовують вентиляційні пробки. Розміри отворів для пробок встановлені ГОСТ 16250-70, а конструкція та розміри пробок - ГОСТ 16251 - 70 і ГОСТ 16252-70.

Операція затвердіння суміші є важливою як з точки зору якості форми, так і продуктивність обладнання для нанесення облицьовки. Затвердіння суміші на фенолформальдегідному зв'язуючому новолакового типу має складну фізико – хімічну природу. Цей процес залежить від теплообміну в системі модель – облицьовка – кокіль, швидкості зшивання лінійних молекул смоляного зв'язуючого в просторові структури та газоподібного середовища, в якій відбувається структурування.

На рис. 2.8 наведені експериментальні дані тривалості твердіння піщано-смоляних облицьовань залежно від температур моделі (цифри у кривих) і кокілів.

Термічний цикл облицьованого кокілю. З природи кокілів, облицьованих термотвердіючими сумішами, випливає необхідність певної організації їх термічного циклу . Завдання це більш складне , ніж при литті в звичайні кокіль (доводиться враховувати не тільки умови формування виливка, але і особливі умови формування облицьовки). Термічний цикл повинен бути організований таким чином, щоб забезпечити задану початкову температуру кокілю перед заливкою металу і установкою на модель. Етапи термічного циклу визначаються технологічними факторами (формуванням облицьовки й виливки, охолодженням або нагріванням кокілю до температури, заданої за умовами формування облицьовки), можливістю здійснення машинних (наприклад, транспортних) операцій та організаційними чинниками (установка стрижнів у форму і т. д).

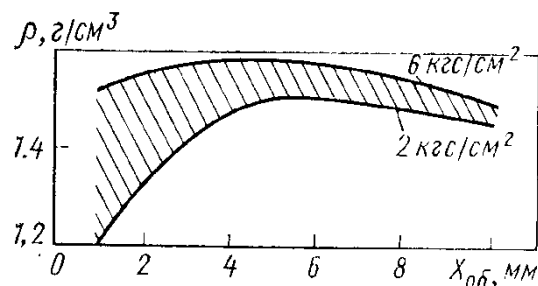


Рис. 2.7 Вплив тиску повітря в піскодувній голівці і товщини облицьовки на її щільність

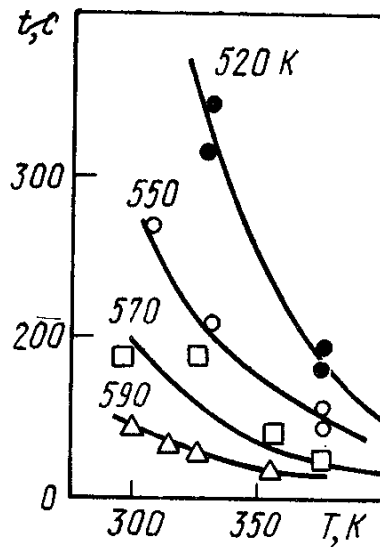


Рис. 2.8 Експериментальний графік для визначення тривалості затвердіння облицьовки на фенолформальдегідному зв'язуючому

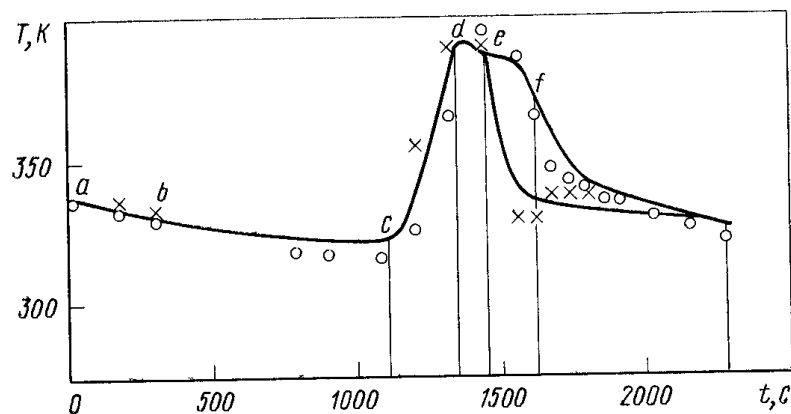


Рис. 2.9 Термічний цикл облицьованого кокілю (лінія — розрахунок по формулам роботи [140]; точки — експериментальні дані

Розрахунок термічного циклу облицьованого кокілю починається з визначення термічних параметрів, центральних операцій формування облицьовки й виливка. Потім знаходять зміну температури кокілю на етапах складання форми, очікування заливки і підготовки до нанесення облицьовки. Відповідні розрахункові формули та приведені в роботі [140].

На рис. 2.9 в якості прикладу показано термічний цикл сталевого кокілю масою 240 кг. Металоємність форми 15,6 кг, матеріал виливка — чавун. Температура кокілю T_2 після нанесення на нього облицювання становить 435 K (точка a). Протягом 300 с (до точки b) — охолодження кокілю при збірці, а потім при очікуванні заливки (до точки c). Після заливки температура кокілю підвищилася до 488 K (точка c). Потім при розбиранні форми і очищенні її від залишків облицьовки відбулося деяке зниження T_2 (точка e). Далі в інтервалі ef почалося примусове охолодження напівкокілів: водоповітряною сумішшю з боку робочої поверхні і природним чином по решті поверхонь. За цей період

температура на робочій поверхні знизилася до 433 К, а на тильній – до 471 К. Подальше охолодження здійснювалося в природних умовах.

Особливий різновид облицювального кокілю. У 1971 р. в Японії запропоновано принципово новий спосіб виготовлення форм : на модель наноситься плівковий легко-деформуючий матеріал, встановлюється опока, простір між плівкою і опокою заповнюється сипучим формувальним матеріалом , в поровому просторі зернистого наповнювача створюється вакуум і, нарешті, модель витягується з форми. Ясно, що щільна упаковка піщинок і конфігурація робочого гнізда форми зберігаються внаслідок різниці тисків поза і всередині порового простору сипучого формувального матеріалу. Описаний спосіб виготовлення форм отримав назву V - процесу. Якщо товщина піщаного шару мала і опока має дно, конфігурація якого відображає контур моделі, то одержувана при цьому ливарна форма являє собою, по суті, облицюваний кокіль (рис. 2.11).

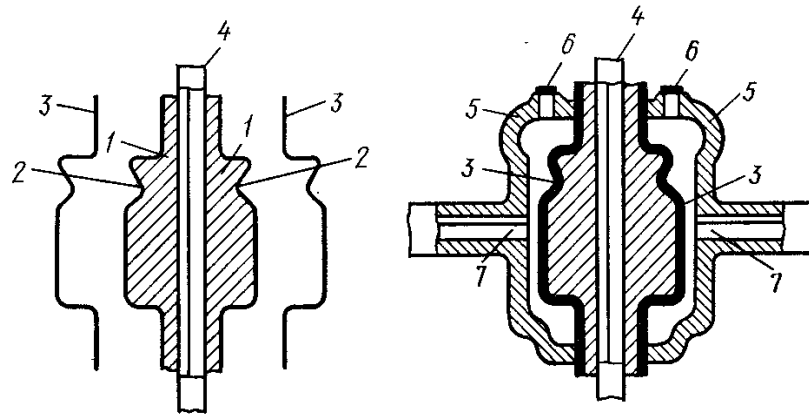


Рис. 2.11 Схема формування облицювки з сипучого матеріалу на основі V-процесу: 1 - модель; 2 - робоча поверхня моделі; 3 - плівка; 4 - труба для присасування до поверхні моделі; 5 - кокіль; 6 - отвір з заглушкою для подачі зернистого формувального матеріалу; 7 - труба для вакуумування порожнини облицювки

2.7 Голчасті кокілі

Кокіль, виготовлений з елементів у вигляді відрізків дроту невеликого діаметру, отримав назву голчастого.

Пружні деформації окремих дротів сумуються. Піддатливість кокілю при цьому така, що вдається відлити в ньому колінчастий вал з церієвого чавуну [21]. Для кількісного визначення піддатливості голчастого кокілю були виконані дві серії експериментів (А. І. Вейнік, А. І. Храмченко).

У першій серії відливали кільця з внутрішнім діаметром 98 мм, висотою 30 мм і зі стінками різної товщини. Зовнішня поверхня кільця оформлялася піщаною формою, внутрішня сталевим голчастим стрижнем (діаметр голок 2 мм). Досліди показали, що кільця товщиною 3 мм, виготовлені з чавуну і сплаву АЛ8, тріщин не мають.

Результати другої серії експериментів наведені на рис. 2.12. Пакет сталевих голок діаметром 2 мм і довжиною 130 мм піддавали стисненню. Криві

1 і 2 відповідають зміні тиску і щільності залежно від відносної деформації пакета. Крива 3 отримана при різних значеннях щільності (застосована різна упаковка голок), але однакової відносної деформації $\frac{\Delta H}{H} = 1\%$. Як бачимо, голчастий кокіль має цілком задовільну піддатливість.

Газопроникність голчастого кокілю є наслідком поздовжніх каналів між дротами. На рис. 2.13 наводяться результати випробувань на газопроникність пакетів голок у вигляді зразків діаметром і довжиною 50 мм [21]. Для визначення газопроникності формувальних сумішей голки набивали в стандартну гільзу приладу. Точками зображені дослідні значення.

