

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри М та ЛВ
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2025 __р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського
машинобудування з розробленням процесу
виготовлення виливків із сталі та забезпеченням
зниження ливарного браку за ліквідаційними
явищами»**

**«Foundry complex of an agricultural machinery plant
with the development of a process for manufacturing steel
castings and ensuring a reduction in casting defects due to
liquidation phenomena»**

Виконав: здобувач вищої освіти 5-го курсу
групи ПМ-24Мз-1
Олександр ШЕВЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Керівник роботи:
к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК
(прізвище та ініціали)

Рецензент:
к.т.н., доц. Віктор ПУКАЛОВ
(прізвище та ініціали)

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	<u>Механіко-технологічний</u>
Кафедра	<u>Матеріалознавства та ливарного виробництва</u>
Рівень вищої освіти	<u>другий (магістерський)</u>
Галузь знань	<u>13 Механічна інженерія</u>
Спеціальність	<u>131 Прикладна механіка</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Прикладна механіка</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М та ЛВ

Олександр КУЗИК

« » 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шевченко Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків із сталі та забезпеченням зниження ливарного браку за ліквідаційними явищами

керівник роботи доц., к.т.н. Скрипник Олександр Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "4" 08 2025 року № 24-13

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи – завдання на дипломне проектування,

– матеріали переддипломної практики;

– державні стандарти та технічні нормативи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальна частина, технологічна частина, конструкторська частина

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

креслення відливка Кронштейн

підмодельна плита верха

підмодельна плита низу

стержневий ящик

форма в зборі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Скрипник О.В., доц.		
2	Скрипник О.В., доц.		
3	Скрипник О.В., доц.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Загальна частина	21.09.2025	
3	Розрахунки по технологічній частині	13.10.2025	
4	Креслення по технологічній частині	21.10.2025	
5	Наукова частина	7.11.2025	
6	Плакати по Науковій частині	17.11.2025	
10	Оформлення пояснювальної записки	12.12.2025	
11	Оформлення рецензії	16.12.2025	
12	Захист дипломного проекту	20.12.2025	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2025__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2025__ р.

Здобувач вищої _____ (Олександр ШЕВЧЕНКО)

освіти

(підпис)

АНОТАЦІЯ

ояснювальна записка викладена на 87 стор. друкованого тексту і містить 22 табл. та 14 рис.

Завданням даної кваліфікаційної роботи є організація роботи ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків із сталі та забезпеченням зниження ливарного браку за ліквідаційними явищами.

В першому розділі пояснювальної записки описано відділення ливарного цеху (плавильне, формувальне, стержньове, очисне, обрубне) і вибрано основні типи обладнання для виконання технологічних операцій.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі, розроблені технічні умови та технологія виготовлення виливка "Кронштейн", виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості виливків.

У науковій частині магістерської роботи наводиться теоретичне обґрунтування і експериментальне підтвердження придатності і доцільності використання методів попередження ліквідації в сталі, з позиції економічної придатності та отримання сталі 35Л з необхідними технологічними властивостями. Також у науковій частині роботи розкривається вплив швидкості охолодження, мікролегування, введення в розплав мікрохолодильників та рафінування, на сталь 35Л, механізм трансформації при цьому її властивостей, який ґрунтується на зупиненні ліквідаційних процесів при використанні позапічної обробки.

Об'єкт розробки – ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення виливків із сталі.

Предмет розробки – забезпеченням зниження ливарного браку за ліквідаційними явищами.

Результати проектування – виконано теоретичне обґрунтування і експериментальне підтвердження методів попередження ліквідації в сталі.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при попередження ліквідації в сталі, з позиції економічної придатності та отримання сталі 35Л з необхідними технологічними властивостями в умовах серійного та масового виробництва.

ОБЛАДНАННЯ, ВІДЛИВОК, ФОРМА, ЖИВИЛЬНИК, ПІДЖИВЛЮВАЧ, ПРИПУСК, СТЕРЖЕНЬ, ЗАЛИВКА, СПЛАВ, ФОРМІВНА СУМІШ, ЛІКВАЦІЯ, МІКРОЛЕГУВАННЯ, ШВИДКІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ

ABSTRACTS

The explanatory note is presented on a 87 page of printed text and contains 22 tables and 14 figures.

The objective of this qualification work is to organize the operation of the foundry complex of an agricultural machinery plant, developing a process for manufacturing steel castings and ensuring a reduction in casting defects due to liquidation phenomena.

The first section of the explanatory note describes the departments of the foundry (smelting, molding, core making, cleaning, trimming) and selects the main types of equipment for performing technological operations.

The second section provides an analysis of the part design, developed technical conditions and manufacturing technology for the “Bracket” casting, calculations for the pouring and feeding system, a description of the mold manufacturing technology, and

characteristics of materials, parameters, and methods of technical quality control for castings.

