

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Механіко-технологічний факультет

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»

Зав. кафедрою МЛВ

к.т.н. доцент

_____Олександр КУЗИК

“ ____ ” _____ 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем
вищої освіти

на тему

**«Розробка процесу виготовлення виливка “Шків” з
високоміцного чавуну маки ВЧ 450-10
у піщано-глинянисту форму»**

**«Development of a process for manufacturing a "Pulley" casting from
high-strength cast iron of the VC 450-10 type in a sand-clay mold»**

Виконав здобувач вищої освіти:

IV курсу, групи ПМ-22мб-1

«Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Рак Ю.В.

Керівник роботи:

к.т.н. доцент _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 131 "Прикладна механіка"
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри _____

к.т.н. доцент, Олександр КУЗИК

“ _____ ” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Рак Юрій Володимирович

1. Тема роботи: "Розробка процесу виготовлення виливка «Шків» з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 у піщано-глинянисту форму "
2. Керівник роботи Кузик Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент
Затверджені наказом вищого навчального закладу від "2" січня 2025 року № 9-02
3. Строк подання роботи до захисту "16" червня 2025 року
4. Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Шків» з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 у піщано-глинясту форму з урахуванням вимог до якості, міцності, технологічності та економічної доцільності.
Для реалізації поставленої мети в роботі вирішували наступні задачі:
 1. Проаналізувати конструкційні та технологічні особливості виливка «Шків».
 2. Визначити оптимальні параметри формувальної суміші та способу виготовлення форми.
 3. Обґрунтувати вибір способу плавлення і модифікування чавуну марки ВЧ 450-10.
 4. Розробити ливникову систему для забезпечення якісного заповнення форми.
 5. Скласти послідовність операцій технологічного процесу виготовлення виливка.
 6. Оцінити якість виливка та запропонувати заходи контролю.
 7. Визначити практичну ефективність запропонованого технологічного рішення.
 8. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельноливарних вказівок; 2) креслення ливарної форми в зборі

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Огрядовий	доц., Олександр КУЗИК		
Технологічний	доц., Олександр КУЗИК		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	10.04.2025	
2	Розрахунки по технологічній частині	30.04.2025	
3	Креслення по технологічній частині	20.05.2025	
4	Оформлення пояснювальної записки та презентації роботи	13.06.2025	

Дата видачі завдання

«4» 04 2025 року

Керівник роботи

_____ Олександр КУЗИК

Завдання прийнято до виконання

«_____» _____ 2025 року

_____ Юрій РАК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти виконав здобувач вищої освіти Рак Юрій Володимирович студент IV курсу, групи ПМ-22мб-1, ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк» спеціальності 131 Прикладна механіка на тему "Розробка процесу виготовлення виливка «Шків» з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 у піщано-глинянисту форму", ЦНТУ, 2024. 63 с.

У кваліфікаційній роботі досліджено та розроблено технологічний процес виготовлення виливка «Шків» із високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10, призначеного для застосування в елементах сільськогосподарської техніки. Основною метою роботи є створення ефективного, економічно обґрунтованого та якісного процесу лиття з урахуванням особливостей матеріалу, форми та вимог до експлуатаційних характеристик готової деталі.

У роботі проведено конструкційно-технологічний аналіз деталі, обґрунтовано вибір матеріалів для формування та модифікування, визначено раціональні параметри формувальних і стержневих сумішей, а також підібрано оптимальне ливарне обладнання. Особливу увагу приділено характеристикам високоміцного чавуну ВЧ 450-10, його структурним та механічним властивостям, впливу хімічного складу, температури заливки та швидкості охолодження на якість виливка.

Розроблено модельну оснастку, ливникову систему та схему розміщення виливка у формі. Проведено розрахунки шихти, оцінено якість отриманого виливка, запропоновано заходи для контролю технологічного процесу та поліпшення якості продукції.

Результати роботи можуть бути впроваджені у виробництво на ливарних підприємствах та використані при розробці технологічної документації для виготовлення аналогічних виробів.

Ключові слова: шків, високоміцний чавун, ВЧ 450-10, піщано-глиняста форма, лиття, ливникова система, модифікування, структура, технологічний процес.

ABSTRACT

The bachelor's qualification paper is devoted to the development of a manufacturing process for a “Pulley” casting made of high-strength ductile cast iron grade VCh 450-10 using a sand-clay mold. The goal of the work is to design a technological process that ensures high quality, mechanical strength, process efficiency, and economic viability.

The study includes a design and technological analysis of the part, justification for the choice of molding and modifying materials, selection of casting equipment, and the development of a rational molding system. Special attention is paid to the structural and mechanical properties of the VCh 450-10 cast iron, including the effects of chemical composition, pouring temperature, and cooling rate on the final casting quality.

The casting tooling and gating system were developed, and casting positioning within the mold was optimized. The raw material charge was calculated, and casting quality was assessed with quality control measures suggested to ensure stable production outcomes.

The results of this work can be implemented in foundry production and serve as a basis for developing technological documentation for similar castings.

Keywords: pulley, ductile cast iron, VCh 450-10, sand-clay mold, casting, gating system, modification, structure, casting process.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	8
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ.....	10
1.1 Загальні відомості про високоміцний чавун ВЧ 450-10.....	10
1.1.1. Хімічний склад та структура.....	10
1.1.2. Механічні властивості за ДСТУ EN 1563.....	12
1.1.3. Вплив структури на механічні властивості ВЧ 450-10.....	13
1.1.4. Технологічні особливості високоміцного чавуну.....	15
1.2 Формувальні та стержневі суміші.....	16
1.2.1. Формувальна суміш.....	16
1.2.2. Стрижнева суміш.....	18
1.3. Матеріали для модифікування.....	22
1.4 Обладнання для лиття.....	23
1.4.1. Плавильне обладнання.....	23
1.4.2. Додаткове обладнання.....	27
1.4.3. Формувальне обладнання.....	27
1.4.3. Допоміжне обладнання.....	30
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА «ШКІВ».....	34
2.1 Конструкційно-технологічний аналіз деталі.....	34
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення вилівка.....	35
2.2.1 Розробка модельної оснастки.....	35
2.2.2. Визначення припусків на механічну обробку та усадку, радіусів галтелів і формувальних ухилів, а також розмірів стержнів і стержневих знаків.....	36
2.3 Побудова ливарної форми.....	37
2.3.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	39
2.3.2 Визначення габаритних розмірів опоки.....	43
2.3.3. Вибір формувальної та стержневої суміші.....	44

2.3.4 Формовка.....	44
2.4.5 Збирання форм.....	45
2.4 Плавлення і підготовка металу.....	46
2.4.1 Заливання форми.....	46
2.5 Охолодження та вибивання.....	50
2.6 Очищення та контроль якості.....	51
2.6 Проектування ливарної оснастки.....	53
Висновки до розділу.....	56
3. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИЛИВКА "ШКІВ" З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ МАРКИ ВЧ 450-10 У ПІЩАНО-ГЛИНЯСТУ ФОРМУ.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
Список використаних джерел.....	61
Додатки.....	63

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні шків є однією з ключових деталей у приводах обертових механізмів. Надійність його роботи визначається не лише конструкцією, а й якістю виготовлення, зокрема литтям. Високоміцний чавун марки ВЧ 450-10 поєднує високу міцність та пластичність, що робить його перспективним матеріалом для виготовлення відповідальних деталей, зокрема шківів.

Одним із традиційних способів виготовлення виливків є лиття у піщано-глинясті форми, що забезпечує технологічну гнучкість і відносну дешевизну при виготовленні середніх і великих серій деталей. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Шків» у таких умовах потребує врахування конструкційних особливостей деталі, властивостей матеріалу та специфіки ливарного виробництва.

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Шків» з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 у піщано-глинясту форму з урахуванням вимог до якості, міцності, технологічності та економічної доцільності.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення виливків з високоміцного чавуну.

Предметом дослідження є технологічний процес лиття виливка типу «Шків» з чавуну ВЧ 450-10 у піщано-глинясту форму.

Для реалізації поставленої мети в роботі вирішували наступні завдання:

1. Проаналізувати конструкційні та технологічні особливості виливка «Шків».
2. Визначити оптимальні параметри формувальної суміші та способу виготовлення форми.
3. Обґрунтувати вибір способу плавлення і модифікування чавуну марки ВЧ 450-10.
4. Розробити ливникову систему для забезпечення якісного заповнення форми.

5. Скласти послідовність операцій технологічного процесу виготовлення виливка.

6. Оцінити якість виливка та запропонувати заходи контролю.

7. Визначити практичну ефективність запропонованого технологічного рішення.

Практичне значення дослідження.

Результати дослідження можуть бути використані для організації ефективного виробництва шківів у машинобудівних та ливарних підприємствах. Запропонований технологічний процес дозволяє підвищити якість виливків, зменшити відсоток браку та забезпечити відповідність продукції сучасним вимогам до міцності та надійності деталей.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

1.1 Загальні відомості про високоміцний чавун ВЧ 450-10

Високоміцний чавун із кулястим графітом, зокрема марка ВЧ 450-10, належить до класу конструкційних матеріалів, які поєднують високу міцність, добру пластичність та технологічність. Завдяки оптимальному поєднанню механічних властивостей і здатності до обробки різанням, такий чавун широко використовується у машинобудуванні, автомобілебудуванні, виробництві насосів, компресорів, трубопроводів, елементів гідравлічних систем, корпусних деталей тощо.

1.1.1. Хімічний склад та структура.

Високоміцний чавун ВЧ 450-10 отримується шляхом модифікування рідкого чавуну сфероїдизуючими і модифікуючими добавками, що сприяють утворенню кулястої форми графіту. Основними хімічними елементами у складі ВЧ 450-10 є:

- Вуглець (C) — 3,4–3,8 %
- Кремній (Si) — 2,3–2,8 %
- Марганець (Mn) — $\leq 0,5$ %
- Сірка (S) — $\leq 0,02$ %
- Фосфор (P) — $\leq 0,08$ %
- Магній (Mg) — 0,03–0,05 % (як сфероїдизатор)

Також допускається введення невеликих кількостей нікелю, міді, хрому для поліпшення механічних і експлуатаційних властивостей.

Залежно від складу сплаву, умов його затвердіння та застосованих методів обробки у рідкому стані, чавуни можуть суттєво відрізнятися як за структурою, так і за експлуатаційними характеристиками. Одним із ключових чинників, що впливають на властивості чавуну, є морфологія графітових включень. Саме форма графіту слугує основною ознакою класифікації чавунів: за цим критерієм їх

поділяють на сірі чавуни з пластинчастим графітом, ковкі чавуни з графітом у формі розкиданих округлих включень та високоміцні чавуни, в яких графіт має кулясту форму.

Структура чавуну, особливо якщо він не зазнав модифікаційної обробки, значною мірою визначається його хімічним складом. Один із важливих параметрів у цьому контексті — ступінь евтектичності, або ж вуглецевий еквівалент. Чим вищим є вміст вуглецю при зниженому вмісті кремнію, тим меншою буде ймовірність виникнення ливарних дефектів, таких як пористість або тріщини. Водночас, збільшення кількості кремнію сприяє підвищенню твердості та міцності сплаву завдяки зміцненню феритної фази. Важливо також враховувати вплив швидкості охолодження, яка залежить як від геометрії відливки (зокрема, товщини її стінок), так і від типу формувального матеріалу (сірі та сухі піщані форми, металеві форми тощо). Чим швидше проходить охолодження, тим більш дрібнозернистою та однорідною буде структура сплаву.

Особливе місце серед чавунів займає високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ), який поєднує в собі відмінні механічні характеристики із добрими технологічними властивостями. Цей матеріал має кращу рідинотекучість порівняно із сірим чавуном високих марок, що дозволяє виготовляти складні тонкостінні відливки зі стінками товщиною лише 3...5 мм. Проте слід мати на увазі, що ВЧ-чавун демонструє підвищену чутливість до утворення усадочних дефектів, таких як раковини і тріщини. Його вільна лінійна усадка становить близько 1 %, що потребує ретельного проектування ливників та застосування компенсуючих технологічних прийомів.

Відливки з високоміцного чавуну успішно замінюють традиційні деталі, виготовлені з ковкого або сірого чавуну, а також вироби з кольорових сплавів і ливарних сталей. Завдяки високим показникам міцності та зносостійкості, ці чавуни широко застосовуються у машинобудуванні, гідравлічному обладнанні, транспортній галузі та металургії. Зокрема, з них виготовляють деталі, що працюють під великим навантаженням і тиском — колінчасті вали, корпусні

частини насосів, елементи прокатного обладнання тощо. Діапазон маси таких відливок варіюється від кількох кілограмів до декількох тонн.

Підвищені експлуатаційні характеристики ВЧ-чавуну пояснюються наявністю кулястих графітових включень, які, на відміну від пластинчастих, не створюють значних концентрацій напружень і не ослаблюють структуру матеріалу. Саме завдяки цій особливості такий чавун демонструє підвищену ударну в'язкість і тривкість до утворення тріщин. Щоб досягти кулястої форми графіту під час кристалізації, до розплаву додають спеціальні модифікуючі компоненти — як чистий магній, так і магнієвмісні лігатури, а також комплексні модифікатори, до складу яких входить магній у поєднанні з іншими елементами (наприклад, рідкоземельними металами).