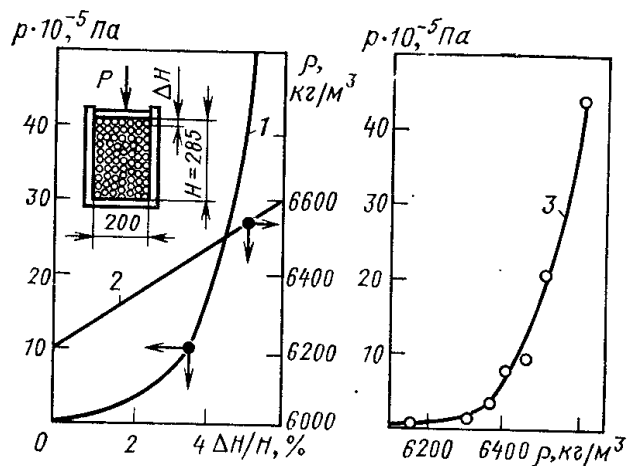


Рис. 2.12 Вплив різних факторів на піддатливість голок

Теоретичні криві 1 і 2 побудовані за відомою формулою Козена. Близько кривих показані схеми можливої упаковки голок. Найщільніша упаковка відповідає кривій 2, сама нещільна – кривий 1 (при недбалому виготовленні може бути ще гірша упаковка, однак такий несприятливий випадок тут не розглядається). З малюнка видно, що із збільшенням діаметру d голок газопроникність голчатої вставки (або кокілю) різко зростає. Більш щільній упаковці голок відповідає менше значення K_f . У всіх випадках газопроникність голчатої стінки форми вище середньої газопроникності сирової піщаної форми [штрихова пряма 6, для якої $K_f = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 / (\text{Н} \cdot \text{с}) = 100 \text{ см}^4 / (\text{кг} \cdot \text{хв})$].

Експериментальні дані укладаються між теоретичними кривими 1 і 2, відповідними різним схемам упаковки (3-сталеві голки, 4 - мідні голки). Шліфовані голки при ретельній упаковці дають практично однакові з кривою 2 дані (точки 5). Дослід показує, що в реальних умовах доводиться мати справу з проміжним випадком між граничними можливостями.

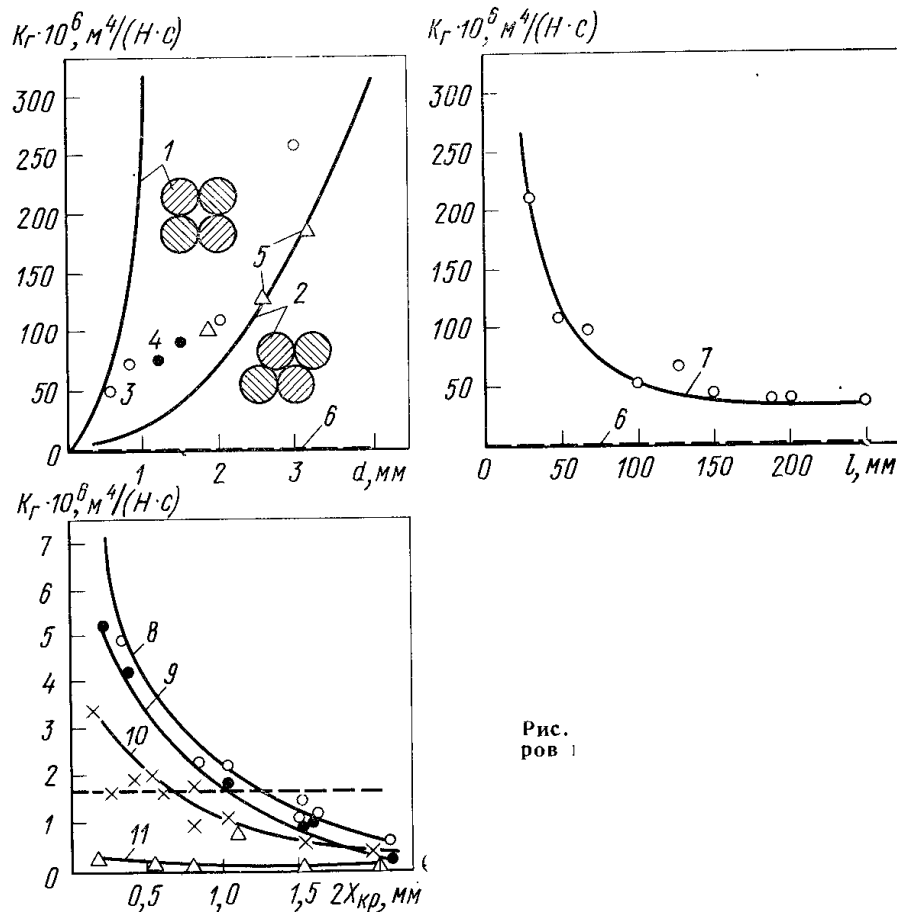


Рис.
ров 1

Рис 2.13 Вплив різних факторів на газопроникність голчастої стінки

У спеціальних гільзах діаметром 50 мм і різної довжини була досліджена газопроникність пакетів при різній довжині 1 голок. Результати дослідів зі сталевими голками діаметром $d = 2$ мм наведено на рис. 2.13 у вигляді кривої 7. Видно, що зі збільшенням l газопроникність кокілю спочатку швидко, а потім дуже повільно падає, проте вона весь час залишається на рівні, що значно перевищує середню газопроникність сирої формувальної суміші.

Газопроникність голчастих елементів зменшується при нанесенні на них фарби. Вплив фарби було досліджено на пакетах стандартних розмірів; сталеві голки мали діаметр 1,5 мм. Один з торців зразка покривали кокільною фарбою. Були випробувані дві фарби. Пориста фарба, що складається, % по масі: з 32 маршаліту, 6,15 вогнетривкої глини, 1,2 деревної тирси, 0,15 KmnO_4 , 10,5 рідкого скла, 50 води, дала кращі результати (криві 8 і 9). Її наносили при температурі 520 К. Крива 8 отримана після занурення пофарбованого торця пакета в рідкий чавун з температурою 1570 К на 10 с. Крива 9 отримана до занурення. Видно, що вигорання тирси і деяких інших речовин кілька підвищило газопроникність. Друга фарба мала склад, % по масі: 21 маршаліта, 7 рідкого скла, 72 води.

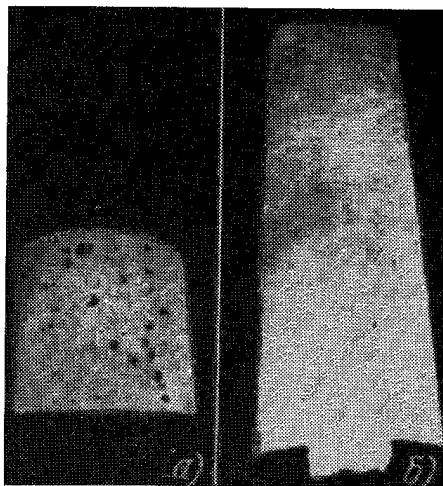


Рис. 2.14 Перетин циліндричної виливки, отриманої з латуні ЛК80-3 без застосування (а) і з застосуванням (б) голчастих вставок

Нанесення цієї фарби при 370 К дало найгірші результати (крива П), нанесення фарби при 520 К підвищило газопроникність (крива 10).

З рис. 2.13 випливає, що при шарі фарби товщиною до 1 мм газопроникність голчатої стінки вище газопроникності сирієї піщано глинистої суміші (горизонтальна штрихова пряма).

В один з кокілів, був вставлений зверху пакет голок. У кокілі заливали латунь ЛК 80-3. Поздовжні перерізи отриманих таким чином виливків зображені на рис. 2.14, а і б. Видно, що відсутність вентиляційних каналів (рис. 2.14, а) призвело до браку виливка по газовим раковинам і не заповненню форми. Із застосуванням голчастих вставок повністю ліквідувались ці дефекти ; виливки були високої якості (рис. 2.14, б).

Дослід показує, що для вентиляції кокілів доцільно використовувати голчасті вставки діаметром 15-25 мм з голками діаметром 1-3 мм і довжиною 35-50 мм. Більш довгі голки важко запресовувати в отвір кокілю – вони гнуться. У цих випадках доцільно застосовувати спеціальні гільзи, в які попередньо набивають голки. Гільзи можуть бути розрізними.

Тривалість затвердіння виливків в голчастих кокілях на 15-25 % більше, ніж у звичайних при однаковому значенні x_2 .

2.8 Кокілі, виготовлені методом порошкової металургії

Основи технології. У кокілях, виготовлених методами порошкової металургії, найбільш повно втілюється ідея розчленування. Дійсно, тут відбувається поздовжній і поперечний поділ стінки форми. Процеси виготовлення вказаних кокілів успішно розробляє А. К. Машков з співробітниками (Є. П. Поляков, В. І. Гурдіна, В. В. Черненко). Ними ж вивчаються властивості металокераміки як матеріалу кокілю [96].