The scientific part of the master's thesis provides a theoretical justification and experimental confirmation of the suitability and expediency of using methods to prevent liquidation in steel, from the point of view of economic feasibility and obtaining 35L steel with the necessary technological properties. The scientific part of the thesis also reveals the influence of cooling rate, microalloying, the introduction of microcoolers into the melt, and refining on 35L steel, as well as the mechanism of transformation of its properties, which is based on stopping liquidation processes when using out-of-furnace treatment.

Development object – casting complex of an agricultural machinery plant with the development of a process for manufacturing steel castings.

Development subject – ensuring a reduction in casting defects due to liquidation phenomena.

Design results – theoretical justification and experimental confirmation of methods for preventing liquidation in steel.

The results of the development can be recommended for implementation in the prevention of liquidation in steel, from the point of view of economic feasibility and obtaining 35L steel with the necessary technological properties in conditions of serial and mass production.

EQUIPMENT, CASTING, MOLD, FEEDER, FEEDER, LOADER, ROD, FILL, ALLOY, MOLDING MIXTURE, LIQUIDATION, MICROALLOYING, COOLING RATE

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	11
1.1 Вибір та обґрунтування розташування ливарного цеху.....	11
1.2 Вибір технології виготовлення виливків та характеристика виробництва.....	12
1.3 Структура ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування.....	13
1.4 Плавильне відділення.....	15
1.4.1 Характеристика сплаву, який виплавляється.....	15
1.4.2 Вибір плавильних агрегатів.....	16
1.4.3 Конструкція і принцип дії печі.....	17
1.4.4 Плавка.....	20
1.4.5 Розрахунок балансу металу.....	20
1.4.6 Складання шихти.....	22
1.4.7 Устрій і робота плавильного відділення.....	27
1.4.8 Вибір ковшів.....	27
1.5 Формувальне відділення.....	28
1.6 Стержневе відділення.....	29
1.6.1 Устрій і робота стержневого відділення.....	30
1.7 Сумішоприготувальне відділення.....	31
1.7.1 Устрій і робота сумішоприготувального відділення.....	32
1.8 Очисне відділення.....	33
1.9 Відділення термічної обробки лиття.....	35
1.10 Допоміжні відділення.....	36
1.11 Площі під лабораторії і комори.....	37
Висновки по першому розділу.....	38

2	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	40
2.1	Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок.....	40
2.2	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	40
2.2.1	Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	40
2.2.2	Визначення положення виливка у формі.....	43
2.2.3	Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	43
2.3	Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	45
2.3.1	Визначення габаритних розмірів опоки.....	45
2.3.2	Визначення оптимальної тривалості заливки.....	45
2.3.3	Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	46
2.4	Опис технологічного процесу виготовлення форми.....	49
2.4.1	Вибір формувальної та стержнєвої суміші	49
2.4.2	Формовка.....	50
2.4.3	Збирання форм.....	50
2.4.4	Заливка форм.....	50
2.4.5	Вибивка і обрубка.....	51
2.5	Опис процесу проектування ливарної оснастки.....	51
2.6	Контроль якості відливоків.....	54
	Висновки по другому розділу.....	54
3	НАУКОВА ЧАСТИНА.....	56
3.1	Ліквація та її типи.....	56
3.1.1	Пряма зональна ліквація.....	57
3.1.2	Зворотня зональна ліквація.....	62
3.1.3	Ліквація по густині.....	62
3.1.4	Дендритна ліквація.....	63

3.2 Способи боротьби з ліквідацією.....	64
3.2.1 Гомогенізаційний відпал.....	64
3.2.2 Введення в металевий розплав порошкоподібних мікрохолодильників.....	65
3.2.3 Застосування хромітових і хромомагнетитових сумішей.....	68
3.2.4 Мікролегування.....	69
3.3 Процеси позапічної обробки сталі.....	70
3.3.1 Обробка сталі вакуумом.....	73
3.3.2 Агрегат «піч-ківш».....	75
3.3.3 Імпульсно-динамічні пристрої.....	76
Висновки по третьому розділу.....	78
ВИСНОВКИ.....	80
ЛІТЕРАТУРА.....	82
ДОДАТКИ.....	87

ВСТУП

Ливарне виробництво зберігає свою стратегічну важливість, залишаючись переважним, а часто й єдиною можливим методом виготовлення деталей складної конфігурації із заданими функціональними властивостями. Його економічна ефективність забезпечується максимальним коефіцієнтом використання металу та відносно низькою собівартістю литих заготовок промислового призначення. Успіх галузі залежить від тісної синергії між науковцями, розробниками конструкцій, технологами та кінцевими споживачами продукції [1].

Головною проблемою української ливарної галузі є критичний стан парку діючого устаткування. Зафіксовано, що близько 70% обладнання експлуатується за межею фізичного зносу, є морально застарілим, маючи середній вік понад 20 років. Ця ситуація поглибилася з середини 90-х років ХХ століття через практично повну відсутність нових моделей ливарного обладнання вітчизняного виробництва на ринку.