Однак, процес виробництва високоміцного чавуну вимагає суворого дотримання технологічних умов. Зокрема, потрібно забезпечити високу температуру рідкого металу, знизити вміст домішок, таких як сірка і фосфор, а також виключити з шихти елементи, що пригнічують сфероїдизацію графіту (так звані деглобуляризатори). Висока якість шихтових матеріалів і правильний вибір плавильних агрегатів — це основа стабільного отримання чавуну з прогнозованими властивостями.

Основною особливістю високоміцного чавуну є наявність графіту у кулястій формі, що утворюється завдяки обробці розплаву сфероїдизаторами (зазвичай феромагнієм). Така форма графіту значно знижує концентрацію напружень у структурі матеріалу та перешкоджає росту тріщин, що забезпечує високу міцність і в'язкість. Металева основа може бути феритною, ферито-перлітною або перлітною — залежно від умов лиття і термічної обробки. Для марки ВЧ 450-10 характерна ферито-перлітна структура, що забезпечує хороше поєднання міцності та пластичності.

1.1.2. Механічні властивості за ДСТУ EN 1563.

Високоміцний чавун марки ВЧ 450-10 (відповідник міжнародного EN-GJS-450-10 за стандартом EN 1563) відзначається поєднанням високої

міцності, пластичності та достатньої в'язкості. Завдяки кулястій формі графіту і ферито-перлітній металевій основі цей матеріал демонструє стабільні механічні властивості, що дозволяє застосовувати його для відповідальних деталей, які працюють під статичними та динамічними навантаженнями.

Таблиця 1 – Основні механічні характеристики високоміцний чавун марки ВЧ 450-10 (за ДСТУ EN 1563)

Показник	Значення	Примітка
Межа міцності на розтяг ($\sigma_{\text{в}}$)	≥ 450 МПа	Забезпечує високу несучу здатність
Відносне подовження (δ)	≥ 10 %	Вказує на добру пластичність
Межа плинності ($\sigma_{0.2}$)	$\approx 310\text{--}320$ МПа	Достатня для середньонавантажених деталей
Твердість (НВ)	140–190 НВ	За шкалою Брінелля; залежить від структури
Модуль пружності (E)	$\approx 170\text{--}180$ ГПа	Для розрахунків деформацій і жорсткості
Ударна в'язкість (КСУ)	$\approx 0,8\text{--}1,2$ МДж/м ²	Залежить від мікроструктури
Границя витривалості	$\approx 230\text{--}260$ МПа	При симетричному циклічному навантаженні
Щільність	$\approx 7,1$ г/см ³	Менше, ніж у сталі

1.1.3. Вплив структури на механічні властивості ВЧ 450-10.

Механічні властивості ВЧ 450-10, зокрема межа міцності (не менше 450 МПа) і відносне подовження (не менше 10 %), залежать не лише від форми та розміру графіту, а й від типу металевої матриці, в яку він вкраплений. Найбільш поширеними структурами матриці є феритна, перлітна або змішана (ферито-перлітна). Феритна матриця забезпечує високі показники пластичності та

ударної в'язкості, але має дещо нижчу міцність. Перлітна структура, навпаки, забезпечує високу твердість і зносостійкість, однак знижує пластичні характеристики. Для досягнення балансу між цими властивостями у марці ВЧ 450-10 зазвичай формують ферито-перлітну структуру.

На структуру металевої основи істотно впливають такі чинники, як хімічний склад сплаву, температура та швидкість охолодження, а також застосовані методи термічної обробки. Наприклад, підвищення вмісту кремнію сприяє формуванню фериту, тоді як підвищення вмісту міді, марганцю чи олова стимулює утворення перліту. Крім того, правильний вибір режиму охолодження після заливання у форму дозволяє впливати на співвідношення феритної та перлітної фаз у структурі.

Кількість, розмір і розподіл кулястих включень графіту також відіграють важливу роль. Оптимальною вважається така структура, в якій графіт представлений рівномірними кулястими включеннями діаметром 10–50 мкм у кількості 80–90 % від загальної кількості графіту. При наявності витягнутих або сплюснутих форм графіту механічні властивості помітно знижуються. Наявність лускатого або пластинчастого графіту свідчить про порушення умов модифікування, що призводить до погіршення характеристик міцності та довговічності матеріалу.

Таким чином, для забезпечення стабільних механічних властивостей високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 необхідно ретельно контролювати параметри процесу — від складу шихти та плавлення до модифікування та охолодження. Тільки за умови формування правильної мікроструктури з переважанням кулястого графіту у ферито-перлітній матриці можна досягти відповідності встановленим нормативам по міцності, твердості, пластичності та витривалості матеріалу в умовах експлуатації.

Перевага над сірим чавуном порівняно зі звичайним сірим чавуном, ВЧ 450-10: має в 2–3 рази вищу межу міцності; не є крихким і може деформуватися без руйнування; краще протистоїть ударним і циклічним навантаженням.

Таким чином механічні властивості ВЧ 450-10 забезпечують його ефективно застосування в деталях з підвищеними вимогами до міцності та довговічності при

порівняно невисокій вартості виробництва. Таке поєднання властивостей дозволяє використовувати цей чавун у відповідальних деталях, що працюють під впливом змінних навантажень.

1.1.4. Технологічні особливості високоміцного чавуну.

Високоміцний чавун ВЧ 450-10 добре піддається литтю у піщано-глинясті форми, що робить його зручним у серійному і масовому виробництві. Для забезпечення високої якості виливків важливо контролювати температурний режим заливки (звичайно 1350–1420 °С), час витримки рідкого чавуну після модифікування, а також якість формувальних сумішей. Крім того, важливим є забезпечення рівномірного охолодження виливків, щоб уникнути утворення внутрішніх напружень і дефектів.

У разі необхідності чавун ВЧ 450-10 може піддаватися термічній обробці (наприклад, відпалу або нормалізації) для стабілізації структури або покращення механічних властивостей.

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧ), зокрема марка ВЧ 450-10, є результатом цілеспрямованого вдосконалення структури звичайного сірого чавуну. Його відмінні механічні властивості досягаються не лише за рахунок хімічного складу, а й завдяки спеціальним технологічним прийомам, що забезпечують формування сфероїдального графіту. Саме ці особливості суттєво вирізняють ВЧ-чавун серед інших ливарних сплавів.

Плавлення ВЧ-чавуну вимагає високої температури — зазвичай у межах 1450–1550 °С. Це необхідно для повного розплавлення шихтових матеріалів, розчинення модифікаторів та збереження рідкоплинності розплаву до моменту заливання у форми. Важливо також уникати надмірного перегріву металу, оскільки це може призвести до збільшення зерна та погіршення структури матриці.

У виробництві високоміцного чавуну використовують ретельно підібрану шихту. Найчастіше застосовують суміш повернення (відходи ВЧ-чавуну), чавунного брухту, сталі та феросплавів. Висуваються жорсткі вимоги до чистоти шихтових матеріалів — вони не повинні містити неметалевих включень, мастил

або фарб. Якість шихти безпосередньо впливає на однорідність складу та стабільність властивостей чавуну.

Оскільки ВЧ-чавун має дещо більшу рідинотекучість порівняно з сірим чавуном, його можна використовувати для виготовлення складних тонкостінних відливок. Проте водночас він характеризується значною усадкою (до 1 %), що потребує особливої уваги при проектуванні ливникової системи. Також важливо правильно вибрати формувальний матеріал — він повинен забезпечувати контрольовану швидкість охолодження, яка дозволяє уникнути формування небажаних структур (білих зон, цементиту).

Для досягнення бажаних механічних властивостей (зокрема співвідношення міцності й пластичності) високоміцний чавун може піддаватися термічній обробці. Наприклад, для отримання переважно феритної структури застосовується відпал у відповідному температурному інтервалі. Якщо необхідна підвищена твердість та зносостійкість — чавун охолоджують у повітрі або проводять контрольоване охолодження з утворенням перлітної матриці.

Таким чином, технологічні особливості виробництва високоміцного чавуну обумовлюють складність і точність кожного етапу процесу — від підбору сировини до формування остаточної структури. Саме дотримання всіх технологічних вимог забезпечує отримання чавуну марки ВЧ 450-10 із стабільними фізико-механічними характеристиками, що дозволяє успішно застосовувати його у відповідальних конструкціях сучасного машинобудування, енергетики та транспортної техніки.

1.2 Формувальні та стержневі суміші

1.2.1. Формувальна суміш.

Формувальна суміш є одним із ключових елементів технологічного процесу лиття, що безпосередньо впливає на якість виливків із високоміцного чавуну ВЧ 450-10. Вона забезпечує створення форми з необхідними фізико-механічними

властивостями, які гарантують точність геометрії, гладкість поверхні та відсутність дефектів.

Основні вимоги до формувальної суміші.

Формувальна суміш повинна мати достатню міцність, щоб витримувати тиск розплавленого металу під час заливки і не руйнуватися, забезпечуючи точність відливання.

Висока газопроникність суміші необхідна для виходу газів, що утворюються під час заливки розплаву, що запобігає утворенню пористості та дефектів у виливку.

Суміш повинна зберігати свої властивості при високих температурах (до 1400 °С), не розкладатися і не вступати в хімічну реакцію з металом.

Забезпечує легке формування складних конфігурацій і тонких стінок виливків.

Для виготовлення форм і стержнів для лиття ВЧ 450-10 зазвичай застосовують піщано-глинясті суміші (табл. 2)

Таблиця 2 – Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

№ п/п	Складова суміші і параметри	Значення параметру
1	Зворотна суміш, %	96
2	Пісок кварцовий К02, КОІБ, %	3
3	Вугілля гранульоване, %	0,15
4	Бентоніт, %	0,15
5	Вода, %	до вологості
6	Вміст глиняної складової, %	11
7	Вміст активного бентоніту, %	8
8	Втрати при прожарюванні %	3
9	Вологість, %	3,5
10	Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12-0,15
11	Газопроникність, одиниць	80
12	Плинність (по Орлову), одиниць	80

Піщано-глинясті суміші складаються з:

– кварцового піску — основний наповнювач із зернистістю 0,1–0,3 мм, який визначає розмір і точність форми;

– глини (бентоніт або каолін) — сполучний матеріал, що забезпечує зв'язок піщинок між собою;

– води – для зволоження суміші і досягнення оптимальної пластичності;

Додаткові домішки (за потребою) — графіт, целюлоза, фракціоновані матеріали для підвищення міцності або газопроникності.

Властивості формувальної суміші

Міцність на стиск – 2,5...4,0 МПа (залежно від рецептури і режиму сушіння);

Газопроникність – 60...80 одиниць за стандартом в межах, що запобігають дефектам;

Вологість — близько 4...6 %;

Пластичність — достатня для формування деталей зі складною геометрією.

Формувальна суміш повинна бути добре перемішана і однорідна, щоб уникнути утворення дефектів;

Рекомендується використовувати свіжу суміш або суміш із контролем її властивостей, щоб забезпечити стабільність процесу;

Суміш повинна бути правильно зволожена, оскільки надлишок води знижує міцність форми, а нестача — призводить до крихкості.

Правильний вибір і підготовка формувальної суміші для ВЧ 450-10 дозволяє запобігти виникненню дефектів (пористості, тріщин, раковин), підвищити точність геометричних розмірів і чистоту поверхні виливків та забезпечити рівномірне охолодження металу у формі, що сприяє отриманню оптимальної структури і механічних властивостей.

1.2.2. Стрижнева суміш.

Стрижні — це складові частини ливарної форми, які формують внутрішні порожнини або складні геометричні елементи виливка. Від якості стрижневої суміші значною мірою залежить точність і якість внутрішніх поверхонь виливка, а також запобігання дефектам, таким як усадкові пори чи тріщини.

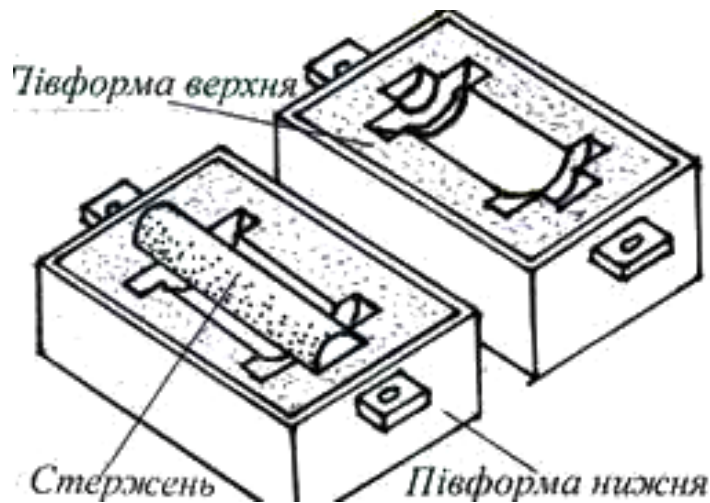


Рисунок 1 – Схема встановлення стержня

Основні вимоги до стрижневої суміші

1. Суміш повинна витримувати тиск металевого розплаву без руйнування під час заливки і експлуатації форми.
2. Забезпечувати вихід газів, які утворюються при контакті гарячого металу із стрижнем, що знижує ризик появи газових порожнин у виливку.
3. Матеріал повинен зберігати властивості при температурі близько 1400 °С, не плавиться і не взаємодіяти з розплавом.
4. Суміш має бути пластичною, щоб точно відтворювати складну форму стрижнів.
5. Стрижні повинні зберігати форму і міцність під час зберігання і монтажу.