Виготовлення кокілю методом порошкової металургії заключається в тому, що кокіль отримують шляхом пресування металічного порошку в прес-формах прямим або гідростатичним пресуванням з наступним спіканням пресовок. Процес виготовлення кокілів з нескладною конфігурацією ливарної порожнини і незначними перепадами перерізів прямим пресуванням дає задовільні

результати. Вирішальну роль при цьому відіграє старанність виготовлення матриць прес-форм і пуансонів, що мають конфігурацію моделі виливки. Але при ускладненні конфігурації робочих порожнин кокілів, збільшенні вертикального габаритного розміру по відношенню до горизонтальних і наявності різностінності в кокілі виникають труднощі в отриманні якісних пресовок. Головна з них – це нерівномірне ущільнення порошку в обсязі пресуємого виробу, в результаті чого виникає розшарування, виявляємо в пресовках відразу після вилучення їх з прес-форм, або відбувається нерівномірна усадка пресовок під час спікання. Тому рекомендується метод гідростатичного пресування, так як одним з основних його переваг є рівномірність розподілу щільності за обсягом виробу. Зібрана прес-форма для гідростатичного пресування показана на рис. 2.15.

Метод гідростатичного пресування металевих порошків дозволяє виготовляти багат шарові кокілі і тим самим диференційовано регулювати теплофізичні та механічні властивості кокілю. Для підвищення опору термомеханічній втоми металокерамічних матеріалів можна застосовувати армування – введення в матрицю із залізного порошку марки ПЖ2М відрізків молібденового дроту. Випробування показало, що стійкість проти термомеханічній втоми армованих матеріалів у кілька разів вище, чим не – армованих. Це обумовлено підвищенням енергії зародження та поширення тріщини.

Для циліндричних порожнин кокілю армуючий дріт розташовують безпосередньо на поверхні робочої порожнини. Цей спосіб отримання покриттів полягає в тому, що на металеву модель 1 внутрішньої порожнини кокілю навивають суцільний шар дроту 2 потрібного діаметру (рис.2.16).

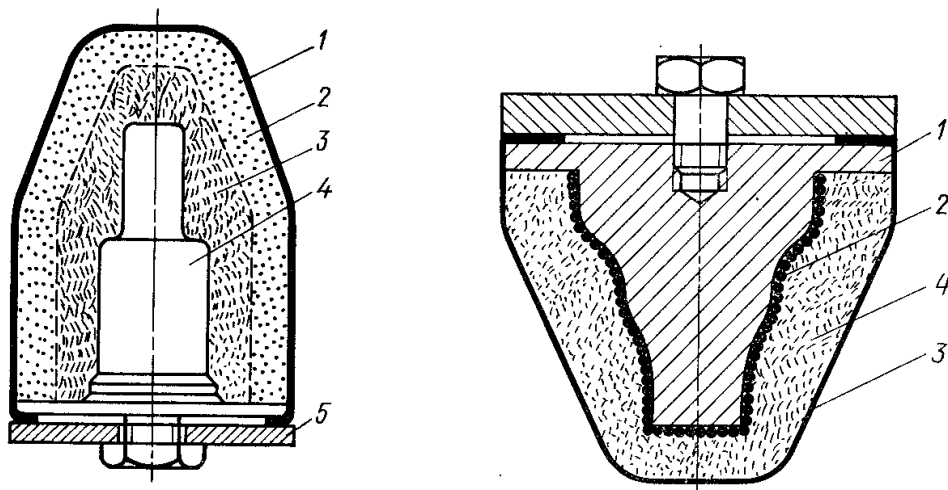


Рис. 2.16 Схема отримання 1 - еластична оболонка; 2, 3 – металічний армованого кокілю порошок; 4 - модель; 5 - пластина

Після цього модель з дротом поміщають в еластичну герметичну оболонку 3 з металевим порошком 4, а потім у камеру пресування для гідростатичного опресування покриття металевим порошком. Подальше спікання і просочування залізоборідним сплавом надійно з'єднає покриття із залізною матрицею.

Розроблено принципово новий спосіб виготовлення голчастих кокілів спіканням. Він полягає в тому, що на феро-магнітну модель 1 (рис. 2.17, а), покриту клейовою речовиною 2, впливають магнітним полем за допомогою електромагніта 3. Потім на модель по нормалі до її поверхні закріплюють безліч відрізків сталевго дроту 4, витримують в магнітному полі до затвердіння клейового шару, жорстко зв'язує поверхню моделі з фіксованими голками. Далі модель з голками поміщають в еластичну оболонку 5 (рис. 2.17, б) з металевим порошком 6. Оболонку герметизують і поміщають в камеру контейнера гідростатичного пресування для опресування зовнішніх решт голок металевим порошком.

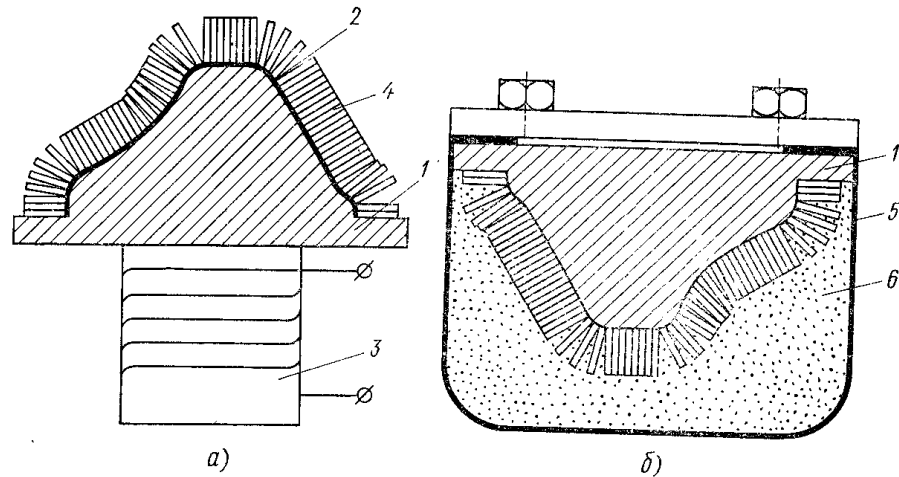


Рис.2.17 Схема виготовлення голчастих кокілів, скріплених спіканням: а – установка голок; б – підготовка до пресування

Після гідростатичного пресування сталеву модель витягують із залізної пре совки (під час пресування клейовий шар руйнується), пресування спікається у вакуумній печі і, якщо необхідно, просочується залізоборідним сплавом евтектичного складу, в результаті чого голки надійно фіксуються в матричному матеріалі. Виробничі випробування в умовах чавуноливарного цеху показали високу стійкість отриманих кокілів. Після тисячі заливок на поверхні армованих і голчастих кокілів тріщин не виявлено. Один з таких кокілів представлений на рис. 2.18.

Властивості. На рис. 2.19 показані криві зміни окалиностійкості спеченого залізного порошку, просоченого різними матеріалами. Там же для порівняння наведені дані для сталі 20 і звичайного сірого чавуну. Як видно, окалиностійкість отриманих матеріалів значно вище, особливо в просоченому стані [96].

Випробуванням зразків на опір термомеханічної втоми при тиску $10 \cdot 10^5$ Па в діапазоні температур 470 -1020 К встановлено, що межа опору термомеханічної втоми залізоборідних матеріалів (ЖБМ), армованих молібденовим дротом (АЖБМ), в кілька разів вище, ніж у ЖБМ [97]. Так, зразки витримали до руйнування наступне число циклів навантаження: спечений залізний порошок марки ПЖ2М-60, ЖБМ-750, АЖБМ з 8% молібденового дроту - 1500, АЖБМ з 60% молібденового дроту - 7500, сірий чавун - 140.

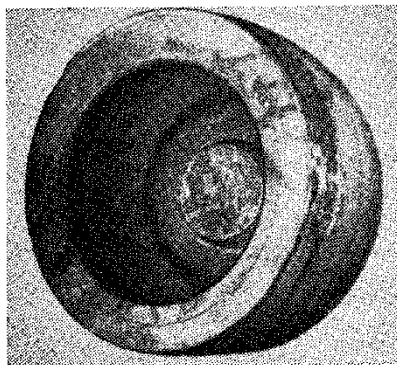


Рис. 2.18 Голчатий кокіль, виготовлений спіканням

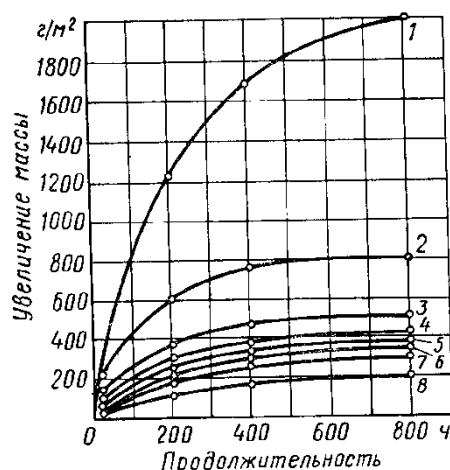


Рис. 2.19 Криві зміни окисності при температурі 970 К:

- 1 – сірий чавун; 2 – сталь 20;
- 3 – Fe+(Fe+4%TiB₂); 4 – Fe+(Fe+3,8%B);
- 5 – високоміцний чавун; 6 – Fe+(Fe+10%NbB₂);
- 7 – Fe+(Fe+5%CrB₂);
- 8 – Fe+(Fe+5%NbB₂+3%CrB₂)

Газопроникність металокерамічних матеріалів, застосовуваних для виготовлення робочих стінок кокілів, дає можливість використовувати вдів повітря в форму як спосіб інтенсифікації та управління термічними умовами лиття. Особливість даного методу – можливість диференційованого впливу на відливання як у просторі, так і в часі.