Незважаючи на технічні виклики, ринок ливарної продукції в Україні фактично сформований і демонструє ключові тенденції розвитку:

- 1 попит на вилівки зі спеціальними властивостями – спостерігається підвищений попит на продукцію з покращеними експлуатаційними характеристиками;
- 2 інформатизація та автоматизація – актуальною є потреба в оснащенні виробничих процесів комп'ютерно-інформаційним забезпеченням та модульним обладнанням, що легко інтегрується в існуючі технологічні лінії;
- 3 енерго- та матеріалозбереження – галузь розвивається в напрямку зменшення одиничної маси та енергоємності виробів;
- 4 екологічна безпека – підвищення екологічної безпеки ливарних процесів є пріоритетним завданням;
- 5 розширення можливостей – відбувається розширення споживчих можливостей литих виробів за рахунок нових технологій та матеріалів.

Прогноз до 2035 року передбачає інтенсивний розвиток галузі, ключовими елементами якого мають стати [2]:

- прискорення технічного переозброєння;
- спеціалізація виробництва;
- створення та широке застосування прогресивних ресурсозберігаючих технологій;
- підвищення рівня механізації та автоматизації.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вибір та обґрунтування розташування цеху

Вибір місця для будівництва ливарного цеху є критичним етапом, що вимагає врахування екологічних, логістичних та інженерно-технічних факторів [3]:

1 локалізація та екологічні аспекти – місце будівництва доцільно обрати на околиці міста Кропивницький, що дозволяє розташувати об'єкт якомога далі від житлових масивів. Це рішення мінімізує вплив промислових викидів на населення та забезпечує збереження навколишнього середовища. Врахування переважних напрямків вітру (південно-східний взимку та північно-західний влітку) є ключовим для локалізації забруднень;

2 транспортна та ресурсна логістика – обране місце вигідне з погляду логістики та забезпечення ресурсами:

а) транспортні шляхи – близькість до Одеської залізниці забезпечує ефективне постачання сировини, зокрема з Донецького вугільного басейну та Криворізького металургійного комбінату. Також враховано сусідство з автомобільними магістралями;

б) сировина – формувальні та стержневі піски планується постачати залізницею з Дніпровського кар'єру;

в) трудові ресурси – компактне розташування навколишніх селищ гарантує достатнє та доступне забезпечення підприємства трудовими ресурсами;

3 інженерне забезпечення – проектом передбачено комплексне інженерне забезпечення цеху, що охоплює енергопостачання, водопостачання, подачу стисненого повітря та теплопостачання:

г) водопостачання – технічна вода постачається від водоочисних споруд, розташованих на відстані 3 км на схід від міста. Питна вода надходить з артезіанських свердловин глибиною 260 м на відстані 4 км від заводу;

д) енергопостачання – електроенергія подається від мережі енергосистеми через підстанцію 186.135 КВ/ГПП та цехові трансформаторні підстанції. Напруга мережі цеху становить 380/220 В, а розподіл електроенергії здійснюється за радіальними та магістральними схемами;

е) стиснене повітря – забезпечення цеху стисненим повітрям здійснюється за рахунок компресорної станції 4К – 50Л з чотирма компресорними автоматами по 750 кВт (з одним резервним) [4];

ж) теплопостачання та вентиляція – теплоносієм для систем опалення та вентиляції є високотемпературна вода з параметрами 150...170 °С, що подається від котельні. Опалення цеху здійснюється за рахунок підігрітого повітря з системи припливної вентиляції. Для мінімізації теплових втрат всі ворота цеху обладнані повітряними тепловими завісами.

4 захист робочого середовища – для контролю за забрудненням робочої зони та навколишнього середовища все обладнання, що продукує шкідливі речовини, оснащено місцевими технологічними відсосами.

1.2 Вибір технології виготовлення виливків та характеристика виробництва

Ливарний комплекс машинобудівного заводу спроектовано для забезпечення великосерійного виробництва виливків із сталі марки 35Л. Вибір технологічного процесу та обладнання для цього комплексу базується на низці критичних параметрів [5], які мають забезпечити високу ефективність, якість та відповідність екологічним і безпековим нормам.