Склад стрижневої суміші

Для лиття ВЧ 450-10 використовуються суміші на основі:

- кварцовий пісок — основний наповнювач, зернистість близько 0,1–0,3 мм;
- органічні зв'язки — полімерні або фенолформальдегідні смоли, які забезпечують міцність після отвердження;
- інгібітори — добавки, що контролюють час отвердження та газоутворення;
- каталізатори — прискорюють полімеризацію суміші;
- вода — у невеликих кількостях для регулювання консистенції (залежно від типу суміші).

Існують два основні типи стрижневих сумішей: холодного затвердіння (холодні суміші) — твердіють при кімнатній температурі, застосовуються для серійного виробництва та гарячого затвердіння — твердіють під впливом високої температури у формі, забезпечують високу термостійкість.

Властивості стрижневої суміші.

Стрижнева суміш є важливим компонентом ливарного виробництва, що використовується для виготовлення стрижнів — елементів, які формують внутрішні порожнини у виливках. Від якості та властивостей цієї суміші значною мірою залежить точність геометрії, шорсткість внутрішньої поверхні, легкість видалення стрижнів після заливки, а також загальна якість виливка.

Основні властивості стрижневої суміші (табл. 3), які визначають її придатність до використання у конкретних умовах, включають: газопроникність; міцність на стиск у сухому та гарячому стані; термічна стабільність (вогнетривкість); легкість вибивання (руйнування після заливки); стабільність форми і точність відтворення контурів; екологічна безпечність та технологічність.

Таблиця 3 – Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Значення параметра
Пісок кварцевий, %	95,24
Смола СФ, %	3,54
Каталізатори М1, %	0,7
Гас, %	0,52
Керосин освітлювальний, %	0,62
Газопроникність, одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані,	0,005 - 0,01
Вологість, %	1,8-2,8

Газопроникність характеризує здатність суміші пропускати гази, які виділяються під час контакту розплаву з формою або стрижнем. Висока газопроникність дозволяє уникати виникнення пор і дефектів у виливках, пов'язаних із газовими включеннями. Газопроникність забезпечується оптимальним зерновим складом піску, правильним співвідношенням в'язучих компонентів і рівномірним ущільненням стрижня.

Міцність є критичним параметром, оскільки стрижень повинен зберігати свою форму під дією металостатичного тиску під час заливання. Суха міцність

визначає стійкість стрижня при транспортуванні та складанні форми, а гаряча — його здатність витримувати високі температури розплаву без руйнування. Міцність досягається завдяки використанню ефективних зв'язуючих речовин (наприклад, рідкого скла, смол, бентонітів) та правильному режиму термообробки стрижнів.

Стрижнева суміш повинна бути термічно стійкою, тобто зберігати свою цілісність при температурі контакту з розплавом (до 1300–1400 °С і вище). Недостатня термічна стабільність призводить до оплавлення або розпаду стрижнів, що, у свою чергу, викликає дефекти у виливках — напливи, шорсткість, включення.

Після тверднення металу стрижень повинен легко руйнуватися та видалятися з порожнини вилівка. Це досягається за рахунок правильного вибору в'язуючих матеріалів і співвідношення компонентів суміші. Занадто міцні або «запечені» стрижні можуть утруднювати очищення та пошкоджувати виливок.

Суміш повинна точно передавати геометрію моделі, зберігаючи мікрорельєф поверхні. Це особливо важливо для деталей зі складними внутрішніми контурами. Для цього використовуються тонкозернисті піски та якісні органічні або неорганічні зв'язуючі.

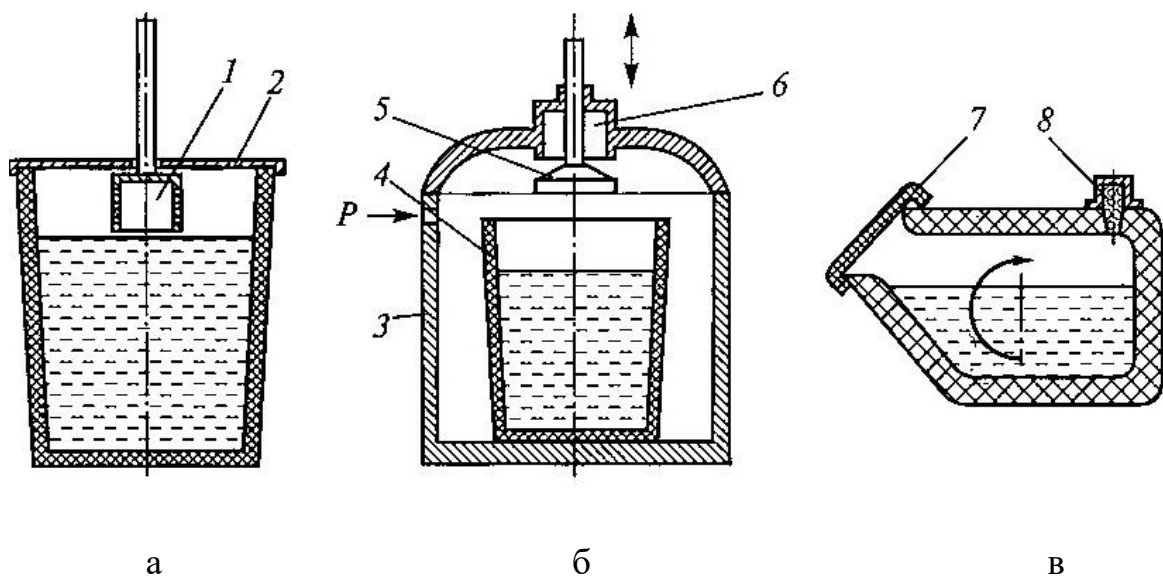
У сучасному ливарному виробництві велика увага приділяється вибору сумішей з мінімальним виділенням токсичних речовин при нагріванні. Використання безпечних сполук (наприклад, водорозчинних полімерів або неорганічних зв'язуючих) дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та умови праці.

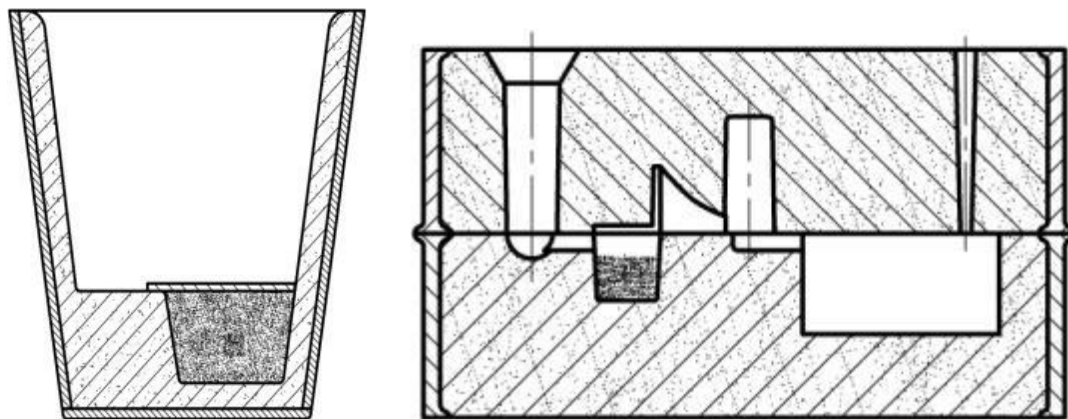
Таким чином, комплекс властивостей стрижневої суміші повинен забезпечувати високу якість виготовлених стрижнів, їх надійну роботу в умовах заливання, а також зручне видалення після затвердіння металу. Підбір суміші здійснюється індивідуально залежно від типу вилівка, матеріалу, умов заливання та вимог до точності поверхні. Якісна стрижнева суміш — це запорука отримання бездефектних виливків складної внутрішньої конфігурації.

1.3. Матеріали для модифікування

Ключовим етапом у виробництві високоміцного чавуну є модифікація рідкого металу, яка передбачає введення у розплав елементів, що сприяють утворенню графіту сферичної форми. Найчастіше для цього використовують магній або його лігатури (наприклад, феросилікомагній), а також комплексні модифікатори, які можуть включати рідкоземельні метали (церій, лантан та ін.). Модифікування проводиться безпосередньо перед заливанням металу у форму, оскільки магній має високу леткість, і його дія швидко зменшується.

У сучасному ливарному виробництві високоміцного чавуну з кулястим графітом застосовується декілька ефективних технологічних підходів, що передбачають сфероїдизацію графіту шляхом введення магнію або магнієвмісних комплексних модифікаторів. Ці технології реалізуються різними методами, зокрема: у герметичних автоклавах або закритих ковшах, де забезпечується контрольована атмосфера і мінімізуються втрати активного елемента; в умовах відкритих ковшів, що дозволяє спростити технологічний процес, проте вимагає більш точної організації режимів подачі модифікатора; безпосередньо в потоці розплаву під час його переливання, де сфероїдизація відбувається в русі; в ливарній формі, шляхом закладки модифікатора у спеціальні камери форм перед заливанням; іншими комбінованими методами, що поєднують переваги кількох варіантів обробки (рис. 2).





Г

Д

1 - дзвіночок; 2 - кришка; 3 - корпус автоклаву; 4 - ківш з металом; 5 – мішалка; 6 – порожнина для модифікатору; 7- кришка ковша; 8 - модифікатор

Рисунок 2 – Способи введення в розплав сфероїдизуючих модифікаторів: а - під дзвіночком; б - в автоклаві; в - в герметичному ковші-конвертері; г – у відкритому ковші («Сендвіч-процес»); д – внутрішньоформове обробка

Для забезпечення стабільного отримання чавуну з кулястим графітом, у вихідному розплаві повинна бути мінімальна кількість шкідливих домішок, зокрема сірки та фосфору. Сірка є активним деглобуляризатором, який перешкоджає формуванню сфероїдальних включень графіту. Тому її вміст у чавуні не повинен перевищувати 0,02–0,03 %. Також слід уникати включення елементів, що мають негативний вплив на процес сфероїдизації, таких як титан, свинець, алюміній.

Для отримання кулястого графіту додається магній у формі лігатур: Fe-Si-Mg (феросилікомагній), може також застосовуватись Се, Са

1.4 Обладнання для лиття

1.4.1. Плавильне обладнання.

Для отримання високоміцного чавуну ВЧ 450-10 необхідне спеціалізоване плавильне обладнання, яке забезпечує точний контроль температури, хімічного складу і якості розплаву. Якість металу на етапі плавлення має вирішальне значення для формування кулястої форми графіту і стабільної ферито-перлітної структури.

Основні типи плавильного обладнання:

Найбільш поширений тип печей для плавлення високоміцних чавунів це індукційні печі. Дані печі працюють за принципом електромагнітної індукції, що дозволяє швидко і рівномірно нагрівати метал. Забезпечують точне підтримання температури плавлення (переважно 1450–1500 °С). Легко контролюють хімічний склад за рахунок можливості дозованого введення легуючих елементів та дають можливість роботи у вакуумі або інертній атмосфері для зменшення окислення.

Для плавлення великих обсягів металу використовуються кокільні печі (індукційно-дугові). Кокільні печі поєднують переваги індукційного і дугового нагрівання, забезпечують високу продуктивність і однорідність розплаву.

Печі на твердому паливі (доменні, шахтні) – використовуються рідше через складність регулювання складу металу. Придатні для підготовчих операцій або отримання чавуну з вуглецевмісних матеріалів.

Під час плавлення ВЧ 450-10 важливо уникати перевищення температури плавлення, оскільки це призводить до втрати магнію, що відповідає за сфероїдизацію графіту. Плавлення проводити з ретельним контролем вмісту легуючих елементів: магнію, кремнію, мангану, сірки і фосфору. Для підвищення якості застосовується дегазація металу і рафінування для видалення домішок.

Процес сфероїдизації проводиться безпосередньо у ковші або шляхом інокуляції в ковші (in-kettle) або безпосередньо в ливарній формі (in-mold).

Для розплавлення сплаву ВЧ 450-10 застосовуємо індукційну тигельну піч промислової частоти (рис. 3), що є найбільш оптимальним плавильним агрегатом для цього виду матеріалу. З огляду на економічну доцільність, рекомендується використання кислій футерівки, яка забезпечує необхідні умови експлуатації печі при мінімальних витратах. Важливо, щоб шихта, що закладається у піч, відповідала строгим технічним вимогам щодо вмісту сірки та фосфору, оскільки процеси десульфурації та дефосфорації у кислих тигельних печах не виконуються. Плавка металу в індукційних печах відзначається екологічною безпекою, що значно покращує умови праці в виробничих цехах, знижуючи рівень шкідливих викидів та пилу. Використання в складі шихти не лише традиційних металевих компонентів,

але й таких відходів, як чавунна і сталева стружка, а також інших металургійних залишків, сприяє підвищенню економічної ефективності процесу плавки і зниженню витрат на сировину.