На закінчення необхідно відзначити, що метод порошкової металургії дає можливість поєднувати рішення завдань створення матеріалів із заданими властивостями і надання виробам необхідної конфігурації.

2.9 Надійність і технологічність виливків при застосуванні керамічних форм

Литі заготовки є технологічними для їх подальшої обробки різанням й для нанесення покриттів, якщо вони мають високу геометричну точність. Геометрична точність може бути охарактеризована наступними параметрами: розмірною точністю, нерівностями поверхні (за відсутності пригару),

просторовими відхиленнями, точністю конфігурації. Стабільна геометрична точність полегшує автоматизовану обробку. Висока розмірна точність і точність конфігурації дозволяють зменшити кількість стружки, що знімається з виливків і зменшити відповідні витрати. Задані нерівності поверхні і відсутність пригару дозволяють ефективно наносити лакофарбові покриття.

Всі ці властивості виливки залежать від характеру ливарних форм. Керамічні форми дозволяють одержувати виливки без пригару з малими припусками на обробку гладкої поверхні. Все це покращує умови обробки різанням. Наприклад, при застосуванні керамізованої форми з використанням огелюваної кераміки вдається виготовляти такі рельєфні виливки для склоформи, для яких необхідні лише невеликі довідні операції поліруванням. При цьому скорочуються трудовитрати в 1,5-2 рази, економія металу досягає 25-30%, а стійкість прес-форм збільшується в 1,8-2 рази.

Крім отримання технологічних виливків при використанні керамічних або керамізованих форм, останні можуть значною мірою збільшити експлуатаційну надійність виливків. При застосуванні цих форм литий метал може бути за своїми властивостями наближений до пластично деформованого. При цьому поліпшується безвідмовність його роботи, а в ряді випадків збільшується зносостійкість. Завдяки отриманню оптимальних форм литого виробу зменшуються, наприклад, гідравлічні втрати. Так, внаслідок малих нерівностей на лопатках турбінок для турбобура і за рахунок гострих кромek вдається збільшити ККД турбобура в порівнянні з турбобурами, укомплектованими турбінками, виготовленими з застосуванням піщаних форм, на 6-8% і одночасно збільшити їх зносостійкість. Збільшення надійності литого металу при застосуванні керамічних форм зумовлюється відсутністю газових вад, неметалічних включень і можливістю організувати високоефективне живлення виливків, що усуває газоусадочну пористість.

Керамічні форми не мають водневмісних газів, і при протіканні за цими формами металу кількість водню в металі не збільшується, в той час як при протіканні металу по піщаних форм з водними зв'язуючими кількість водню в металі помітно зростає.

Застосування керамічних форм практично виключає утворення екзогенних включень. Так, при оцінці руйнівної дії потоку металу при його горизонтальному перебігу було встановлено, що лобовий тиск потоку металу на виступаючі піщані агрегати становить $(0,02 \div 0,28) \cdot 10^4$ Па, зчеплення піщинок для рідкоскляної суміші становить $(0,2 \div 0,3) \cdot 10^4$ Па, а для піщано-глинистих сумішей $(0,16 \div 0,2) \cdot 10^4$ Па, в той час як для керамічних форм це зчеплення рівне $(40 \div 50) \cdot 10^4$ Па. При застосуванні керамічних форм значно менша ймовірність отримання ендегенних включень, так як немає окислювальних газів, що містять водяні пари.

Велика можливість керамічних форм при організації інтенсивного живлення виливків для усунення вад усадочного походження. Це важливо особливо для широко-інтервальних сплавів, де відбувається кристалізація одночасно по шару великої товщини і навіть можлива по перетину всієї виливки. Для створення необхідних умов живлення затвердіння має відбуватися пошарово. При цьому чим менше товщина шару, тим краще живлення. Це може бути досягнуто при інтенсивному охолодженні. Так, наприклад, з алюмінієво-магнієвих сплавів при товщині стінок до 30 мм і при застосуванні холодильників

з проточними рідинами можна отримати щільний виливок. При цьому тиск створюється шляхом підведення в прибуток газу або повітря від магістралей або балона.

Для охолодження кераміки в зазор, створюваний накладним тілом, між моделлю і формою закладають перед заливкою суспензією вигнуті трубки, через які пропускають охолоджувальні рідини. Можна також використовувати тонкополосні металокерамічні холодильники. При використанні таких холодильників і при пропущенні водоповітряної суміші через них може бути створене інтенсивне охолодження. Так, при витраті води 0,05; 0,1; 0,15 л / с з температурою 18 ° С в виливок товщиною 0,03 м градієнти температур по перетину вдається отримати відповідно 9,6, 64, 134 ° С. За таких градієнтах забезпечується пошарове затвердіння й якісне живлення виливків.

Керамізовані форми допускають тиск у прибутках до 0,6 МПа без проникнення металів в пори форми. Комплексна дія тиску і охолодження дозволяє отримати виливки з широко-інтервальних сплавів без газоусадочних вад і збільшити їх міцність на 18-20%.

З наведених даних випливає, що керамізовані або керамічні форми дозволяють поліпшити технологічність і експлуатаційну надійність виливків. Однак цей ефект застосування керамічних форм повинен бути зіставлений з технологічністю процесу отримання таких форм, наприклад, при порівнянні з піщаною. При такому зіставленні слід враховувати не тільки техніко – економічні витрати, а й соціальну доцільність виготовлення керамічних форм. Остання може бути визначена соціальною привабливістю роботи в цеху, де застосовуються керамічні та керамізовані форми; екологією, що створюється при застосуванні керамічних форм; використанням і розвитком інтелектуального потенціалу кадрів.

2.10 Технологія виготовлення металокерамічних (напівпостійних) форм

Разові форми виготовляють з: піщано-глинистих формувальних сумішей, сумішей з рідким склом і з іншими зв'язуючими. Напівпостійні форми виготовляють з графіту, шамоту та інших сумішей.

Напівпостійні форми застосовують для деталей нескладної зовнішньої форми; внутрішні поверхні оформляються разовими піщаними стрижнями.

Напівпостійні форми (витримують сотні виливків) виготовляються з вогнетривкої кераміки, постійні форми (витримують десятки тисяч виливків) – з металу.

Лиття в кам'яні форми. Кам'яні ливарні форми застосовувалися ще в глибоку давнину. При археологічних розкопках, учені неодноразово знаходили кам'яні форми для виливок наконечника списа та інших виробів.

В якості матеріалу для таких форм може застосовуватися талько-актиноліто-хлоритовий сланець. Цей камінь легко обробляється усіма видами ріжучих інструментів, але вимагає попереднього випалу при температурі 800 – 1000⁰С протягом 12-24 год. (залежно від товщини форми).

Перед першою заливкою форму рекомендується нагріти до 150-200 ° і нанести на її робочу поверхню захисний шар з сріблястого графіту. Після заливки і деякої

витримки – форму розкривають, витягують виливок, наносять графіт на поверхню порожнини форми і знову збирають її для наступної заливки.

Досвід застосування кам'яних форм показує, що поверхня чавунних і бронзових виливків, відлитої у цих формах, виходить зовсім гладкою і не має відбілу (для чавуну). Внутрішня поверхня форми після великого числа заливок зберігає свій первісний вигляд, що вказує на високу стійкість матеріалу форми.

Кам'яні форми з талько-актиноліто-хлоритового сланцю можуть широко застосовуватися не тільки як напівпостійні форми, але і взамін кокілів при масовому виробництві дрібних виливків з різних сплавів.

Лиття в графітові форми. Останнім часом стали застосовувати графітові форми, що відрізняються – довговічністю.

Графітові форми виготовляються механічною обробкою з дуже міцних графітових заготовок. Заготовки для виробництва графітових напівпостійних форм робляться на електродних заводах основними вихідними матеріалами при цьому є антрацит і нафтовий кокс, а в якості зв'язуючого матеріалу використовується кам'яновугільний пек.

Процес отримання графітованої маси складається з таких операцій:

1) Прокалювання антрациту і нафтового коксу в газовій печі при температурі 1300-1400 ° для усунення летючих речовин, підвищення теплопровідності та механічної міцності графіту;

2) Змішування сортованих за розміром, прокалених частинок вуглецевих матеріалів з кам'яновугільним пеком в механічних мішалках, які підігріваються, щоб процес здійснювався при підвищеній температурі;

3) Пресування охолодженої суміші на спеціальних пресах;

4) Випал при температурі 800 ° протягом 4-7 тижнів; графітування – операція нагріву вуглецевих заготовок до температури 2450°, при якій відбувається перетворення аморфного вугілля в графіт.