Критерії вибору технологічного процесу та обладнання:

– характер виробництва – оскільки виробництво є великосерійним, ливарний комплекс повинен бути оснащений високопродуктивним та ефективним обладнанням. Пріоритет надається автоматизованим системам для підготовки форм, заливки металу та подальшої обробки виливків;

- потужність цеху – потужність комплексу визначає необхідність у виборі потужного обладнання, здатного обробляти та виробляти велику кількість виливків відповідно до виробничого плану;
- габарити та маса виливків – ці параметри безпосередньо впливають на вибір розмірів формувального обладнання та оснащення, а також на технологію виготовлення форм;
- клас точності – вимоги до класу точності готових виробів є визначальними для вибору технології виготовлення форм та методик фінішної механічної обробки;
- рід матеріалу – виробництво виливків зі сталі 35Л (вуглецева ливарна сталь) обумовлює специфічні температурні режими лиття та вимоги до підбору формувальних матеріалів, які повинні витримувати високу температуру розплаву;
- екологічні та безпекові аспекти – технологічні рішення та обладнання мають відповідати чинним екологічним стандартам (зокрема, щодо викидів та утилізації відходів) та нормам безпеки праці.

Враховуючи наведені критерії, зокрема великосерійний характер виробництва та необхідність високої продуктивності, прийнято рішення, що лиття в ливарному комплексі здійснюватиметься у разових об'ємних піщано-глинистих сирих формах. Цей метод є економічно доцільним та широко використовується у великосерійному виробництві для досягнення необхідної продуктивності.

1.3 Структура ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування

Ливарний комплекс за структурною схемою (рис. 1.1) буде включати в себе основні і допоміжні відділення та дільниці [6]:

I виробничі:

- формувально-заливально-вибивальне відділення;

- плавильне відділення;
- сумішоприготувальне відділення;
- стержневе відділення;
- відділення фінішних операцій з дільницею термічної обробки;

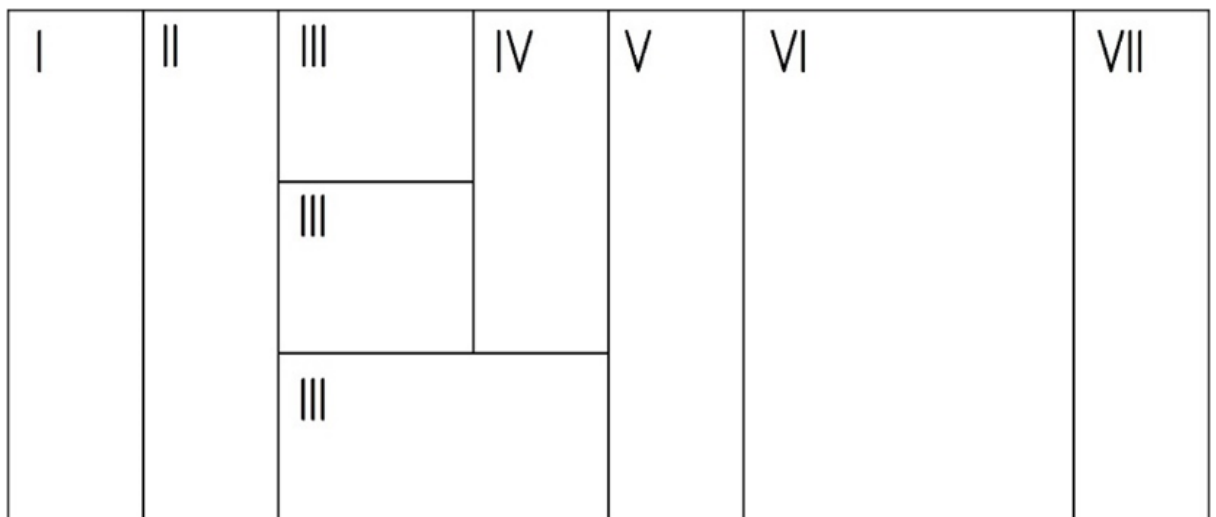
II допоміжні:

- цехові лабораторії;
- ремонтно-механічні майстерні;
- ремонту та сушки ковшів;
- регенерації суміші;
- ремонтно-механічні майстерні;

III підсобні приміщення та склади:

- приміщення для зберігання шихтових і формувальних матеріалів;
- модельного оснащення;
- готових виливків;

IV адміністративно-побутові приміщення.



I – відділення підготовки формувальних і шихтових матеріалів; II – плавильне відділення; III – формувально-заливально-вибивальне відділення; IV – стержневе відділення; V – сумішоприготувальне відділення; VI – відділення фінішних операцій; VII – приміщення для зберігання готової продукції

Рисунок 1.1. – Схема компоновки ливарного комплексу

1.4 Плавильне відділення

1.4.1 Характеристика сплаву, який виплавляється. Згідно з завданням на дипломний проект розглянемо сталь 35Л. Хімічні, механічні та ливарні властивості даного сплаву приведені в табл. 1.1 – 1.3.