Рисунок 3 – Загальний вид індукційної тигельної печі ІЧТ-10,0

Крім того, індукційні печі дозволяють легко переключатися між виробництвом різних марок сплавів, що забезпечує гнучкість технологічного процесу. Загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) індукційних тигельних печей становить приблизно 70...80 %, що робить їх одними з найбільш ефективних серед подібного обладнання.

Таблиця 4 – Технічні характеристики ІЧТ-10,0

№ п/п	Найменування параметрів	Величина
1	Об'єм тигля, т	10,0
2	Потужність трансформатора, кВт	4000
3	Потужність печі, кВт	687
4	Потужність холостого ходу, кВт	112
5	Робоча температура рідкого металу, °С	1400
6	Теоретична тривалість плавки на твердій шихті, год	2,04
7	Питома витрата електроенергії складає в печі, кВт·год/т	400
8	Струм промислової частоти	50 Гц
9	Теоретичні приведені витрати електроенергії на розплавлення і перегрів металу, кВт год/т	585
10	Маса металоконструкції електропечі, т	49
11	Загальна маса печі з розплавленим металом, т	58
12	Тип трансформатора	ЭОМН-1500/10

Плавлення чорних металів в індукційних печах має суттєві переваги порівняно з дуговими печами, передусім через відсутність джерел додаткового забруднення навколишнього середовища. В індукційних печах процес нагрівання відбувається безпосередньо всередині металу завдяки електромагнітним індукційним явищам, що забезпечує більш рівномірний і ефективний розподіл тепла. Однією з ключових особливостей таких печей є інтенсивне перемішування розплавленого металу, яке виникає завдяки електродинамічним силам, що стимулюють рух рідкого металу. Це перемішування дозволяє підтримувати однорідну температуру по всьому об'єму розплаву, зменшуючи локальні перегрівки чи охолодження. Як результат, втрати металу внаслідок випаровування (угару) мінімізуються, що робить процес плавки більш економічним та екологічно безпечним у порівнянні з іншими типами електричних плавильних агрегатів, зокрема дуговими печами.

Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій. Баланс металу на 1т придатного литва зводимо до таблиці 5.

Таблиця 5 – Баланс металу на 1 т придатних відливок

№ п/п	Найменування статті балансу	ВЧ450-10	
		%	т
Прибуткова частина			
1	Чавун ливарний рафінований	64,63	0,908
2	Лом сталевий	11,52	0,162
3	Відходи власного виробництва	23,85	0,335
Всього		100	1,405
Витратна частина			
1	Придатне литво	71,15	0,999
2	Ливники	18,50	0,259
3	Брак	2,85	0,040
4	Угар та безповоротні втрати	5	0,070
5	Зливи та сплески	2,5	0,037
Всього		100	1,405

1.4.2. Додаткове обладнання

Автоматичні системи дозування легуючих матеріалів — забезпечують точне введення модифікаторів і рафінуючих добавок.

Системи контролю температури і хімічного складу — інфрачервоні датчики, спектрометри для швидкого аналізу.

Вакуумні системи і інертні камери — для зменшення окислення і поліпшення якості металу.

Таким чином, вибір і правильна експлуатація плавильного обладнання є критичними для виробництва високоміцного чавуну ВЧ 450-10. Вони забезпечують отримання якісного розплаву з потрібною структурою і властивостями, що впливає на надійність і довговічність виливків.

1.4.3. Формувальне обладнання.

Формувальне обладнання є невід'ємною складовою технологічного процесу лиття, що забезпечує виготовлення форм і стрижнів необхідної якості для отримання високоточних і якісних виливків із високоміцного чавуну ВЧ 450-10. Від обладнання залежить точність відтворення геометрії, фізико-механічні властивості формувальних матеріалів, а також продуктивність і ефективність виробництва.

Основні види формувального обладнання

Вертикальні та горизонтальні формувальні машини – призначені для виготовлення форм у піщаних сумішах методом вібропресування або вібровібрущільнення.

Забезпечують високу однорідність і щільність формувальної суміші, що підвищує міцність і газопроникність форми. Дані формувальні машини оснащені автоматичними дозаторами суміші, що знижує витрати матеріалу і покращує якість.

Для виготовлення стрижнів складної конфігурації використовуються стрижнеформувальні машини з різних типів сумішей (холодного чи гарячого

отвердження). Можуть бути ручного або автоматичного типу. Оснащені пресами, екструдерами, сушильними камерами.

Сушильні камери забезпечують контрольоване висушування форм і стрижнів з метою видалення надлишкової вологи. Температурний режим сушіння підбирається відповідно до типу суміші, щоб уникнути тріщин та деформацій.

Автоматизовані лінії формування це комплексні системи, що включають подачу суміші, формування, сушіння, очистку і підготовку форм до заливки. Застосовуються для масового виробництва виливків з високою продуктивністю і стабільністю якості.

Для забезпечення високої точності форм і мінімізації дефектів необхідне обладнання, що дозволяє ретельно регулювати параметри ущільнення формувальної суміші. Важливо мати можливість швидко і точно дозувати та змішувати суміші, оскільки якість формувального матеріалу напряму впливає на властивості виливка. Використання автоматизованих систем дозволяє зменшити вплив людського фактора і покращити однорідність форм.

Висока точність формування забезпечує необхідні розміри і поверхневу якість виливка. Рівномірне ущільнення суміші запобігає появі тріщин, усадкових пор і раковин. Ефективне сушіння дозволяє уникнути парових дефектів і підвищує довговічність форми.

Таким чином, сучасне формувальне обладнання є ключовим фактором у виробництві високоякісних виливків із високоміцного чавуну ВЧ 450-10, забезпечуючи необхідну точність, однорідність і стабільність технологічного процесу. Тому обираємо автоматичну формувальну лінію Savelli через низку вагомих технічних і технологічних переваг, які вона надає у порівнянні з іншими способами формування.

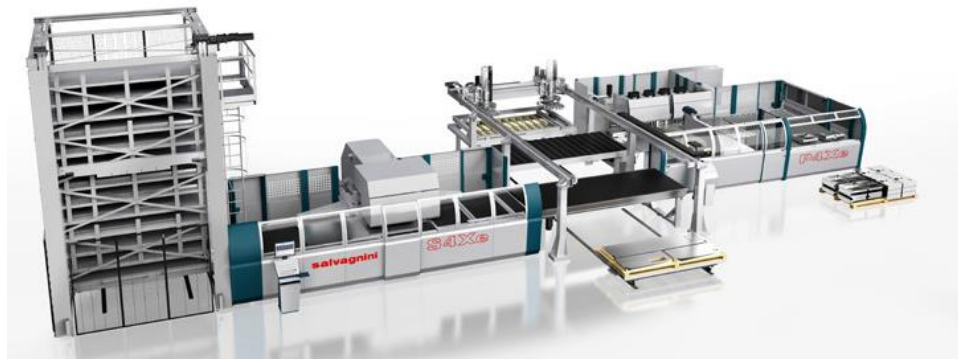


Рисунок 4 – Автоматична формувальна лінія Savelli

По-перше, ця лінія забезпечує високу точність та стабільність параметрів формувального процесу, що є критично важливим при роботі з високоміцними чавунами, оскільки навіть незначні відхилення можуть призводити до дефектів у готових виливках.

Таблиця 6 – Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії Savelli

Внутрішні розміри опоки	мінімальний: 640×450×100/200мм максимальний: 1000×800×100/400 мм
Продуктивність	180 повних форм/год
Час циклу	20 сек.
Потрібність у формувальній суміші	30 т/год
Кількість місць для постановки стержнів та перевірки	5 для нижніх опок 5 для верхніх опок
Кількість місць для литва	1 – для автоматичного литва 16 – для ручного литва
Час охолодження від середини лінії розливу	
- з однією охолоджувальною лінією	26,6 хв.
- з двома охолоджувальними лініями	46,6 хв.
Система приводу	Електромеханічні пристрої транспортування з без щітковими електродвигунами, регулюванням прискорення та положення
Формувальна машина	Подвійна турнікетного типу
Кількість формувальних машин	Одна
Формувальна система	FORMIMPRESS®
Можливі способи ущільнення	- передущільнення з допомогою FORMIMPRESS та кінцеве ущільнення активним ущільненням зверху

Ущільнення зверху	Багатопоршнева головка ущільнення з 2 контурами тиску: 1 зовнішній та 1 внутрішній
Заміна внутрішньої моделі (модель А проти В)	Автоматично турникетом
Заміна внутрішньої моделі (модель А або В проти С)	Автоматично пристроєм
Гідропривід	Централізований
Тиск в гідравлічному контурі	100 бар
Температура масла	50°C ± 5°C
Електросистема	Централізована
Витрата охолоджувальної води (*)	5 м ³ /год при температурі входу 22°C
Витрата стиснутого повітря 6 бар(*)	100 Нм ³ /год
Встановлена потужність	250 кВт
Потребляема потужність	150 кВт
Робоча напруга	3 x 400 VAC, 50 Hz, AC
Управляюча напруга	110 VAC, 50 Hz,
Допустимі коливання в електромережі	Напруга + 10% та – 2.5% Hz: ± 5%

Крім того, автоматизація процесу дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва, зменшуючи час на формування та скорочуючи вплив людського фактора, що часто стає причиною браку. Лінія Savelli має можливість працювати з різними типами формувальних сумішей, що дозволяє оптимізувати технологію під конкретні властивості чавуну ВЧ 450-10 та вимоги до якості виливків. Важливою перевагою також є забезпечення рівномірного ущільнення форми, що сприяє покращенню герметичності та мінімізації усадкових дефектів. Крім технічних аспектів, вибір лінії Savelli обґрунтований її надійністю, простотою обслуговування і можливістю інтеграції в існуючі виробничі потоки, що робить її ефективним рішенням для сучасного лиття високоміцного чавуну. Таким чином, автоматична формувальна лінія Savelli є оптимальним вибором для забезпечення високої якості, продуктивності та економічності виготовлення виливків із марки ВЧ 450-10.

1.4.3. Допоміжне обладнання.

Допоміжне обладнання виконує важливу роль у забезпеченні безперебійного, якісного та безпечного технологічного процесу лиття

високоміцного чавуну ВЧ 450-10. Воно призначене для підготовки матеріалів, обробки виливків, підтримки виробничих процесів і контролю якості.

Основні види допоміжного обладнання

Обладнання для підготовки формувальних матеріалів:

Мішалки і змішувачі формувальних сумішей — забезпечують однорідне змішування піску, глини, води та добавок для отримання якісної формувальної суміші.

Сита і просіювачі піску — видаляють крупні домішки і забезпечують необхідну зернистість матеріалу.

Сушильні установки — підтримують оптимальну вологість суміші для формування.

Обладнання для обробки виливків.

Для здійснення процесів очистки та охолодження відливок, виготовлених із зазначених сплавів, було обрано безперервний галтовочний барабан моделі Н26-4Л. Цей тип обладнання дозволяє ефективно видаляти залишки шлаку та інших забруднень, одночасно забезпечуючи контрольоване охолодження виробів. Основні технічні характеристики галтовочного барабана, що впливають на продуктивність і якість обробки, представлені у таблиці 7.

Таблиця 7 – Технічна характеристика галтовочного барабана моделі Н26-4Л

Найменування характеристик	Значення	Одиниці виміру
Продуктивність при очищенні відливок із сірого чавуну	5	т/год
Частота обертання барабану	8,5	об/хв
Кут нахилу	0...4	град
Маса відливка, яка очищається	40	кг
Найбільший розмір відливки	700	мм
Температура відливки, С	70	
Кількість відсмоктуваного повітря	7800	м ³ /год
Потужність електродвигуна	22	кВт
Маса	15460	кг
Габаритні розміри	7640×2570×2440	мм

Завдяки своїй конструкції, барабан Н26-4Л забезпечує безперервний режим роботи, що підвищує загальну ефективність технологічного процесу.

Для проведення подальшої очистки відливок із чавуну застосовується дробометний барабан періодичної дії моделі 323. Основні технічні параметри цього обладнання наведені в таблиці 8, а його конструктивна схема представлена на рисунку 5.

Таблиця 8 – Технічна характеристика дробометного барабану моделі 323

Характеристика	Значення	Одиниці виміру
Продуктивність	2...4	т/год
Найбільший розмір відливки	3000 × 2000 × 3500	мм
Найбільша маса завантаження	800	кг
Потужність електродвигуна	19,5	кВт
Маса	9300	кг
Габаритні розміри: довжина × ширина × загальна висота	5700 × 3100 × 4800	мм



Рисунок 5 – Загальний вид дробометного барабану періодичної дії Гільйотини, ножиці, преса — для обрізки ливникової системи, розділення заготовок і підготовки до подальшої обробки.

Шліфувальні та полірувальні верстати — забезпечують необхідну чистоту і гладкість поверхні.

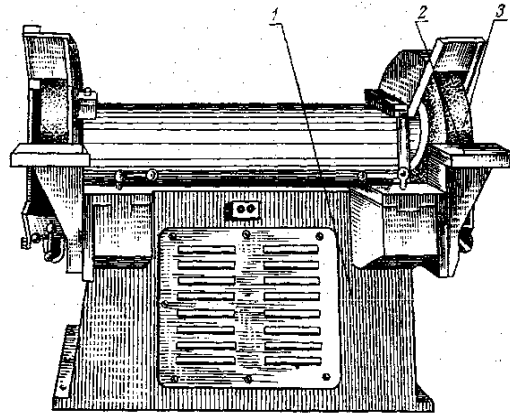


Рисунок 6 – Стационарний верстат для зачистки відливків та відрізки підживлювачів 3М363.