Графітування проводиться в електропечах опорів, де опором є самі заготовки, пересипані контактним матеріалом (антрацитом, коксом). Тривалість процесу графітування становить 13 діб. Отримані заготовки легко обробляються ріжучим інструментом і дають можливість отримувати ливарні форми з необхідною конфігурацією і високою точністю.

Стійкість форм 300-600 заливок, після чого потрібне їх переточування. Виливки виходять без пригару, з гладкою і чистою поверхнею.

Лиття в цементні форми. Товстостінні ливарні форми, виготовлені з піщано-цементних сумішей, прийнято називати *цементними*. Цементні ливарні форми доцільно застосовувати для сталевих, чавунних і кольорових литва вагою від 0,5 кг до 70. Особливо вигідно застосування цементних форм при виробництві виливків з твердих, що не піддаються механічній обробці сплавів, а також для лиття, використовуваного в чорному вигляді або з мінімальною механічною обробкою (гребні гвинти та ін.). Це обумовлюється пріоритетами цементних форм. До найголовніших з них належить:

а) усунення сушіння форм, а отже, економія палива та витрат пов'язаних з обслуговуванням сушил;

б) одержання виливків з високою точністю розмірів і збереження заданої геометричної форми, що дає можливість зменшити припуски на механічну обробку;

в) зменшення браку лиття по засміченню, обвалам, газовим раковинам і т.д.

До недоліків цементних форм відносяться:

а) тривалість періоду часу від моменту виготовлення форм до набуття ними необхідної міцності; в умовах кімнатної температури затвердіння триває 2-3 доби;

б) необхідність у додатковій площі (не менше 10 %) під форми при їх природній сушці;

в) необхідність у відділенні ділянок виготовлення і вибивки цементних форм від ділянок отримання лиття в звичайних піщано-глинистих формах.

Цементні напівпостійні форми призначаються для виливків з великими конусами. Форми часто армуються.

Цемент і пісок застосовують звичайно в співвідношенні 1: 20 за вагою і змішують їх у сухому вигляді. Суміш розводиться водою до сметаноподібної консистенції і формується.

Тривале тверднення форм на повітрі вимагає застосування рознімних моделей і роздільної формовки окремих частин форми. При формуванні в опоках доводиться користуватися дошками - щитками, якими накривають опоки перед їх поворотом щоб уникнути висипання ще не затверділого формувального матеріалу.

Для усунення пригару затверділі в природних умовах цементні форми фарбують графітовою фарбою, а потім підсушують. Підсушка пофарбованих форм на повітрі триває 6-8 год, а при штучному підігріві – кілька хвилин.

Лиття в гіпсові форми. Для кольорових сплавів і чавуну застосовуються гіпсові суміші. Суміш гіпсу та води швидко перемішують до тих пір, поки вона придбає консистенцію сметани. Потім її негайно формують; формовка повинна тривати не більше 20-30 хв. Форму сушать протягом 12-20 год, при температурі не вище 450°.

В іншому варіанті складу гіпс, каолін та хроміт повинні бути змішані в сухому вигляді, сірчаноокислий натр з'єднують окремо з водою. Потім все разом перемішують, форму сушать протягом 12-20 год, при температурі не вище 450°. Існують також варіанти виготовлення форм на основі гіпсу з застосуванням армування, додаванням азбестового борошна, сірчистого натру та ін. матеріалів для надання формам необхідних властивостей.

Лиття в металокерамічні форми. Для отримання такої ж швидкості затвердіння, як і в сирій піщаній формі, рекомендується наступний склад суміші (%):

Чавунна стружка	40-50
Азбестит	20-25
Графіт	10-15
Вогнетривка глина	15-20
Рідке скло	7-8

Для наповнюючого шару в цьому випадку рекомендується застосовувати суміш складу (%):

Чавунна стружка	75-80
Вогнетривка глина	20-25

Дана суміш застосовується для виготовлення металокерамічних вставок (рис. 2.20), а саме для попередження отримання дефектів у піддонах на робочій частині, такі як вигар.



Рис. 2.20 Металокерамічні пробки для встановлення у піддон



Рис. 2.21 Розмивання робочої частини піддону струменем рідкого металу при заливці зверху

При виготовленні металокерамічних вставок вологість сумішей повинна бути 7-8%, при цьому досягається максимальне ущільнення. Половину азбесту можна замінити меленим шамотом; замість графіту слід додавати 10% меленого антрациту просіяного через сито з осередкованим розміром не більше 1 мм.

Чавунна стружка повинна бути свіжою, неокисленою; її розмелюють в бігунах; і просівають через сито з розміром вічок не більше 1,5 мм, для наповнюючого шару – не більше 2 мм. Азбестит і мелений шамот просіваються через сито з осередкованим розміром не більше 2 мм. Вогнетривка глина високої клейкості висушується при температурі до 250°, потім її розмелюють і далі вона проходить крізь сито з вічками не більше 1 мм.

Всі складові перемішуються в бігунах спочатку в сухому стані.

Ці форми виготовляються таким чином. Суміш насипають в металеві опоки рівномірними шарами і набивають пневматичними або ручними трамбівками до максимального ущільнення. Товщина робочого і наповнюючого шарів форми може бути 10-30 мм залежно від товщини стінок вилівка і його конфігурації. Після видалення моделі робочий шар форми армується шматками сталевих дроту діаметром 4-5 мм, що укладаються в шаховому порядку. Поверхню великих форм можна армувати шматками сталевих труб діаметром 50-100 мм, або смугами, вирізаними з відходів листового заліза товщиною 3-5 мм.

По закінченні армування робоча поверхня форми ретельно загладжується і покривається фарбою. Пофарбовану форму пров'ялюють в теплому приміщенні близько двох діб, потім повільно нагрівають в термічній печі до 550-600°. При цій температурі дається витримка 4-5 год. Охолодження разом з піччю до 300-350°. При цій температурі робоча поверхня фарбується графітовою, фарбою 2-3 рази.

Для спікання робочого шару металокераміки за відсутності термічної печі в суху форму заливають рідкий метал і видаляють виливок з форми при температурі 300°.

Для збільшення стійкості форм їх покривають перед кожною заливкою робочою фарбою товщиною шару не менше 1 мм. Представляє собою водну емульсію графіту, відпрацьованої суміші, вогнетривкої глини, сульфітного. Через кожні 5-6 заливок горілу фарбу з робочої поверхні форми треба видаляти сталевим щіткою або спеціальним сталевим скребком і наносити свіжий шар робочої фарби.

Металокерамічні форми з чавунними ребрами витримують до 700 заливок

Лиття в цегляні форми. У цегляних формах низ, знаки форми і велика частина внутрішнього болвана виготовляються з цегли. Виготовлення форми проходить в три етапи.

Приготування фундаменту форми. Вирівнюють плац, пробивають його пневматичною трамбівкою і встановлюють за рівнем дерев'яну рамку. Щільно набивають формувальну наповнювальну суміш, надлишок зрізають планкою по рамці. Вогнетривкі цеглини укладають в місцях установки стрижнів і нижньої основи опоки.

Викладення бічних знаків форми. Модель встановлюють на цегельний низ і навантажують зверху. Кладку бічних знаків форми ведуть рядами з перев'язкою. Цеглини щільно підганяють до стінок моделі. Після прокладки одного-двох рядів проміжок між кладкою і опокою-рамкою, забивають наповнювальною сумішшю.

В якості зв'язуючого застосовують розчин з різних частин вогнетривкої глини та формувального піску; кращі результати дає кладка на розчині з цементом.

Внутрішній болван форми . Виконують постійний косяк у внутрішній частині бовдура опоки. Доцільність пристрою косяка зумовлена зручністю проставляння дощок ослаблення. Найбільш простою і надійною може виявитися конструкція, що складається з колишніх у вживанні підкранових рейок квадратного перетину, укладених по контуру косяка. Приготовану таким чином форму просушують переносним сушилом.

В якості протипригарного засобу застосовують густу маршалітову фарбу питомої ваги 1,8-1,9 г/см³, яку наносять пензлем на гарячі після видалення виливки цеглини шаром, товщиною 1,5-2 мм, видаливши попередні залишки обгорілої фарби.

Лиття в глиняні форми. Глиняні форми виготовляють по цегляній кладці, яку можна багаторазово використовувати.

Формування в глині знаходить застосування переважно для великого лиття. Глиняну форму виготовляють без опок і збирають її для заливання в ливарній ямі або кесоні. Глиняна форма зазвичай складається з трьох частин, внутрішньої (стрижень), зовнішньої (кожух) і верхньої, що закриває зверху порожнину форми. Кожух, а також стрижень викладають з цегли на плоских чавунних плитах товщиною 80-100 мм. Кладка виконується з будівельної цегли в глиняному розчині. У шви між цеглою закладається солома. Стрижні викладаються порожнистими, що робить їх досить піддатливими і полегшує видалення газів.

Глиняну сорочку на кладку наносять у два шари, перший шар, що не дотичний з рідким металом, з більш жирної глини, другий шар (облицювальний) з більш худой глини для поліпшення газопроникності. Облицювальний шар наносять на форму після підсушування першого шару. Загальна товщина глиняної обмазки для середніх виливків робиться 10-20 мм і для великих 40-50 мм.