Таблиця 1.1

Хімічний склад сплаву сталь 35Л [5]

Марка сплаву	Вміст елементу, %				
	C	Si	Mn	S	P
сталь 35Л	0,32 – 0,40	0,20 – 0,52	0,45 – 0,90	< 0,045	< 0,04

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву сталь 35Л [5]

Вид термообробки	Межа текучості σ_t , МПа	Тимчасовий опір при розтягненні σ_b , МПа	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, кДж/м ²	Твердість, НВ
Нормалізація	275	491	15	25	343	143...196
Гартування	343	540	16	20	294	155...205

Таблиця 1.3

Ливарні властивості сплаву сталь 35Л [6]

Температура плавлення t, °С	Показник тріщиностійкості $K_{т,у}$	Схильність до утворення усадкових раковин $K_{у,р}$	Рідинотекучість $K_{р,т}$	Ливарна усадка, %	Схильність до утворення усадкової пористості $K_{у,п}$
1480 – 1495	0,8	1,2	1,0	2,2 – 2,3	1,0

У сталі 35Л весь вуглець перебуває у розчиненому стані. Металева основа сталі складається із фериту та перліту [7]. Структура перлітно-феритної сталі містить – П + Ф. Злам сталі має сріблясто-сірий колір. Сталь 35Л використовується для виготовлення відливків типу станин прокатних станів, зубчастих коліс, тяг, діафрагм, катків, валів, кронштейнів, тощо, які працюють під дією середніх статичних та динамічних навантажень. Механічні властивості сталі

залежать головним чином від вмісту вуглецю та кремнію, також впливають марганець сірка і фосфор.

Вуглець сприяє утворенню перліту, і у поєднанні з різними режимами термообробки в найбільшій мірі впливає на механічні властивості сталі.

Кремній, у тих межах, що він знаходиться у сталі весь розчиняється у рідкому та твердому металі не створює нових фаз.

Сірка сприяє утворенню гарячих тріщин, знижує механічні і ливарні властивості. Також сірка подрібнює евтектичне зерно, збільшує переохолодження сплаву.

Фосфор знижує ударну в'язкість та холодостійкість.

1.4.2 Вибір плавильних агрегатів. Для плавки сталі 35Л призначеної для отримання фасонних відливок в якості плавильного агрегату використовуються дугові плавильні електропечі з ефективними системами очищення відхідних газів [4]. Сталь 35Л відноситься до середньо вуглецевих нелегованих сталей звичайних марок. Тому, з економічних міркувань доцільніше використовувати кислу футерівку. Використовувана при цьому шихта за сіркою і фосфором повинна відповідати технічним умовам, адже десульфурація і дефосфорація в кислих печах не проводиться.

Для плавки, перегріву металу та доводки по хімічному складу застосовуємо дугову електропіч. Ємність печі вибирається на підставі розрахункових даних програми цеху рівною 2...3 годинної потреби цеху в рідкому металі. Приймаємо дугову електропіч ємністю 6 тон моделі ДСП – 6, характеристика якої приведена в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Технічна характеристика дугової електропечі ДСП – 6

Параметр	Одиниця виміру	Показник
Номінальна потужність трансформатора	кВт	4000

Ємність печі	т	6,0
Тривалість плавки (повний цикл)	год	2,0
Продуктивність	т/год	3,0
Маса металоконструкцій печі	т	40

1.4.3 Конструкція і принцип дії печі. Дугові сталеплавильні печі працюють на трьохфазному струмі з частотою 50 Гц. Це печі прямого нагріву з незалежними дугами, які утворюються між електродами та металом (чи шлаком, який його покриває), які являють собою навантаження, яке з'єднане за схемою “зірка” з розташуванням нульової точки у твердій шихті чи рідкому металі. Вітчизняна промисловість виробляє серійні ДСП наступного розмірного ряду з номінальною ємністю, т : 0,5; 1,5; 3; 6 (малі); 12; 25; 50 (середні); 100 та 200 (великі).

Сучасні ДСП третього покоління являють собою не тільки високопотужні, але і високомеханізовані та автоматизовані високопродуктивні агрегати, які обладнані елементами стін та склепіння, які охолоджуються водою, паливно-кисневими пальниками та кисневими фурмами, пристроями для завантаження сипучих матеріалів (шлакоутворюючих, феросплавів, окатишів, фрагментованого брухту) через спеціальний отвір у склепінні, системи відбору проб та заміру температури металу (та внутрішньої поверхні футерівки), більш швидкодіючими механізмами та більш удосконаленими регуляторами потужності, оснащені керуючими обчислювальними комплексами. Енергетичні, конструктивні, експлуатаційні та екологічні показники печей нового покоління безперервно продовжують удосконалюватися. Головні елементи конструкцій сучасної ДСП показані на рис. 1.2.