Конвеєри, підйомники, візки — забезпечують безпечне і швидке переміщення форм, стрижнів, виливків і сировини по цеху. Крани, підйомні механізми необхідні для завантаження матеріалів у плавильні печі, транспортування важких виливків. Датчики температури і спектрометри — для контролю температури розплаву і хімічного складу металу.

Приладами для визначення вологості і міцності формувальної суміші є ультразвукові і рентгенівські установки, що дозволяють візуально і не руйнуючи визначити та контролювати якість виливків.

Системи вентиляції і аспірації забезпечують видалення шкідливих газів, пилу і диму, що утворюються під час плавлення і формування, а також підвищують безпеку праці і екологічність виробництва.

Висока надійність і точність обладнання дозволяють підтримувати стабільність технологічного процесу. Забезпечення чистоти форм і виливків підвищує кінцеву якість продукції. Системи контролю та автоматизації допомагають своєчасно виявляти відхилення і запобігати дефектам.

Таким чином, допоміжне обладнання є важливою складовою технологічної ланки литва високоміцного чавуну ВЧ 450-10, сприяючи підвищенню продуктивності, якості і безпеки виробництва.

Матеріалом для відливання обрано високоміцний чавун марки ВЧ 450-10, що регламентується ДСТУ 8981:2020.

Основні вимоги до точності включають: допустима різностінність – не більше 3 мм; максимальне короблення – до 2 мм; перекис по площині роз'єму – не більше 2 мм. Для оброблених поверхонь передбачена наявність поодиноких раковин довжиною до третини кола та шириною до 5 мм. Також можливі незначні заглиблення (раковини) діаметром до 3 мм, кількістю не більше 5 штук. На необроблених ділянках допустимі раковини діаметром до 9 мм, глибиною до 4 мм і не більше 8 штук на одну поверхню. У зонах стику стержня і формувальної порожнини допускається наявність облоїв завдовжки до 1,5 мм.

Шків слугує функціональним елементом сільськогосподарського обладнання. Маса одного відливка становить приблизно 2 кг, а його габаритні розміри — 260 мм у діаметрі при висоті 51,8 мм. Діапазон твердості відливка знаходиться в межах 150–225 НВ. Механічна обробка проводиться лише на посадкових поверхнях під вал, інші ж частини залишаються в литому стані. Геометрія відливка включає прямолінійні елементи з плавними радіусними переходами, що зменшують залишкові напруження в процесі охолодження та сприяють зменшенню деформацій. В конструкції передбачено чотири стрижневі отвори; модель не має з'єднаних елементів; роз'ємна площа одна і проходить симетрично по формі.

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

2.2.1 Розробка модельної оснастки

Тип моделі: дерев'яна модель з технологічними припусками та уклонами; роз'єм по горизонтальній площині.

Під час визначення оптимального положення виливка у формі на стадії заливки прийнято орієнтувати його горизонтально. Такий підхід обумовлений тим, що ключові функціональні поверхні деталі, зокрема ті, що призначені для посадки на вал, повинні бути зорієнтовані у вертикальному напрямку. Це дозволяє

мінімізувати ймовірність виникнення внутрішніх дефектів, зокрема раковин, пористості та включень, які часто утворюються внаслідок недостатньої якості формувального матеріалу або недосконалої набивки. Обрана орієнтація сприяє рівномірному заповненню форми рідким металом, що позитивно впливає на якість лиття.

Додатковою перевагою такого розміщення є вертикальне розташування площини роз'єму між моделлю та формою. Це рішення дозволяє застосовувати єдиний, простий у виконанні роз'єм для всього виливка, що значно полегшує процес машинного формування, робить його технологічно зручнішим та менш затратним. Відсутність знімних вставок у конструкції роз'єму спрощує технологію виготовлення форм, знижує ризик виникнення похибок у збиранні та покращує загальну точність геометрії виливка.

Крім того, така конфігурація забезпечує симетричне розміщення відливка між верхньою і нижньою половинами форми. Це позитивно впливає на ущільнення формувальної суміші, забезпечує надійну фіксацію стержнів, полегшує складання форми та сприяє точному дотриманню розмірів виливка. Зручне та безпечне вилучення моделі з форми після її заповнення металом є ще одним важливим технологічним аспектом, який забезпечується обраним розміщенням. Усі ці фактори разом підвищують якість готової деталі та стабільність процесу лиття в цілому.

2.2.2. Визначення припусків на механічну обробку та усадку, радіусів галтелів і формувальних ухилів, а також розмірів стержнів і стержневих знаків.

Розміри відливка відрізняються від кінцевих розмірів деталі на величину припусків для механічної обробки. Припуски для ВЧ 450-10 визначаються згідно з ДСТУ 2768-94. На кресленнях межі припусків позначають тонкими лініями, а також зазначають їх розміри — для цієї деталі припуск становить 1 мм.

Припуск на ливарну усадку задається у відсотках від розміру відливка. Його значення для ВЧ 450-10 береться з ДСТУ. Для відливків середнього розміру вільна усадка дорівнює 2 %. Радіуси заокруглень вибирають у діапазоні від $1/5$ до $1/3$

середнього арифметичного товщини суміжних стінок — для цього відливка радіус становить 2 мм. Мінімальні радіуси заокруглень беруть із. Радіуси зазначають на кресленнях, а невказані — вільно на полі креслення.

Формувальні ухили призначають залежно від розмірів відливка та технології виготовлення форми і стержня відповідно до ДСТУ 2816-94. Мінімальні значення ухилів для цього відливка ухил становить 3° . Величини ухилів наносять на креслення, а невказані дописують на вільній площі.

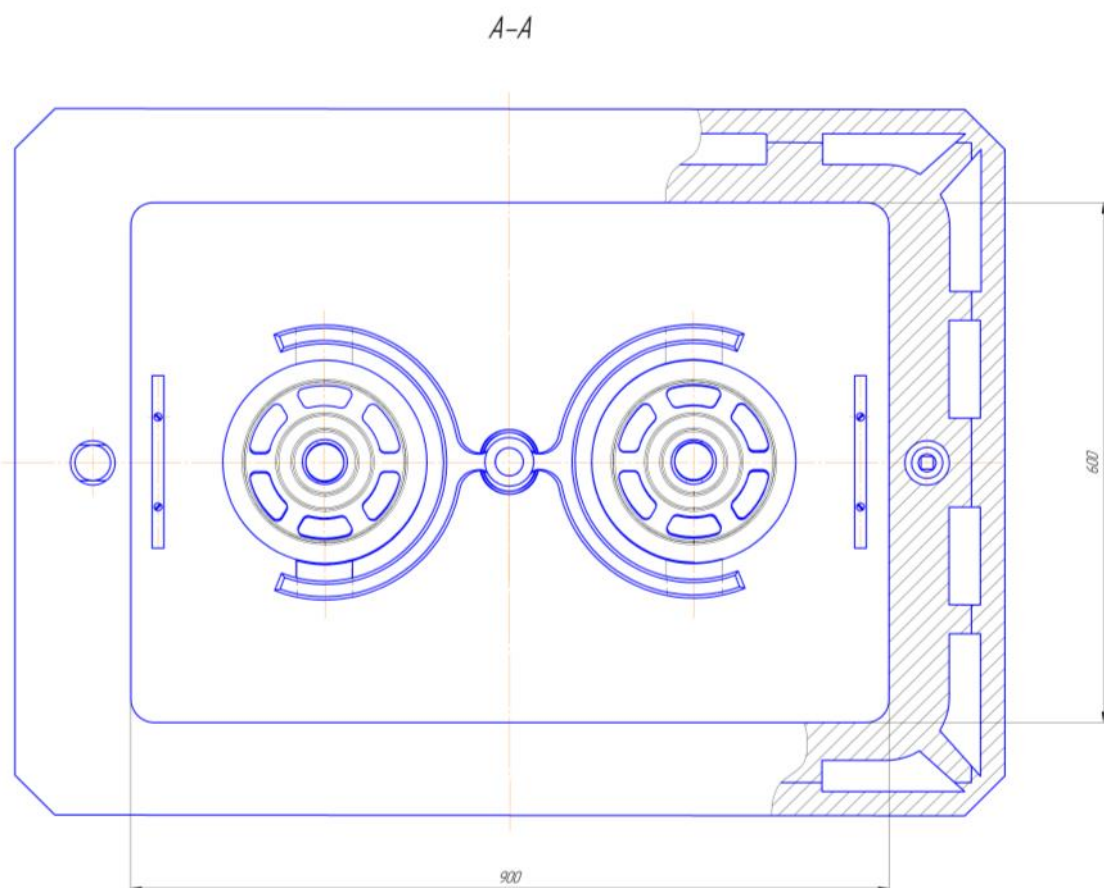
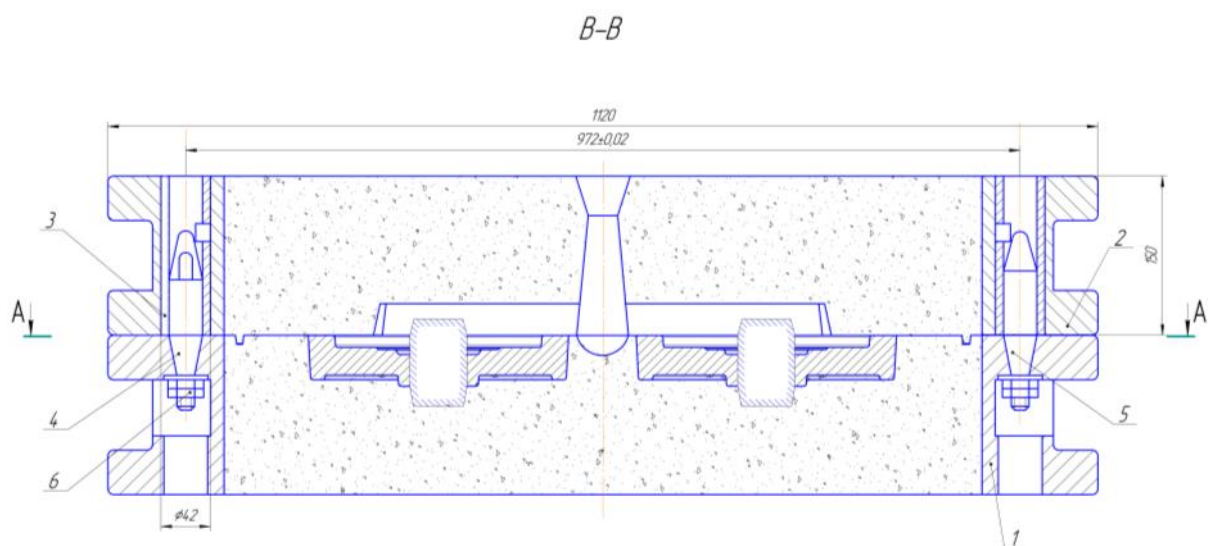
Розміри стержнів визначають з урахуванням припусків на механічну обробку та усадку. Розміри стержневих знаків вибирають згідно з ДСТУ 2817-94. Залежно від номінального розміру отвору і співвідношення його довжини вибирають вертикальні знаки довжиною 16 мм.

Зазори між знаками і формою обирають відповідно до максимальної величини стержня. Для горизонтальних знаків бокові зазори становлять 0,1 мм, а торцеві — 0,2 мм.

2.3 Побудова ливарної форми

Побудова ливарної форми є одним з ключових етапів процесу виготовлення виливків. Правильно сконструйована форма забезпечує отримання відливки з необхідними геометричними параметрами, структурною однорідністю та мінімальним рівнем литєвих дефектів. У залежності від конструкції виливка, вимог до його якості та використовуваного формувального матеріалу, вибирають відповідний тип форми, способи її побудови, а також розташування елементів живлення та вентиляції.

Одним із важливих конструктивних етапів є визначення лінії роз'єму форми. Вона повинна проходити по найбільш зручній для формування площині, дозволяючи легко та без пошкоджень вилучити модель із форми після формування. Зазвичай роз'єм розташовують по осі симетрії або по лінії найбільшого перерізу виливка. Це сприяє зниженню ймовірності зсуву половин форми та дефектів при заливці.



У формах складної конфігурації часто використовують стрижні, що вставляються у форму для утворення внутрішніх отворів, порожнин або виступів. Стрижні виготовляють з більш газопроникної суміші, часто із застосуванням органічних або неорганічних зв'язувальних речовин. Вони повинні бути точно закріплені у формі, щоб забезпечити відповідність їх положення кресленню відливка.

Наступним етапом є формування ливникової системи, яка включає в себе:

- ливникову чашу — для приймання металу та зменшення його турбулентності;
- стояки — вертикальні канали, що подають метал у порожнину форми;
- розгалуження та підвідні канали, які рівномірно розподіляють розплав по формі;
- живильники (прибавки) — призначені для компенсації усадки металу при його кристалізації.