У глину додають тирсу, рубану соломку, мелений кокс. Ці домішки зменшують розтріскування глини при висиханні і покращують газопроникність її після сушіння.

Застосовують два способи формовки в глині: формовку з тимчасовим шаром глини (з сорочкою) і роздільну формовку стрижня і зовнішньої частини форми.

Формування з сорочкою полягає в наступному. Спочатку виготовляють стрижень і висушують його, потім на його поверхню наносять шар глини, яка дорівнює товщині тіла виливки (сорочку). Виходить глиняна модель виливка. Після сушіння по ній на окремій чавунній плиті викладається зовнішня частина форми (кожух). Далі кожух знімають з моделі і висушують. Шар глини, що становить сорочку, обламують і видаляють із стержня. При серійному виробництві виливків стрижень і зовнішню частину форми виготовляють роздільно. Спосіб виготовлення зовнішньої частини форми такий же як і при формуванні з сорочкою. Стрижень виготовляють окремо, глиняна облицовка (40-50 мм) наноситься на особливий чавунний каркас, глину намазують на каркас і заточують шаблоном, для кращого утримання глини на каркасі роблять шипи, для відводу газів каркас має велику кількість отворів діаметром 6-10 мм.

Після сушіння та фарбування форми і стрижня, форму збирають для заливки.

Типовим прикладом даного способу лиття є виготовлення з бронзи або латуні дзвонів, які виготовлялися таким способом багато року.

Лиття в шамотні форми. Формувальна суміш для напівпостійних форм повинна володіти високою міцністю в сухому стані, високою вогнетривкістю і не змінювати обсягу при різкому нагріві і охолодженні.

Цим вимогам задовольняють суміші з шамотом . В якості зв'язуючого використовують високоякісну вогнетривку глину. Крім того, в суміш вводять мелений кокс, чорний графіт, азбестове волокно, пісок і т.д.

Напівпостійні форми виготовляють у суцільнолитих опоках. Перед набиванням опоки промащують з внутрішньої сторони глиною набивають дуже щільно і, як правило, встановлюють багато гачків. Після вилучення моделі форму ретельно обробляють і прошпилюють. Протягом 2-3 днів форму пров'ялюють на повітрі, потім 2-3 доби повільно просушують; температура в кінці сушіння повинна бути 400°. Форму ще в гарячому стані забарвлюють формувальними чорнилом.

Ливникову систему збирають з шамотних трубок або спеціальних стрижнів так, щоб при звільненні виливки форма не руйнувалася. Після видалення виливки форму підправляють , знову фарбують і збирають для наступної заливки.

Шви і фарбу просушують жаровнями протягом 4-5 год, після чого форму збирають під заливку. Стрижні набивають з того ж матеріалу в чавунному стержневом ящику.

До наступних заливок стару фарбу змивають водою за допомогою кисті, пошкоджені місця обмазують глиною, зашпаровують шамотною сумішшю; потім форму забарвлюють коксовою фарбою і просушують жаровнею.

Виготовлені таким чином форми витримують до 25 заливок.

Для виконання форми застосовується наступний склад суміші (%):

Пісок	50
Вогнетривка глина	7,5
Звичайна, глина	10
Мелений шамот	15
Тирса	17,5

Суміш наносять на поверхню опоки і заточують шаблоном . Заливка проводиться звичайним способом.

2.11 Механічні властивості напівпостійних форм

Напівпостійні форми виготовляються з:

- графіту, шамоту, вогнетривкої кераміки, цементно-піщаних сумішей, металокерамічних композицій (чавунна стружка + глина + графіт + азбестит + рідке скло), каменю (сланців), гіпсу, глиняних мас на основі шамоту.

Оскільки основа цих форм — керамічні матеріали + вуглецеві наповнювачі, вони мають такі характеристики:

1. Міцність на стиск представлена в (таб. 2.3).

Таблиця 2.3

Тип форми	Міцність на стиск
Металокераміка	25–60 МПа (залежно від складу та ущільнення)
Шамотні форми	20–35 МПа
Кам'яні форми (сланці)	30–70 МПа
Графітові форми	40–80 МПа (висока міцність попри крихкість)
Цементні форми	10–25 МПа (після повного твердіння)
Гіпсові форми	8–15 МПа
Глиняні форми	5–12 МПа (залежно від просушування)

2. Міцність на розтяг.

Керамічні та графітові матеріали мають низьку міцність на розтяг через крихкість:

1–10 МПа для більшості напівпостійних форм графіт — до 15 МПа

Це визначає крихкий характер руйнування форм.

3. Твердість

Графітові форми: 25–50 НВ

Металокерамічні форми: 35–70 НВ

Цементні форми: 20–40 НВ

Шамотні: приблизно 40–60 НВ

Кам'яні форми: 50–90 НВ (залежить від породи)

2. Теплопровідність представлена в (таб. 2.4).

Таблиця (2.4)

Матеріал	Теплопровідність
Графіт	дуже висока (80–150 Вт/м·К)
Металокераміка	середня (10–25 Вт/м·К)
Шамот, глина	низька (1–2,5 Вт/м·К)
Гіпс	дуже низька (0,3–0,5 Вт/м·К)

4. Вогнетривкість

- Металокерамічні форми: до 1500–1600 °С
- Шамотні форми: 1600–1700 °С
- Графітові форми: 3000 °С у відновлювальній атмосфері
- Кам'яні форми: 900–1100 °С
- Цементні форми: 700–900 °С
- Гіпсові форми: до 600 °С

5. Стійкість (кількість заливок) – головний експлуатаційний показник

Тип форми Стійкість, заливок:

Графітові форми 300–600

Металокерамічні форми до 700

Кам'яні форми 100+

Цементні форми 20–50

Гіпсові форми 5–20

Шамотні форми 10–25

Глиняні / цегляні 5–15

7. Інші важливі механічні властивості

Ударна в'язкість

- дуже низька — матеріали крихкі
- графіт: 0,2–2 кДж/м²
- металокераміка: 0,5–1,5 кДж/м²

Зносостійкість

- Найкраща: металокераміка, графіт, камінь
- Гірша: цемент, гіпс, глина

Стійкість до термошоку

- Найвища — графіт
- Середня — металокераміка, шамот
- Найнижча — гіпс, цемент, глина

Узагальнена характеристика механічних властивостей напівпостійних форм

Напівпостійні ливарні форми мають середню або високу міцність на стиск, низьку міцність на розтяг і крихкий характер руйнування, високу стійкість до високих температур, різну теплопровідність (від дуже низької до дуже високої), забезпечують гладку поверхню виливків, витримують десятки–сотні заливок.

Найкраще поєднання властивостей мають:

- ◆ Графітові форми — максимальна теплопровідність і довговічність
- ◆ Металокерамічні форми — найвища стійкість (до 700 заливок)
- ◆ Шамотні форми — висока вогнетривкість та стабільність

Сводніпорівняльні данні представлені в таблиці представлені в (таб. 2.5, 2.6).

Таблиця 2.5

Тип форми	Міцність на стиск, МПа	Міцність на розтяг, МПа	Твердість, НВ	Теплопровідність, Вт/м·К	Вогнетривкість, °С	Стійкість, заливок	Особливості
Графітові	40–80	6–15	25–50	80–150	до 3000	300–600	Гладка поверхня, висока теплопровідність
Металокерамічні	25–60	4–10	35–70	10–25	1500–1600	до 700	Армування, висока стійкість
Кам'яні	30–70	3–6	50–90	2–5	900–1100	100+	Стабільність і гладка поверхня

Шамотні	20–35	2–5	40–60	1–2.5	1600–1700	10–25	Висока вогнетривкі сть
Цементні	10–25	1–4	20–40	0.8–1.2	700–900	20–50	Точність, дешевизна
Гіпсові	8–15	1–3	15–30	0.3–0.5	до 600	5–20	Висока точність, низька теплостійкіс ть

Таблиця 2.6

Критерій	Найкращі форми	Середні	Найгірші
Механічна міцність	Графітові, металокерамічні	Кам'яні	Глиняні, гіпсові
Теплостійкість	Графітові, шамотні	Металокерамічні	Гіпсові, цементні
Теплопровідність	Графітові	Металокерамічні	Шамотні, гіпсові
Стійкість до залівок	Металокерамічні (до 700)	Графітові (300– 600)	Глиняні, гіпсові (5– 20)
Якість поверхні	Графітові, кам'яні	Металокерамічні	Глиняні
Економічність	Глиняні, цементні	Шамотні, металокерамічні	Графітові

3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У даній роботі для підвищення стійкості піддону з сірого чавуну з пластинчастим графітом за рахунок поліпшення робочої поверхні розроблена і досліджена технологія установки вогнетривкої вставки безпосередньо в процесі складання форми з виливниці, піддону, що припиняє утворення термічної втоми. В якості речовин для отримання поверхневого захисного шару піддону були обрані металокерамічні матеріали, які застосовуються для виготовлення напівпостійних форм, які здатні витримувати до 20 заливок металу.

Розроблена технологія та змінена конструкція піддону зі зменшенням його маси є перспективною для впровадження на підприємствах при виготовленні сталевих виливків.