Усі ДСП за планом круглі. Корпус печі включає кожух, днище, робоче вікно, та три традиційні схеми випуску плавки - випускний отвір зі зливним жолобом. За ГОСТ 7206-73 печі ємністю 0,5 та 1,5 т мають циліндричний кожух, 3 т та 6 т-конічний, а 12-200 Т – циліндроконічну форму кожуха. Однак після 1983 р. при виготовленні модернізованих 25...50 тонних печей та 100-тонних печей

керамічних, комбінованих, а в останні роки все частіше газодинамічних). Струм до електродів підводиться за допомогою електродотримачів, які також утримують електроди на заданій висоті та забезпечують їх реверсивне переміщення у вертикальному напрямку. Кожен електродотримач складається з головки, рукава, конструкцій та механізму затискування і переміщення електроду, струмовідводу. Корпус печі чи платформа (люлька), на яку спирається корпус, двома (чи трьома) сегментами перекатується по опорних станинах (балках), закріплених на фундаменті та обладнаних механізмом, який забезпечує нахил печі на $10...15^\circ$ в бік робочого вікна та (за традиційною схемою випуску) на $40...45^\circ$ в бік випускного отвору. Всі сучасні печі ємністю $\geq 1,5$ т завантажуються шихтою зверху, одночасно, спеціальною баддею з днищем, яке відчиняється (виконаним з гнучких секторів чи грейферного типу). Для цього склепіння підіймається над кожухом печі та відвертається на кут $30...90^\circ$ в бік зливного носка. Склепіння, конструкції та механізми його підйому та відвороту зв'язані з постачанням електричної енергії електродам та їх переміщенням, інші конструкції та механізми верхньої будови печі прикріплюються до напівпорталу, який спирається на ту ж платформу, що хитається, що й корпус печі чи розташовується на окремому фундаменті і не зв'язаний з нею. Печі ємністю ≥ 25 т обладнані механізмами повороту корпусу навколо вертикальної осі на кут $\pm 35^\circ$ відносно нормального положення (з конструкції модернізованих печей середньої ємності і нових великовантажних він виключений). На багатьох діючих печах використовуються переважно електромеханічні, а печі останньої серії оснащені головним чином гідравлічними приводами основних механізмів.

Окрім перерахованих механізмів ДСП обладнується паливно-кисневими пальниками та кисневими фурмами, спеціальними механізмами та машинами для очистки та заправки подини та відкосів, нарощування та перепуску електродів, постачання у піч шлакоутворюючих матеріалів та легуючих добавок, скачування шлаку, пристроями для електромагнітного перемішування металу (печі ємністю 25

та 50 т.), відбору проб та вимірювання температури металу (та внутрішньої поверхні футерівки), розширювання та забиття випускного отвору, механізації холодних ремонтів футерівки, а також системами для відводу та очищення пічних газів.

1.4.4 Плавка. Як правило, попередньо розплавляють шихтові матеріали, які вміщують основний компонент сплаву, а потім в цей розплав вводять інші компоненти шихти.

Якщо метали, які входять до складу сплаву, сильно відрізняються по температурі кипіння та хімічній активності по відношенню до газів, футеровки та флюсів, а попередити взаємодію розплаву неможливо, то одночасне завантаження їх в піч недопустиме, оскільки це призведе до великих втрат, випаровування та окислення розплаву [5].

1.4.5 Розрахунок балансу металу. За відсутністю даних що до виробничої програми ливарного комплексу баланс металу розраховується загальну масу металевий завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатного литва.

$$M = \frac{100 \cdot (L + B + C)}{100 - U},$$

(1.1)

де L , L , B – відповідно придатне литво, ливники, брак, т;

C – зливи та сплески, прийняті по виробничим даним, %;

U – угар і безповоротні втрати, прийняті по виробничим даним, %.

Для сплаву сталь 35Л:

$$M = \frac{100 \cdot (1,000 + 0,269 + 0,042)}{100 - 6 - 3} = 1,440 \text{ т}$$

Відносний вміст придатного литва, ливників, браку від металозавалки визначаємо за формулами:

$$n = \frac{ЛЛ}{M} \cdot 100 \quad \%,$$

(1.2)

$$л = \frac{ЛЛ}{M} \cdot 100 \quad \%,$$

(1.3)

$$\bar{b} = \frac{B}{M} \quad \%,$$

(1.4)

де n – вага придатного литва, т; $л$ – вага ливників, т; \bar{b} – вага браку, т.

$$n = \frac{1,000}{1,440} \cdot 100 = 69,44 \%;$$

$$л = \frac{0,269}{1,440} \cdot 100 = 18,65 \%;$$

$$\bar{b} = \frac{0,042}{1,440} \cdot 100 = 2,91 \%$$

Масова доля угару і безповоротних втрат, зливів та сплесків визначаємо за формулами, т:

$$Y = \frac{y}{100} \cdot M, \quad (1.5)$$

$$C = \frac{c}{100} \cdot M, \quad (1.6)$$

де y – угар, %; c – зливи та сплески, %.