Також конструкція форми повинна передбачати систему вентиляції, яка дозволяє виводити гази, що утворюються під час заливки. Вентиляційні канали, пористість формувального матеріалу та зазори у формі повинні бути спроектовані так, щоб уникнути утворення газових раковин і непроварів.

Особливу увагу слід приділити механічній міцності та термостійкості формувальної суміші. Вона повинна витримувати тиск і температуру рідкого металу, не деформуючись та не руйнуючись під час заливки.

На завершальному етапі форма збирається: нижня і верхня півформи точно суміщаються, вставляються стрижні, перевіряється герметичність з'єднань. Лише після цього форма переходить до етапу заливки, де вона заповнюється розплавленим металом. Якість побудови форми прямо впливає на точність геометричних розмірів, чистоту поверхні та міцність готового виливка.

2.3.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.

Для виготовлення відливка «Шків» використовується автоматизована ливарна лінія італійської фірми Savelli (рис. 8). На цій лінії повністю автоматизовано весь технологічний процес: від формування форми до вибивання готового відливка із форми. Розмір опоки в світлі становить 900×600 мм, при цьому висота верхньої опоки дорівнює висоті нижньої — 150 мм. Для формування відливка застосовуються односторонні модельні плити: на одній з них змонтовані частини моделі, що відповідають за оформлення нижньої частини форми, а на

іншій — частини моделі для формування верхньої половини.

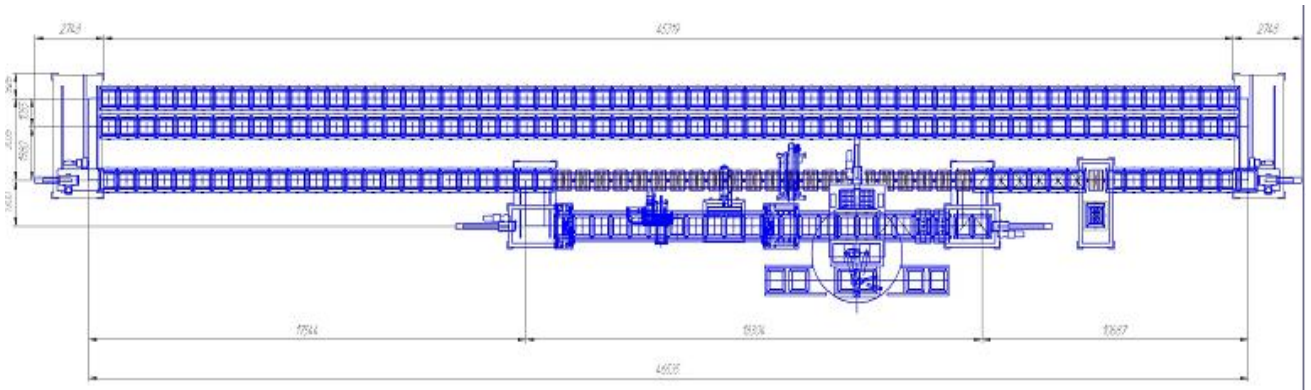


Рисунок 8 – Автоматична лінія фірми Savelli

Після завершення процесу заливки форм і витримки відливків у режимі охолодження, повний комплект опок піднімається та переміщується спеціальним механізмом до наступної стадії. Потім ком з відливком проштовхується за допомогою циліндра до вібраційного столу, на якому відливка очищується від формувальної суміші. Готовий відливок транспортується вибивним конвеєром далі на пластинчатий конвеєр, де відбувається його остаточне охолодження та переміщення до наступних технологічних операцій.

Порожня опока знову встановлюється на теліжку і за допомогою транспортного пристрою повертається на початкову лінію. Верхня опока проходить процес очищення і розпарювання, після чого вона переміщується поперечно, а потім піднімається до рівня формувальної лінії за допомогою електромеханічного пристрою EI-Mec. Після підняття рамка повертається у вихідне положення. Аналогічна процедура виконується з нижньою опокою, яка також за допомогою EI-Mec переміщується до потрібної позиції.

Далі опоки проходять очищення за допомогою спеціальних щіток і шаблонів для видалення залишків формувальної суміші та перевірки відповідності форми. Після цього опока потрапляє до формувальної машини, де відповідна опора моделі з рамкою Formipress® та змонтованою моделлю піднімається до контакту з опокою. Попередньо відміряна кількість формувальної суміші подається з дозувального пристрою через рухомий шибєр і рівномірно висипається у форму. Багатопоршнева голівка переміщується і здійснює ущільнення суміші методом

Formimpress®: модель притискає суміш знизу, а голівка – зверху, забезпечуючи рівномірне ущільнення.

Основні переваги ущільнення методом Formimpress® полягають у наступному:

- відсутність потреби у використанні дорогого стисненого повітря;
- відсутність необхідності в ізоляції між заповнювальною рамкою і опокою;
- відсутність динамічних навантажень на фундамент у процесі пресування;
- високий коефіцієнт використання моделі та мінімальні зазори між стінками опоки;
- здатність працювати з широким діапазоном параметрів формувальної суміші в порівнянні з іншими способами ущільнення;
- легке відділення моделі після ущільнення завдяки рамці Formimpress®;
- значна економія електроенергії;
- просте встановлення, регулювання і обслуговування обладнання;
- підвищений рівень безпеки експлуатації;
- точне і надійне запирання форми.

Для відокремлення сформованої опоки від моделі рамка Formimpress® піднімається, а стіл машини опускається до контакту опоки з роликівим конвеєром. Потім стіл опускається ще нижче, і опора моделі встановлюється на поворотний стіл формувальної машини. Поворотний стіл робить оберт на 180°, після чого протилежна опора моделі переміщується у формувальну позицію. Одночасно відбувається подача наступної опоки, і процес повторюється.

Після формування всі опоки надходять на копнувач, де вони перевертаються на 180°. На наступних технологічних ділянках видаляються залишки формувальної суміші з другої сторони опок, пробиваються вентиляційні отвори, а ливникова чаша фрезерується спеціальним обладнанням.

Далі можлива ручна обробка: верхні опоки перевертаються на 180°, потім відповідний пристрій встановлює нижню опоку до верхньої, після чого обидві

опоки замикаються для підготовки до заливки. Після заливання розплавленого металу опоки поперечно переміщуються на охолоджувальні гілки за допомогою передаточної теліжки. З іншого кінця лінії охолоджені форми переводяться на лінію повертання палет. При подальшому кроковому переміщенні опоки доходять до пристрою для вибивання відливків.

Важливо враховувати втрати температури чавуну під час випуску з плавильної печі та транспортування, щоб правильно встановити температуру заливки. Для ВЧ 450-10, при середній товщині стінки 25 мм і з урахуванням теплових втрат, рекомендована температура заливки становить 1280–1320 °С.

Під час заливання форми слід уважно стежити за рухом розплавленого металу із ковша у форму. На початку заливки ківш необхідно повертати плавно, без різких рухів, проте досить швидко, щоб забезпечити повне заповнення ливникової системи та ливникової чаші.

Після заливання відливок охолоджується і затвердіває, пересуваючись разом з формою по рольгангам від ділянки заливки до ділянки вибивки. За цей час у матеріалі відливка завершується весь процес фазових перетворень. Вибивання чавунних відливків здійснюється при температурі приблизно 200 °С.

Охолоджені форми надходять на ділянку вибивання, де відливки вивільняються з форми на спеціальному обладнанні, що поєднує прес і вібраційну решітку. Опоки автоматично знімаються зі столу ливарного конвеєра штовхачем, а прес руйнує спресовані грудки суміші на вібраційній решітці, після чого суміш направляється по лотку на транспортер.

Відливки потрапляють у барабан для остаточного відділення від формувальної суміші, після чого транспортуються на пластинчатий конвеєр і направляються до очисного відділення для видалення забруднень, обрізки ливникових систем і подальшої обробки.

Перед очищенням відливки проходять зовнішній огляд, і бракувані екземпляри вилучаються з технологічного процесу. Технологія очищення включає:

- видалення стержнів із відливків;
- відсічення ливникових залишків і випарів;

- очищення поверхні відлиплої формувальної суміші;
- остаточний контроль якості після очищення та обрізки.

Обробка поверхонь відливків здійснюється за допомогою абразивних кругів на стаціонарних обдирочно-зачисних станках, щоб усунути заливи, заусениці, перекуси і нерівності.

Контроль якості виконують працівники відділу технічного контролю (ВТК) цеху. Після усунення виявлених дефектів здійснюється повторна перевірка якості. Для запобігання корозії під час зберігання і механічної обробки відливки піддаються ґрунтуванню.

Перед фарбуванням деталі промивають у двокамерній мийній машині і сушать теплим повітрям. Потім вони занурюються у ґрунтовочну ванну і висушуються у спеціальній камері при температурі 60 °С протягом 10 хвилин. Після завершення фарбувальних операцій відливки відправляють на склад готової продукції.

2.3.2 Визначення габаритних розмірів опоки.

Розміри опок у ливарному процесі визначаються комплексом факторів, серед яких ключову роль відіграє конструкція автоматичної ливарної лінії, геометричні параметри самого відливка, кількість відливків, які планується отримати в межах однієї опоки, розміри ливникової системи, а також правильність розташування моделей на підмодельній плиті.

Коректність розміщення моделей на підмодельній плиті для заданих габаритів опок оцінюється за допомогою коефіцієнта металоємності. Цей коефіцієнт є відношенням загальної маси металу, що входить до складу форми, до сумарної ваги формувальної і стержнєвої мас опоки. Значення металоємності безпосередньо залежить від складності конструкції відливка, товщини його стінок та габаритних розмірів. Зазвичай цей показник варіюється в діапазоні 0,25...1,2.

Відстань між окремими моделями в опоці встановлюється на основі висоти моделі (позначеної як h), яка враховується як у верхній, так і у нижній напівформі. При цьому враховується простір від верхньої поверхні моделі до верху форми, а

також від нижньої поверхні моделі до низу форми. Якщо у межах однієї опоки формують декілька відливків, які заливаються через спільну ливникову систему, то мінімальна відстань між моделями у площині роз'єму має бути не більше 20–25 мм.

Щодо зазорів між відливком та стінками опоки, вони повинні складати від 50 до 100 мм, тоді як відстань від стержньового знаку до бокової стінки опоки рекомендується утримувати в межах від 0 до 50 мм. Висота зазорів між моделлю і верхньою та нижньою площинами опоки зазвичай коливається від 60 до 120 мм [4].

Беручи до уваги, що для виготовлення відливка використовується автоматизована ливарна лінія італійської компанії Savelli S.P.A. з габаритами опоки 900×600×150 мм, доцільно встановити кількість відливків в одній опоці на рівні 5 штук.

2.3.3. Вибір формувальної та стержньової суміші.

У процесах масового та серійного виробництва рекомендується застосовувати одну універсальну формувальну суміш для спрощення технології та підвищення стабільності якості. Для автоматизованої ливарної лінії фірми Savelli переважно використовується формувальна суміш із підвищеними показниками текучості, що забезпечує більш рівномірне та швидке заповнення форми. Детальний склад суміші, а також її механічні характеристики для формувальної та стержньової маси наведені у таблицях 1.3 та 1.4 відповідно.

2.3.4 Формовка.

Під формувальною лінією розташовані стрічкові конвеєри, які виконують збір формувальної суміші, що просипається під час процесу. Ці конвеєри транспортують суміш до вибивної решітки, де відбувається відділення відливків від формувальної маси. Після вибивки суміш збирається і подається на нахилений стрічковий конвеєр, який транспортує її на більш високий рівень до іншого стрічкового конвеєра. Останній направляє суміш на полігональне сито, де відбувається подрібнення великих грудок і комків. Відфільтрована суміш збирається у проміжний бункер, розташований безпосередньо під ситом.

З проміжного бункера суміш переміщується за допомогою реверсивного стрічкового конвеєра до охолоджувача, який підтримує температуру суміші приблизно на 20 градусів Цельсія вище за температуру навколишнього середовища. Охолодження відбувається завдяки розпиленню води на поверхню суміші, а також продуванню повітрям (аерація). Вологість та температура суміші постійно контролюються за допомогою датчиків, щоб забезпечити оптимальні умови для подальшого використання. Рівень вологості суміші на виході не повинен перевищувати 2-3%.

Після цього суміш транспортується стрічковим конвеєром до спеціального бункера для зберігання. Перед подачею суміші до змішувача відбувається її додаткове зволоження до необхідного рівня, а також контрольна зважування. Після змішування готова формувальна суміш транспортується до бункера, з якого подається безпосередньо на формувальний автомат.

Усі стрічкові конвеєри обладнані аварійними тросами, безпечними мостиками та захисними ковпаками у відповідних місцях для забезпечення безпеки роботи. Для захисту стрічкових конвеєрів і запобігання потраплянню металевих включень у суміш встановлені магнітні сепаратори та спеціальні шківни.

Щодо виготовлення стержнів, через те, що їх маса не перевищує 10 кг, використовується універсальний стержньовий автомат моделі 4509 С. Стержні виготовляються у гарячих ящиках із швидкотвердіючих термореактивних сумішей, що значно підвищує точність вироблених стержнів, а відповідно й якість та точність кінцевих відливків.

2.4.5 Збирання форм.