Процес та режими плавлення чавуну для відливання піддонів визначається, головним чином, необхідністю досягнення в його складі високого вмісту вуглецю.

Чавуни, які найчастіше використовуються для чавунних піддонів, мають середній хімічний склад, наведений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння хімічного складу чавуна для можливого виготовлення піддонів

Елементи	Вміст в залежності від технології плавлення, %	
	в доменній печі	в вагранці
C	4,1-4,4	3,6-3,8
Si	0,5-1,2	1,7-2,2
Mn	0,5-0,9	0,7-1,1
S	0,025-0,040	0,08-0,10
P	до 0,12	до 0,12

Для заливання розплавленого металу зверху найчастіше застосовуються виливниці типу МКС-12,5 т:

- загальна вага зливка становить 12,2 т;
- розрахункова або орієнтовна вага піддону становить 4,79 т.

Тип піддону чітко визначає і спосіб заливки металу в форму (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Типи піддонів та способи заливки сталі у форму

Тип піддону	Спосіб заливки	Вид сталі	Маса зливка, т
С-9	зверху	спокійна	8,5
МС-12	зверху	спокійна	12,5
КС-8п	зверху та сифоном	спокійна	8,5
КС-8п	зверху та сифоном	кипляча	8,5
МКС-12,5	зверху	кипляча	12,2
МКС-12,5	зверху	спокійна	12,2

Витратний коефіцієнт піддону на 1 т сталі для МКС-12,5 становить – 12,7 кг/т сталі. Як правило, піддони виходять з ладу в результаті пошкодження внутрішньої поверхні, що пов'язано з появою дрібних тріщин, ерозією та пригоранням.

Під дією рухомого рідкого металу, у разі прямого впливу струменя на робочу частину піддону, внутрішня його поверхня пошкоджується.

Неправильне центрування струменя часто призводить до приварювання злитка до піддону, в деяких випадках настільки сильно, що злиток практично неможливо видалити, і тому піддон необхідно руйнувати (розбивати).

Нашим завданням по суті було підвищення довговічності піддону шляхом зміни його конструкції з використанням металокерамічних вставок у місцях ерозії частини піддону під час заливання сталі зверху. Зниження температури робочої поверхні піддону збільшує термін його служби. Це, у свою чергу, знижує коефіцієнт витрат на матеріали, а отже, зменшує вартість ремонту, а відповідно і собівартість виробництва сталі. Основні показники використання піддону представлені в табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Експлуатаційні показники піддону типу МКС-12,5 т

Показник	Рівень
Виробництво сталі, тис. т	3358,134
Вага піддона, т	
- до впровадження	4,790
- після впровадження	4,685
Вага зливка, кг	12,2
Собівартість піддону, грн./т	
- до впровадження	4146,19
- після впровадження	4167,34

То ж за табл. А.3 бачимо, що при зменшенні ваги піддону на

$$\Delta M = 4,685 / 4,790 \times 100 - 100 = 2,2\%$$

вартість його виготовлення збільшується на

$$\Delta C = 100 - 4,167,34 / 4,146,19 \times 100 = 0,5\%.$$

Для експлуатації піддонів важливим показником є їх стійкість, зміни яких представлено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4– Абсолютні й відносні зміни стійкості піддону типу МКС 12,5 т

Показник	Величина наливів за технологією		Зміна	
	базовою	запропонованою	абсол., к-сть наливів	відн., %
Стійкість піддону МКС-12,5 т	78,2	81,4	3,2	+4,1

Коефіцієнт витрат піддону типу МКС-12,5 т на 1 тонну розплавленої сталі до впровадження становив:

$$K = Q_{\text{виливної}} / Q_{\text{сл}} \times n^{\text{т/т сталі}} \quad (3.1)$$

$$K = 12,636 / 12,2 \times 78,2 = 0,0132, \text{ т/т сталі}$$

Відповідно цей же коефіцієнт після зміни конструкції та встановлення запропонованої металокерамічної вставки становитиме:

$$K' = 12,636 / 12,2 \times 81,4 = 0,0127, \text{ т/т сталі}$$

Витрати на виробництво сталі з використання піддонів для розливки визначали за формулою:

$$B_{\text{ст}} = Q_{\text{рік}} \times K \times C_{\text{піддону}}, \text{ грн.} \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{рік}}$ – річний обсяг розливої сталі в піддон типу МКС-12,5, т;

K – коефіцієнт витрат піддону типу МКС-12,5;

$C_{\text{піддону}}$ – собівартість виготовлення піддону, грн.

Для визначення собівартості піддону використовували ринкові дані представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати визначення собівартості виготовлення піддону до технологічних змін

Шихтові матеріали	Вартість, грн./кг	Норма на 1 т придатних виливків, кг	Потреби в матеріалах для піддону №1 (вагою 4,79 т), кг	Вартість для піддону №1, грн.
ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ				
Брухт чавунний (відходи ливарного виробництва)	3	40	191,6	574,8
Металевий чавунний брухт	3,42	984	4713,36	16119,7
Феросиліцій мол.	12	8	38,32	459,8
Феромарганець	16,377	3,9	18,681	305,9
Феросиліцій ФС65	11,186	4,1	19,639	219,7
всього	45,983	-	-	17679,9
ДОПОМІЖНІ МАТЕРІАЛИ				
Вапно	1,27	82,67	395,9893	502,9
Плавиковий шпат	1,096	7	33,53	36,7
Коксовий дріб'язок	0,367	230	1101,7	404,3
Цегла динасова	2,8	70	335,3	938,8
Цегла алюмосилікатна	1,38	45	215,55	297,5
всього	6,913	-	-	2180,2
Разом				19860,1
Собівартість 1 т піддону				19860,1/4,79=

	4146,16
--	---------

При врахуванні вартості виготовлення піддону типу МКС-12,5 т та прийнятті середньорічного обсягу виробництва сталі в 3,5 млн. т, загальні витрати до впровадження нової технології становили (за формулою 3.2):

$$B_{\text{ст}} = 3,5 \times 0,0132 \times 4146,16 = 191,6, \text{ млн. грн.}$$

Після зміни конструкції піддону собівартість його виготовлення змінилася (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Результати визначення собівартості виготовлення піддону після впровадження пропозицій

Шихтові матеріали	Вартість, грн./кг	Норма на 1 т придатних виливків, кг	Потреби в матеріалах для піддону №2 (вагою 4,685 т), кг	Вартість для піддону №2, грн.
ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ				
Брухт чавунний (відходи ливарного виробництва)	3	40	187,4	562,2
Металевий чавунний брухт	3,42	984	4610,04	15766,3
Феросиліцій мол.	12	8	37,48	449,8
Феромарганець	16,377	3,9	18,2715	299,2
Феросиліцій ФС65	11,186	4,1	19,2085	214,9
всього	45,983	-	-	17292,4
ДОПОМІЖНІ МАТЕРІАЛИ				
Вапно	1,27	82,67	387,30895	491,9
Плавиловий шпат	1,096	7	32,795	35,9
Коксовий дріб'язок	0,367	230	1077,55	395,5
Цегла динасова	2,8	70	327,95	918,3
Цегла алюмосилікатна	1,38	45	210,825	290,9
Стружка чавунна	0,9	7,5	35,1375	31,6
Рідке скло	4	1,2	5,622	22,5
Порошок магнезитовий	3,2	3	14,055	44,9
всього	15,013	-	-	2231,5
Разом				19523,9
Собівартість 1 т піддону				19523,9/4,685 = 4167,32

Тож з урахуванням нової величини вартості виготовлення піддону витрати на виробництво сталі в тому ж обсязі з використанням нової конструкції піддону типу МКС-12,5т становитимуть:

$$B'_{\text{ст}} = 3,5 \times 0,0127 \times 4167,32 = 185,2, \text{ млн. грн.}$$

Тож економічний ефект використання нової конструкції піддону в якості оснащення для розливки сталі визначатиметься рівнем зниження витрат:

$$E_{\text{еф}} = B_{\text{ст}} - B'_{\text{ст}} = 191,6 - 185,2 = 6,4 \text{ млн. грн.}$$

Прослідкуємо зміну розрахованих показників (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Зміна техніко-економічних показників при впровадженні нової конструкції піддону для розливки сталі

Показник	Величина за технологією виготовлення оснащення		Відхилення	
	базовою	запропонованою	абс.	відн, %
Обсяг виробництва сталі з використанням піддонів типу МКС-12,5т, млн. т	3,5		-	-
Коефіцієнт витрат піддону типу МКС-12,5 т на 1 тону розплавленої сталі, т/т	0,0132	0,0127	-0,005	-3,8
Вага піддону, т	4,79	4,685	-0,105	-2,2
Стійкість піддону за кількість наливів сталі, од.	78,2	81,4	3,2	+4,1
Собівартість виготовлення 1 піддону МКС-12,5 т, грн.	19860,1	19523,9	-336,2	-1,7
Собівартість виготовлення 1 т піддону МКС-12,5 т, грн.	4146,16	4167,32	+21,16	+5,1
Витрати на виготовлення річного обсягу сталі з використання відповідного оснащення, млн. грн.	191,6	185,2	-6,4	-3,3
Економічний ефект впровадження пропозицій, млн. грн./рік		6,4		

З наведених розрахунків, впровадження нової конструкції піддону з металокерамічною вставкою видно, що при постійному річному обсязі виробництва сталі за рахунок

- підвищення їх стійкості на 4,1%,
 - зменшення ваги піддону на 2,2%,
 - зменшення собівартості виготовлення 1-го піддону на 336,2 грн.,
- можна зменшити загальну вартість виробництва річного обсягу сталі на 6,4 млн. грн.