Для сплаву сталь 35Л:

$$Y = \frac{6}{100} \cdot 1,440 = 0,0864 \text{ т}$$

$$C = \frac{3}{100} \cdot 1,440 = 0,0432 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу, т:

$$Q_{pm} = M - Y, \quad (1.7)$$

для сплаву сталь 35Л:

$$Q_{pm} = 1,440 - 0,0864 = 1,3536 \text{ т}$$

Розрахунки балансу метала заносимо в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Баланс метала сплаву сталь 35Л

Компонент	Вміст	
	%	т

Придатне литво	69,44	1,000
Ливники	18,65	0,269
Брак	2,91	0,042
Угар, безповоротні втрати	6,00	0,0864
Зливи і сплески	3,00	0,0432

1.4.6 Складання шихти. Складання шихти є фундаментальним етапом металургійного виробництва, що безпосередньо впливає на хімічний склад, якість та собівартість кінцевого сплаву.

Співвідношення окремих складових у шихті залежить від марки сплаву, його призначення та наявності доступних шихтових матеріалів. Типові варіанти складу шихти включають:

свіжі метали: шихта, що складається виключно з чистих або первинних металів;

1) свіжі металеві відходи, лігатури та первинні метали: найбільш поширений варіант у машинобудівному виробництві, оскільки дозволяє ефективно використовувати власні відходи (технологічний брухт), знижуючи собівартість продукції;

2) відходи та брухт: шихта, що складається переважно з вторинних матеріалів.

Перед початком плавки необхідно виконати розрахунок шихти. Цей процес полягає у визначенні кількості кожного виду шихтового матеріалу, необхідного для отримання сплаву із заданим хімічним складом.

Вихідні дані для розрахунку шихти:

– хімічний склад сплаву – визначається відповідними стандартами (ДСТУ або ТУ);

– оптимальний або розрахунковий склад шихти – передбачуване співвідношення компонентів;

– хімічний склад вихідних шихтових матеріалів – точні дані про хімічний склад первинних металів, брухту та лігатур;

– угар або пригар – коефіцієнти втрат (угар) або збільшення маси (пригар) окремих елементів сплаву під час високотемпературного процесу плавки.

Угар (пригар) елементів при плавці у електродуговій печі складає: С = - 10 %, Si = +10 %, Mn = - 20%. Масову долю елемента в шихті, крім вуглецю та сірки під час плавлення визначаємо за виразом:

$$K_{ш} = K_{ip} \frac{B}{100 - \Delta K_i}$$

(1.8)

де K_{ip} - масова доля в % елемента у розплавленому металі, що відповідає вмісту елемента у відливках;

B - вихід рідкого металу в % від маси металозавалки;

ΔK_i - угар або пригар елемента.

Мінімальна та максимальна масова доля Si:

$$K_{Si} = 9,2 \frac{98}{100} = 9,1\%$$

$$K_{Si} = 9,2 \frac{98}{100} = 9,1\%$$

Мінімальна та максимальна масова доля Mn:

$$K_{Mn} = 9,5 \frac{98}{100} = 9,3\%$$

$$K_{Mn} = 9,5 \frac{98}{100} = 9,3\%$$

Необхідна масова доля вуглецю у шихті визначається за таким виразом:

$$K_{\text{мет}} = \frac{98,93}{100} = 98,93\%$$

$$K_{\text{макс}} = \frac{98,91}{100} = 98,91\%$$

Масова доля сірки і фосфору розраховується за вмістом відповідних компонентів в шихті з урахуванням їх кількості.

Баланс металу на 1т придатних відливок зводимо до табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Баланс металу сталі 35Л на 1т придатних відливок

Компоненти	%	т
Прибуткова частина		
Лом сталевий ст. 5	10	0,142
Лом сталевий сталь 35	65,97	0,940
Феросиліцій	0,00	0,000
Феромарганець	0,20	0,004
Відходи власного виробництва	23,83	0,339
Всього по прибутковій частині	100,00	1,425
Витратна частина		
Ливники	18,01	0,256
Брак	2,82	0,040
Зливи і сплески	3,00	0,043
Всього відходів	23,83	0,339
Угар і безповоротні втрати	6,00	0,085
Придатне литво	70,17	1,000
Всього по витратній частині	100,00	1,425

Розрахунок шихти методом підбору виконано згідно рекомендацій [7] і наведено в табл. 1.7.