Точність, з якою здійснюється збірка форми, відіграє ключову роль у забезпеченні точності геометричних параметрів готового відливка. Висока якість складання напряму впливає на відповідність розмірів, форму та загальну якість виробу. Процес збірки форми включає в себе комплекс послідовних операцій, що виконуються для правильного і точного поєднання усіх складових частин форми.

Основні етапи робіт по збиранню форми включають: збирання форми та складання верхньої та нижньої опок.

2.4 Плавлення і підготовка металу

2.4.1 Заливання форми.

Під час процесу лиття важливо дотримуватись оптимального температурного режиму, який для чавуну при заливці повинен знаходитися в межах 1320–1370 °С. Сам процес заливки може здійснюватися як у нерухомі, так і в переміщувані форми, залежно від специфіки виробництва та типу ливарної оснастки.

Розплавлений чавун транспортується із міксера до спеціального заливального ковша барабанного типу об'ємом до 2 тонн. Цей ківш перед використанням попередньо підігривають, після чого за допомогою мостового крана встановлюють на спеціалізований роздавальний стенд, з якого надалі метал рівномірно розподіляється у менші ковші для безпосередньої заливки.

Безпосередньо для заливки використовують конічні ковші місткістю 250 кг. Перед тим як почати заливку, необхідно ретельно видалити шлакові залишки з поверхні металу в ковші, щоб уникнути включень у відливках, які можуть погіршити їхню якість.

Під час заливки ківш з металом акуратно підводять до форми, встановлюючи його носик на відстані приблизно 150–200 мм над ливниковою чашею. Плавно, але впевнено заливають чашу, забезпечуючи швидке її заповнення, і підтримують рівень металу на постійному рівні до завершення процесу. При цьому дуже важливо уникати переливу — переповнення чаші не допускається, а допустиме зниження рівня може складати не більше ніж 20 мм. Заливання має бути безперервним, без зупинок, щоб уникнути утворення холодних швів у відливці.

Після завершення заливки всі залишки металу з ковша зливаються в спеціально підготовлені металеві форми для їх подальшої утилізації або повторного використання.

Вибір типу плавильного агрегату здійснюється з урахуванням характеру металу, що плавиться, обсягів виробництва, а також вимог до якості, структури та властивостей майбутніх відливок.

Ливникова система являє собою сукупність послідовно з'єднаних каналів, призначених для подачі розплавленого металу безпосередньо у порожнину форми. Від правильного проектування та параметрів цієї системи залежить якість відливка і ефективність заливального процесу.

Оптимальний час, протягом якого має відбуватися заливка металу у форму, визначається за спеціальною формулою, наведеною в літературі [1]. Ця формула враховує геометричні розміри ливникової системи, властивості розплаву, а також конструктивні особливості форми, щоб забезпечити рівномірне і безперебійне заповнення ливарної порожнини без утворення дефектів.

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 1,45$ [4];

δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 12$ мм;

C_1 – вага однієї відливки з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_g + 0,4 \cdot C_g \quad (2)$$

$$C_1 = 2 + 0,3 \cdot 2 = 2,6 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 1,45 \cdot \sqrt[3]{12 \cdot 2,6} = 4,2 \text{ сек}$$

Для розрахунку середньої швидкості підйому рівня розплавленого металу у ливарній формі застосовується спеціальна формула. Цей показник характеризує швидкість, з якою метал заповнює форму, що є важливим для забезпечення якісного лиття без дефектів, таких як холодні шви або раковини. Визначення середньої швидкості підйому металу допомагає оптимізувати процес заливки, забезпечуючи рівномірне і безтурбулентне заповнення форми. Формула враховує геометричні розміри форми, об'єм металу і час заливки.

$$V = \frac{C}{t}, \quad (3)$$

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{100}{4,2} = 20,2 \text{ мм / сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі.

2.4.2. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.

Для забезпечення ефективної подачі розплавленого металу у форму кожного відливка необхідно визначити загальну площу живильників. Цей параметр характеризує сумарну площу перерізів всіх живильних каналів, через які метал надходить до порожнини форми. Від правильно розрахованої площі живильників залежить рівномірність заливки, запобігання утворенню дефектів, таких як раковини чи порожнечі, а також загальна якість відливка. Загальна площа живильників визначається з урахуванням розмірів відливка, властивостей розплаву та особливостей ливарного процесу.

$$\sum F_{жс} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \quad (4)$$

де G – вага одного відливка, з ливниками і т.п., кг;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,5$ [1];

g – прискорення вільного падіння, м/сек²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Для розрахунку середнього метало статичного тиску, який діє на стінки форми під час заливки, використовуємо спеціальну формулу. Цей тиск є важливим показником, що характеризує механічне навантаження на форму від маси і руху розплавленого металу. Визначення середнього метало статичного тиску дозволяє правильно підібрати матеріали і конструктивні параметри форми, забезпечуючи її міцність і надійність у виробничому процесі. Формула для розрахунку враховує густину металу, висоту металевого стовпа та прискорення вільного падіння.

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{c}; \quad (5)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 140$ мм;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 40$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 80$ мм.

$$H_p = 140 - \frac{40^2}{80} = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{2,6 \cdot 1000}{0,5 \cdot 4,2 \cdot 7,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12}} = 11,2 \text{ см}^2$$

Для живильника форму поперечного перерізу вибираємо трапецієподібну конфігурацію. Це дозволяє оптимально поєднати ефективність проходження розплавленого металу з необхідністю затримувати шлак, що утворюється під час заливки.

Наступним кроком є розрахунок площі шлаковловлювача — спеціальної ділянки живильника, призначеної для збору та утримання шлакових включень, щоб вони не потрапляли у форму і не призводили до дефектів відливка.

Площа шлаковловлювача визначається виходячи з геометричних параметрів трапеції, яка є формою перерізу живильника. Формула для площі трапеції використовується для розрахунку цього значення, що є важливим для забезпечення ефективного очищення металевого потоку.

$$\sum F_{жсаг} : \sum F_{ш} : \sum F_{ст} = 1 : 1,3 : 1,4 \quad (6)$$

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жсаг} \cdot 1,3 = 3,5 \cdot 1,3 = 13,8 \text{ см}^2$$

Для визначення площі поперечного перерізу стояка необхідно врахувати геометричні параметри його перетину, які впливають на пропускну здатність і якість подачі розплавленого металу до форми. Площа поперечного перерізу стояка визначає об'єм металу, який може проходити за одиницю часу, і відіграє ключову роль у запобіганні турбулентності та утворенню дефектів у відливках.

$$F_{ст} = \sum F_{ш} \cdot 1,2 \quad (7)$$

$$F_{ст} = 3,42 \cdot 1,2 = 4,1 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4} \quad (8)$$

Діаметр стояка є одним із ключових параметрів у конструкції ливарної системи, який визначає розмір перетину стояка у випадку круглої форми. Від правильного вибору діаметра залежить ефективність подачі розплавленого металу, запобігання виникненню турбулентних потоків і можливих дефектів у готовому виробі. Розрахунок діаметра стояка здійснюється з урахуванням технологічних вимог, пропускної здатності і гідродинамічних характеристик металевого потоку.

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}} \quad (9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{8 \cdot 4,1}{3,14}} = 3,23 \text{ см}$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35$ мм.

Для подальшого розрахунку технологічної системи необхідно визначити діаметр чаші — важливого елемента ливарної форми, який відповідає за прийом і розподіл розплавленого металу перед подачею у живильник. Правильний вибір діаметра чаші забезпечує оптимальний об'єм металу, що надходить, і сприяє рівномірному заповненню форми без утворення дефектів. Визначення діаметра чаші виконується на основі геометричних і технологічних параметрів системи заливки.

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm.г} \quad (10)$$

$$D = 3 \cdot 35 = 105 \text{ мм}$$

2.5 Охолодження та вибивання

Час охолодження: 1–3 години. Вибивання – механічне (вібраційне) або ручне. Залишки формувальної суміші видаляються вручну або в установках

Після завершення процесу заливки та охолодження, форми спрямовуються до вибивного пристрою. Коливальні рухи решітки передаються на формувальну суміш і відливки, в результаті чого суміш ефективно розпушується, проходить крізь отвори решітки та надходить на подальше перероблення. Відливки при цьому переміщуються на пластинчастий транспортер, де остаточно охолоджуються, після

чого направляються у галтувальний барабан. У цьому барабані відливки звільняються від елементів ливникової системи.

Наступним етапом є обробка у прохідній дробеметній установці, де з поверхні виробів видаляється пригар. Після дробеметної очистки відливки направляють на зачистку, де за допомогою наждачних верстатів усуваються задирки та нерівності.

Після механічної обробки відливки надходять на контрольну дільницю, де проходять як проміжний, так і фінальний контроль якості. На цьому етапі перевіряють відповідність хімічного складу, внутрішньої структури та геометричних параметрів технічним вимогам. Оцінка стану поверхні здійснюється візуально для виявлення можливих дефектів.

2.6 Очищення та контроль якості

Після завершення процесу охолодження та кристалізації металу ливарну форму розламують і витягують готовий вилівок. Наступним етапом є очищення вилівки від залишків формувальної суміші, стрижнів, ливникових елементів і шлакових нашарувань. Цей процес є важливим для подальшого контролю якості виробу та його підготовки до механічної обробки або експлуатації.

Очищення здійснюється у декілька етапів:

Механічне видалення залишків форми. Вилівки зазвичай очищають шляхом вибивання залишків піску та видалення стрижнів, які могли залишитися у внутрішніх порожнинах. Для цього використовують вібраційні установки, гідропікоструминне очищення або дробоструминну обробку. При необхідності проводиться ручне очищення щітками, зубилами чи пневмоінструментом.

Відсічення ливникової системи та прибавок. Ливники, стояки та прибавки обрізають за допомогою газорізки, абразивних кругів або спеціального обладнання для термічного відділення металу. Місця зрізу додатково зачищають для досягнення відповідної чистоти поверхні.

Шліфування та defeкація. Поверхню виливка шліфують з метою видалення припливів, натічок, задилок та інших нерівностей. Після шліфування проводять зовнішній візуальний огляд виливка з метою виявлення тріщин, раковин, пористості та інших поверхневих дефектів.

Контроль якості виливків виконується з метою впевненості в їх придатності до експлуатації або подальшої обробки. Він включає як візуальні, так і інструментальні методи перевірки:

Візуально-оптичний контроль – визначення наявності зовнішніх дефектів: тріщин, раковин, підрізів, відшаровувань та окалини.

Контроль геометричних параметрів – вимірювання основних розмірів (довжини, діаметри, товщина стінок тощо) за допомогою штангенциркулів, шаблонів або координатно-вимірювальних машин. Порівняння проводиться згідно з кресленням та допустимими відхиленнями.

Ультразвукова дефектоскопія – застосовується для виявлення внутрішніх тріщин, раковин, газових включень. Метод дозволяє оцінити глибину і характер дефекту без руйнування виробу.

Рентгенографія або гаммаграфія – неруйнівний контроль внутрішньої структури виливка, з високою точністю виявляє порожнини, неметалеві включення та розшарування.

Металографічний аналіз – проводиться у випадку потреби у визначенні структури металу, розміру зерен, кількості та розподілу графіту (особливо актуально для високоміцного чавуну).

Механічні випробування – зразки відливок піддаються випробуванням на розтяг, твердість, ударну в'язкість, згідно з вимогами стандартів (наприклад, ДСТУ EN 1563 для ВЧ-чавунів).

Усі виявлені дефекти класифікуються за характером, місцем виникнення, критичністю і можливістю усунення. Відповідно до результатів контролю, виливки поділяються на придатні до подальшої обробки, такі, що підлягають ремонту, та браковані.

2.6 Проектування ливарної оснастки

Основою ливарної форми є модельна оснастка, яка відтворює зовнішні контури майбутнього виливка. Модель виготовляється з урахуванням ливарних припусків, уклонів, компенсацій на усадку металу, а також необхідних технологічних елементів – стояків, випарників, напусків тощо. Форма поділяється на дві основні частини – верхню (кришку) та нижню (піддон). У деяких випадках застосовуються вставки, рознімні елементи, ядра або стрижні, що створюють внутрішні порожнини у виливку.

У умовах великосерійного та масового виробництва для підвищення довговічності модельного оснащення доцільно використовувати моделі з металу. Заготовки таких моделей отримують литтям у піщані форми за дерев'яними шаблонами – промоделями. Промоделі виготовляються з урахуванням припусків на механічну обробку як самих моделей, так і майбутніх відливок, а також з поправкою на усадку моделювального сплаву. Як матеріал моделей застосовується сірий чавун марки СЧ 20. Остаточну обробку моделей виконують вручну, а припуск на механічну обробку становить 1 мм. Товщину тіла моделі визначають за номограмами, враховуючи її габарити. Оскільки розміри відливка невеликі, модель виготовляється суцільною.

Після механічної обробки моделі закріплюють на попередньо підготовлених промодельних плитах. Монтаж напівмоделей проводиться з урахуванням габаритів опок. З огляду на розмір опоки у світлі 900×600 мм, обидві моделі розміщуються на плиті так, щоб відстань від краю моделей до межі плити становила не менше 300 мм. Елементи ливникової системи монтуються відповідно до конструкторської документації, а кріплення моделей і ливникової системи здійснюється за допомогою заклепок.