Таким чином, ця величина економії повністю доводить доцільність виробництва нової конструкції піддонів з керамічними вставками.

4. ОЦІНКА СТАНУ УМОВ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Якість поверхні виливка значною мірою залежить від стану внутрішньої поверхні піддону. При наповненні виливниць зверху відбувається розмивання робочої частини піддону струменем рідкого металу (рис.2). Дефекти на робочій поверхні піддону стають причиною виникнення дефектів на поверхні основи виливка. При посадці виливків с дефектами у камери нагрівальних колодязів можуть виникати небезпечні ситуації. Наприклад, через порушення вертикальної стійкості, виникають складності встановлення ряду виливків, порушуються режими безпечної роботи нагрівальних колодязів тощо. Для запобігання виникненню небезпечних ситуацій дефекти з поверхні виливка необхідно видаляти. Найбільш характерними небезпеками під час видалення поверхневих дефектів є частки металу, що відлітають при механічному видаленні дефектів, а також опіки від іскор при вогневому зачищенні. Крім того, роботи щодо видалення поверхневих дефектів характеризуються надзвичайною трудомісткістю. Для забезпечення відповідної якості поверхні відливка передбачається проведення робіт щодо відновлення робочої частини піддону. Але відомі способи відновлення відрізняються також надзвичайною трудомісткістю і шкідливими умовами праці. Разом з цим, стан відновленої поверхні робочої частини піддону недовговічний, оскільки ремонтно-відновлювальні суміші самі по собі потребують додаткового захисту, який забезпечується присипанням чавунної стружки. Такі заходи ненадовго захищають поверхню робочої частини піддону, і з часом необхідно знову проводити ремонтно-відновлювальні роботи.

У даній роботі розроблена і досліджена технологія підвищення стійкості робочої частини піддону за рахунок установки на її поверхні вогнетривкої пробки безпосередньо в процесі складання форми з виливниці. В якості речовин для отримання поверхневого захисного шару піддону були обрані металокерамічні матеріали, які застосовуються для виготовлення напівпостійних форм, які здатні витримувати до 20 заливок металу.

Одною з важливих обставин, яка заслуговує уваги в галузі охорони праці є маса вогнетривкої пробки. Враховуючи розміри і склад матеріалів з яких виготовляють вогнетривку пробку її маса в середньому складає 25 кг. У разі ручного встановлення вогнетривкої пробки у піддон з урахуванням кількості підготовленої до заливання оснастки та інтенсивність виробництва даний вид робіт відноситься до категорії важких.

Фізична праця характеризується підвищеним навантаженням, в першу чергу, на м'язову систему та інші функціональні системи організму (серцево-судинну, дихальну, обміну речовин). Процес встановлення вогнетривкої пробки у піддон має статичний і динамічний характер.

Статична робота пов'язана з фіксацією знарядь і предметів праці в нерухомому стані, а також з наданням людині робочої пози. При статичній роботі сприйняття навантаження залежить від функціонального стану тих чи інших м'язових груп. Особливістю статичної роботи є її виражена стомлююча дія, обумовлена довгостроковим скороченням і напруженням м'язів та відсутністю умов для кровообігу, внаслідок чого знижується подача кисню та відбувається

нагромадження продуктів розпаду у клітинах. Тривала присутність осередку напруження в корі головного мозку, сформованого групою навантажених м'язів, призводить до розвитку стомлення (тимчасове зниження працездатності).

Динамічна робота — це процес скорочення м'язів, пов'язаний з переміщенням тіла чи його окремих частин у просторі. При динамічній роботі сприйняття навантаження залежить від ефективності систем, що поставляють енергію (серцево-судинна і дихальна), а також від їх взаємодії з іншими органами. Енергія, що витрачається при динамічній роботі, перетворюється в механічну і теплову. Динамічні зусилля мають переривчастий характер, що сприяє більш повноцінному кровообігу і меншій стомлюваності м'язів. Робота протягом тривалого часу без перерв на відпочинок призводить до зниження продуктивності праці і чим більше навантаження м'язів, тим швидше відбувається стомлення. Дослідження фізіології праці показали, що для виконання тривалої фізичної роботи важливо вибирати середні величини темпу і навантажень, при цьому стомлення буде виникати пізніше. Було також встановлено, що при активному відпочинку (зміна роду діяльності) відновлення працездатності людини відбувається швидше, ніж при пасивному відпочинку.

Фізичне навантаження обумовлює підвищення рівня обмінних процесів, що зростають в міру збільшення навантаження. Показниками фізичного навантаження можуть служити частота серцевих скорочень (поштовхів/хв), кров'яний тиск (мм рт. ст.), розподіл кровообігу в тканинах (мол/хв на 100 м м'язової тканини), максимальне споживання кисню (мол/хв на 1 кг маси тіла) і т. ін.

Енергетичні витрати, що визначають важкість фізичної праці, прийнято вимірювати в кДж/с, кДж/хв, кДж/година; ккал/хв, ккал/година (1 ккал = 4,2 кДж). Наприклад, при навантаженні 300 ккал/хв (1250 кДж/хв) максимально можлива тривалість фізичної праці складає частки секунд, при навантаженні 15 ккал/хв (63 кДж/хв) — 1 година, а при навантаженні 2,5 ккал/хв (11 кДж/хв) — необмежений час.

Якщо в стані спокою продуктивність (хвилинний кровообіг) серця складає 3...4 л/хв, то при інтенсивній роботі може досягати 30...35 л/хв. При цьому число серцевих скорочень може збільшуватися з 60 до 180...200 поштовхів/хв. Легенева вентиляція в стані спокою складає 6... 8 л/хв, а при інтенсивному навантаженні досягає 100 л/хв.

Статичне навантаження з енерговитратами понад 293 Дж/с відноситься до важкого. При виконанні робіт із значною м'язовою напруженістю енергетичні витрати за добу досягають 16,8...25,2 МДж (4000-6000 ккал).

Фізична праця, розвиваючи м'язову систему і стимулюючи обмінні процеси, у той же час має ряд негативних наслідків. Насамперед, це соціальна неефективність фізичної праці, пов'язана з низькою продуктивністю, необхідністю високої напруги фізичних сил (великими енергетичними витратами) і потребою в тривалому (до 50% робочого часу) відпочинку. У сучасному виробництві частка фізичної праці постійно знижується (у розвинутих країнах частка немеханізованої та неавтоматизованої праці не перевищує 8% від загальних трудових витрат).

З метою зменшення частки важкої ручної праці в технологічному процесі пропонується його механізація за рахунок застосування вантажопідійомних

механізмів (цехового мостового крану, кран-балки тощо). Для впровадження механізації даного виду робіт в конструкції вогнетривкої пробки передбачається встановлення монтажної петлі.

Таким чином, запропонована технологія є найбільш раціональним вирішенням питання підвищення стійкості робочої частини піддону. Впровадження зазначеної технології покращує стан поверхні виливків і дозволяє виключити з технологічного процесу надзвичайно трудомісткі роботи по видаленню дефектів на поверхні виливків разом з ремонтно-відновлювальними роботами робочої частини піддону.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено технологію виготовлення напівпостійних форм різних типів: кам'яних, графітових, цементних, гіпсових, глиняних, цегляних, шамотних та металокерамічних.
2. Встановлено, що найбільшу стійкість мають графітові форми — 300–600 заливок, а максимальну довговічність забезпечують металокерамічні форми з чавунними ребрами — до 700 заливок.
3. Визначено оптимальні технологічні параметри виробництва металокераміки:
 - ✓ вологість суміші 7–8 %,
 - ✓ товщина робочого шару 10–30 мм,
 - ✓ термічне пропікання при 550–600 °С протягом 4–5 год,
 - ✓ охолодження до 300–350 °С перед фарбуванням.
4. Встановлено, що застосування металокерамічних вставок у піддонах значно зменшує розмив та вигар робочої поверхні, підвищуючи термін служби піддону в 2–4 рази залежно від умов заливки.
5. Показано, що правильний підбір складу металокераміки (40–50 % чавунної стружки, 20–25 % азбеститу, 10–15 % графіту тощо) забезпечує необхідну теплостійкість і механічну міцність.
6. Використання армування сталевим дротом Ø4–5 мм забезпечує додаткову жорсткість форми та підвищує її ресурс на 20–30 %.
7. Застосування графітових, цементних і шамотних сумішей дозволяє отримати виливки з високою точністю та мінімальним пригаром.
8. Найбільш перспективним напрямом є застосування металокерамічних вкладишів у зонах інтенсивного розмиву, що дозволяє зменшити собівартість плавки, скоротити час ремонту та підвищити якість поверхні виливків.