Під час встановлення моделей застосовують монтажний шаблон з листової сталі товщиною 2...5 мм. Модельні плити виготовляють із конструкційної сталі, товщина яких складає 40 мм, що забезпечує їхню міцність під час формування. Робочі поверхні плит повинні бути обробленими.

На підготовлену плиту укладають монтажний шаблон, розміщують напівмоделі та свердлять отвори для їхнього закріплення. Напівмоделі відіграють роль кондукторів, тому отвори свердляться одночасно у моделі та плиті. Потім одна з плит слугує шаблоном для свердління другої. Напівмоделі фіксуються до плит за допомогою гвинтів. Далі встановлюються елементи ливникової системи: на плиту нижньої напівформи монтуються моделі живильників, а на верхню – моделі шлаковловлювачів.

Підмоделльні плити повинні мати елементи центрирування для точного суміщення з опоками: на одній плиті розміщують центруючі та направляючі штирі, на іншій — відповідні отвори. Кріплення плит на формувальному обладнанні здійснюється болтами.

Для виготовлення стержнів способом піскострільного формування використовується алюмінієвий стержневий ящик. Його заготовку отримують шляхом лиття у піщані форми за дерев'яною моделлю. При проектуванні враховують усадку алюмінієвого сплаву (1,25%) та припуск на механічну обробку, що становить 0,4 мм. Товщина стінок ящика визначається за габаритами згідно з номограмами [16] і дорівнює 10 мм. За цими ж таблицями встановлюються значення товщини ребер жорсткості (10 мм) і радіуса галтелей (5 мм).

Стержневий ящик виготовляється за необхідними розмірами та піддається остаточній обробці. Поверхні роз'єму шліфуються для забезпечення щільного з'єднання половин ящика. З'єднання частин здійснюється за допомогою напрямних штирів.

Для забезпечення якісного формування стержнів та запобігання виникненню повітряних включень у їх структурі, у конструкції стержневого ящика передбачаються вентиляційні канали — венти. Вони необхідні для ефективного видалення повітря і газів, які утворюються в процесі заповнення порожнини ящика піскосумішшю. Розміщення і кількість вентів залежать від об'єму стержня, типу використовуваної суміші, габаритів стержневого ящика та особливостей конфігурації стержня.

Розрахунок параметрів вентів виконується згідно з емпіричним співвідношенням, яке враховує об'ємну подачу суміші, швидкість її заповнення, а також ступінь газовиділення.

Отримане значення площі розподіляється між необхідною кількістю отворів, які рівномірно розташовуються по площині роз'єму ящика, з урахуванням найбільш ймовірних зон накопичення повітря.

Зазвичай діаметр одного вентиля становить 2...3 мм, а їх кількість підбирається так, щоб забезпечити вільне відведення повітря по всій площі стержневого ящика без утворення замкнених зон.

$$\frac{F_{вент}}{F_{вд.отв.}} = 0,1 \div 0,9, \quad (11)$$

де $F_{вент}$ – сумарна площа вент;

$F_{вд.отв.}$ – сумарна площа вдувних отворів

$$F_{вент} = 0,4 \cdot F_{вд.отв.}$$

$$F_{вд.отв.} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{вент} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа одного вентиляційного отвору при діаметрі 6 мм становить приблизно 28 мм². Виходячи з цього, для ефективного видалення повітря під час заповнення стержневого ящика формувальною сумішшю необхідно передбачити не менше 8 вентиляційних каналів на один вдувний отвір діаметром 31 мм. Така кількість вентів забезпечує безперешкодне відведення повітря з порожнини форми та сприяє формуванню щільного, однорідного стержня без внутрішніх порожнин і дефектів. Для підвищення ефективності вентиляції рекомендовано застосовувати щілинні прорізи замість традиційних круглих отворів, оскільки вони забезпечують більшу площу пропуску при меншій товщині перерізу, що покращує відведення газів і знижує ймовірність закупорювання.

У технологічному розділі дипломного проєкту було розроблено повноцінну технологію виготовлення вилівка типу "Шків". Здійснено всебічний аналіз конструктивних особливостей деталі та визначено основні вимоги до її литої

заготовки. На основі отриманих даних було сформовано оптимальний маршрут технологічного процесу виготовлення виливка, розроблено та розраховано параметри ливникової системи з урахуванням специфіки обраного матеріалу — високоміцного чавуну ВЧ 450-10. Крім того, детально описано послідовність операцій лиття, особливості проектування модельно-стержневої оснастки, а також засоби контролю якості готових виливків, включаючи методи візуального, геометричного та структурного контролю.

Висновки до розділу

Запропонована технологія лиття забезпечує виготовлення виливків із високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 з високою точністю геометричних розмірів, відмінною якістю поверхні та стабільними механічними властивостями, що повністю відповідають технічним вимогам до деталей, які працюють в умовах значних навантажень. Горизонтальне положення виливка у формі, а також раціональна конструкція ливникової системи сприяють зменшенню ймовірності виникнення дефектів, таких як усадкові раковини, пористість та тріщини, що особливо критично для високоміцного чавуну.

Використання піщано-глинястих форм із правильно встановленими стрижнями забезпечує високу точність формування внутрішніх порожнин, а оптимальні параметри вологості та газопроникності формувальної суміші гарантують якісне заповнення форми розплавом без утворення газових включень. Температурний режим заливки, відповідний властивостям ВЧ 450-10, сприяє рівномірному твердненню металу і формуванню однорідної структури, що підвищує експлуатаційну надійність виливка.

Таким чином, запропонована технологія є ефективною для серійного виробництва високоякісних деталей із високоміцного чавуну, що забезпечує оптимальне співвідношення між технічною якістю та економічною доцільністю литтєвого процесу.

3. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИЛИВКА "ШКІВ" З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ МАРКИ ВЧ 450-10 У ПІЩАНО-ГЛИНЯСТУ ФОРМУ

Процес виготовлення виливків з високоміцного чавуну, зокрема деталі типу "Шків", є складним і включає низку потенційно небезпечних операцій. Дотримання вимог техніки безпеки є обов'язковою умовою для забезпечення безаварійної роботи, збереження життя та здоров'я працівників, а також запобігання аваріям і пошкодженню обладнання.

1. Загальні вимоги безпеки

До роботи допускаються лише особи, які пройшли спеціальне навчання, інструктаж з охорони праці та медичний огляд.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): захисними костюмами з вогнетривких матеріалів, захисними окулярами, рукавицями, спецвзуттям і касками.

На ділянках ливарного виробництва має бути встановлено належне загальнообмінне та місцеве витяжне вентиляційне обладнання для видалення пилу, газів і випарів.

Робочі місця повинні бути добре освітленими та обладнаними знаками безпеки.

2. Безпека при підготовці формувальної суміші

У процесі приготування піщано-глинястої суміші необхідно уникати попадання пилу в дихальні шляхи – обов'язкове використання респіратора.

Забороняється працювати з несправними мішалками або дозувальним обладнанням.

Перевірка робочого стану обладнання повинна проводитися перед початком змішування.

3. Безпека при формуванні та виготовленні форми

При виготовленні ливарних форм слід уникати перевантаження формувальних машин.

Знімання моделей та збирання форм повинно виконуватись акуратно, без різких ударів, щоб уникнути розтріскування форми.

Всі операції з підйомом важких елементів (наприклад, верхніх півформ) виконуються за допомогою підйимально-транспортного обладнання.

4. Безпека при плавленні та заливанні чавуну

Перед заливанням металу форми повинні бути ретельно висушені, оскільки наявність вологи може викликати вибух через швидке випаровування води.

Забороняється заливати метал у тріснуту або пошкоджену форму.

При заливанні металу працівники повинні знаходитися на безпечній відстані від ковша і бути в повному ЗІЗ.

Обов'язково проводиться контроль температури металу перед заливкою, щоб запобігти недостатній текучості або перегріванню.

5. Охолодження та вибивка виливків

Вибивка виливків проводиться лише після їх достатнього охолодження. Робота з гарячими деталями без належного охолодження заборонена.

При вибивці слід уникати потрапляння уламків форми чи піску в очі — обов'язкове використання захисних окулярів.

Усі механізми, що використовуються для вибивання, повинні бути справними та регулярно оглядатися.

6. Очищення, обрубка та контроль якості

Роботи, пов'язані з обрубкою литників і зачисткою поверхні виливка, виконуються з використанням захисного одягу, рукавиць і щитка або окулярів.

При роботі з шліфувальними машинками або дробометними установками слід захищати органи слуху, зору та дихання.

Стан інструменту та обладнання повинен регулярно перевірятися на предмет справності.

7. Пожежна та електробезпека

На ливарній дільниці мають бути встановлені первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, пісок, азбестові покривала.

Електрообладнання повинно мати заземлення, бути герметичним і відповідати умовам роботи в запиленому та гарячому середовищі.

При виявленні загоряння або короткого замикання необхідно негайно припинити роботу й повідомити відповідну службу.

8. Надання першої допомоги

Працівники повинні знати порядок дій у разі термічних опіків, ураження електричним струмом, травм під час переміщення вантажів тощо.

На кожній зміні повинен бути відповідальний працівник, який володіє навичками надання першої домедичної допомоги.

Аптечка має бути доступною, укомплектованою згідно з нормами та регулярно перевірятись.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз конструкції деталі типу «Шків» та обґрунтовано доцільність виготовлення її методом лиття у піщано-глинясту форму з високоміцного чавуну ВЧ 450-10.
2. Досліджено властивості чавуну ВЧ 450-10: встановлено, що куляста форма графіту забезпечує підвищену міцність, пластичність і в'язкість, що важливо для елементів, які працюють під змінними навантаженнями.
3. Обрано раціональний склад формувальної та стержневої сумішей, що забезпечує необхідну газопроникність, міцність і термостійкість під час заливки металу.
4. Розроблено модельну оснастку, підібрано оптимальну орієнтацію вилівка у формі, розраховано параметри ливникової системи з урахуванням усадочних процесів.
5. Визначено шихтовий склад та виконано матеріальний баланс на 1 тону придатного литва, що дозволяє мінімізувати втрати металу й оптимізувати витрати ресурсів.
6. Запропоновано використання індукційної тигельної печі ПЧТ-10,0 та автоматичної формувальної лінії Savelli для підвищення якості й продуктивності виготовлення вилівоків.
7. Обґрунтовано вибір допоміжного обладнання (очисні барабани, спектрометри, системи аспірації) для забезпечення безперебійної роботи ливарної дільниці.
8. Результати роботи можуть бути впроваджені у виробництво та використані для оптимізації лиття деталей аналогічної конструкції з високоміцного чавуну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / Укл.: О.В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 42 с.
2. ГОСТ 7293-85 — Чавуни з кулястим графітом. Технічні умови.
3. ДСТУ EN 1563:2018 — Чавун з кулястим графітом. Класифікація.
4. ДСТУ 2770-94 — Чавуни ливарні. Терміни та визначення.
5. ISO 1083:2018 — Spheroidal graphite cast irons — Classification.
6. ГОСТ 1412-85 — Чавун ливарний. Марки.
6. Глущенко А. І., Мартинюк А. М. Ливарне виробництво чорних металів. — К.: Вища школа, 2008.
7. Кириченко О. М., Ломако А. В. Основи технології конструкційних матеріалів. — ХНУРЕ, 2019.
8. Коструб О. М. Технологія лиття. — Тернопіль: ТНТУ, 2015.
9. Могильний В. І. Матеріалознавство: Ливарне виробництво. — К.: КНУТД, 2020.
11. Металл и литье Украины — №1–4, 2020–2024.
12. Металознавство та обробка металів, 2019–2024.
13. Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування — статті про ВЧ чавун.
14. Праці ДонНТУ. Серія: Металургія і матеріалознавство, 2023.
16. Олексієнко С. Ю. Дослідження впливу модифікування на властивості високоміцного чавуну. — Дисертація, ХНУРЕ, 2021.
17. Іваненко П. Л. Технологія формування литих заготовок зі шківів з ВЧ чавуну. — Дніпро: НМетАУ, 2019.
18. Ravi B. Metal Casting: Computer-Aided Design and Analysis. — Prentice Hall, 2005.
19. Campbell J. Castings. — Butterworth-Heinemann, 2015.

20. Stefanescu D.M. Science and Engineering of Casting Solidification. — Springer, 2009.
21. ASM Handbook. Vol. 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. — ASM International, 2000.
22. Technical Papers — American Foundry Society, 2018–2023.
23. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни Технологія конструкційних матеріалів — НТУУ КПІ, 2022.
24. Методика проектування ливарного виробництва. — ТНТУ, 2021.
25. Матеріали кафедри «Металургія» ХНУРЕ / НМетАУ / КПІ — онлайн-доступ.
26. Справочник литейщика, Т. 1–2 / Под ред. Коровина А. П. — М.: Машиностроение, 1980.
27. Довідник з ливарного виробництва / За ред. А. М. Паламарчука — К.: Техніка, 2004.
28. Металознавчий довідник. — Львів: ЛПІ, 2006.
29. Литейные сплавы черных металлов, справочник / А. И. Дьяченко, 1998.
30. Формувальні та стрижневі суміші, Баранов М. Г. — М.: Металлургия, 1983.

ДОДАТКИ