Таблиця 1.8

Розрахунок шихти для виплавки сталі 35Л

№п/п	Найменування матеріалу	ДСТУ, ГОСТ, ТУ	Марка	% в шихті	C		Si		Mn		S		P	
					В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті
1	Лом сталевий	Ст. 5сп	1А	10	0,32	0,032	0,25	0,025	0,65	0,065	0,04	0,004	0,035	0,003
2	Лом сталевий	Ст. 35	1А	65,97	0,35	0,230	0,36	0,237	0,65	0,428	0,04	0,026	0,035	0,023
3	Відходи власного виробництва	ГОСТ 977-88	35Л	23,83	0,36	0,085	0,36	0,085	0,65	0,154	0,045	0,010	0,04	0,009
4	Феросиліцій	ДСТУ 4127-02	Фс-45	0,0		0,000	25	0,000	0,7	0,000	0,04	0,000	0,05	0,000
5	Феромарганець	ДСТУ 3547-97	ФМн-78	0,20	7	0,014	2	0,004	82	0,164	0,03	0,000	0,03	0,000
	Всього:			100		0,361		0,351		0,811		0,04		0,0143
	Угар (-), пригар (+)				-10	-0,0361	5	0,017	-20	-0,162	0	0,000	0	0,000
	Розкислювач (алюміній)	ДСТУ 2839-94	AK5M2	0,20										
Кінцевий хім. склад						0,324		0,368		0,649		0,04		0,0143
Необхідний хім. склад						0,32-0,40		0,20-0,52		0,45-0,90		до 0,06		до 0,06

1.4.7 Устрій і робота плавильного відділення. Плавильне відділення розташоване з торцевої сторони ливарного цеху. Шихтові матеріали, які поступають на склад по залізниці, розвантажуються на спеціальний майданчик вздовж колії. Металева шихта з відкритих вагонів розвантажуються мостовим краном з магнітною шайбою. Зберігається шихта в закромах, які заглиблені відносно пола складу на 4 м. Доставка металевої шихти до місця її зберігання для подальшого завантаження в плавильні печі робиться також за допомогою мостового магнітного крана. Флюси завантажуються мостовим грейферним краном в спеціальні ємності.

Біля плавильних печей розташовано бункери для шихтових матеріалів і флюсів. Металева шихта із бункерів поступає в вагові дозатори (печі оснащено установкою для зважування шихти).

Завантаження печей металозавалкою здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю $Q = 15$ т, оснащеного магнітною шайбою. Для обслуговування печей, транспортування рідкого металу від них до заливальної дільниці застосовується мостовий кран $Q = 15$ т.

Вогнетривка футерівка виконується вогнетривкою цеглою на розчині, шамотна футерівка має 25...30 % вогнетривкої глини і 70...75 % молотого шамоту або кварцового піску. Подину набивають формувальною сумішшю. Після ремонту футерівку сушать.

1.4.8 Вибір ковшів. Для транспортування рідкого металу від плавильних агрегатів використовуються кранові стопорні ковші місткістю 1000 кг згідно рекомендацій [4]. Приймаємо 10 ковшів з урахуванням запасних і тих, що знаходяться в ремонті. Дані про вибрані ковші приведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

Ковшове господарство цеху

Тип ковша	Місткість, кг	Кількість
-----------	---------------	-----------

Крановий стопорний ківш	1000	10
-------------------------	------	----

1.5 Формувальне відділення

При виробництві відливків використовується автоматична формувальна лінія моделі ІЛ 225 [9], технічна характеристика якої приведена в табл. 1.9.

Комплексна автоматична лінія формування й вибивання на базі прохідних однопозиційних пневматичних важільних пресових автоматів модель ІЛ 225, яка виробляється Івано-Франківським заводом "Авто-литмаш". Ця лінія, а також 19 її модифікацій призначені для виготовлення відливок із сталі й чавуну в одноразових формах.

Лінія складається з формівних пресових автоматів 1, 2 для нижніх і верхніх півформ, механізму свердління вентиляційних отворів 3, кантувача нижніх півформ 4, механізму зрізання зайвої суміші 5, кантувача на 360° верхніх півформ 6, складальника форми 7, укладача форм на підпочні плити 8, механізму піднімання підпочних плит 9, механізму скріплення форм роликками 10, роликового приводного конвеєра 11, механізму опускання підпочних плит 12, механізму видавлювання форм 13, інерційної вибивної решітки 14, штовхачів, розміщених над роликковими конвеєрами 15, розпаровника порожніх опок 16, кантувача порожніх опок 17 і механізму зачищення опок 18.

Форми виготовляють методом верхнього пресування на пневматичних важільних формівних автоматах. Рівномірність густини суміші досягається тим, що для пресування застосовується багатоплунжерна головка і вібрація суміші під час пресування. Роликові конвеєри, які з'єднують агрегати лінії, є нагромаджувачами. Швидкість, яку забезпечують роликові конвеєри, в 4,5 рази перевищує технологічно необхідну, тому оброблені предмети (опоки, півформи, форми) швидко передаються до нового агрегату, що забезпечує безперебійну роботу агрегатів.

Таблиця 1.9

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225

Назва характеристики	Одиниці виміру	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/	мм	900 × 600 × 125-250
Продуктивність	форм/год	240
Маса відливки	кг	60
Кількість опок	шт	100
Виграти повітря	м/год	100
Потужність	кВт	115
Маса	кг	220000
Габаритні розміри	мм	65200 × 9300 × 6855

Роликові конвеєри складаються з окремих уніфікованих секцій довжиною 4,5 і 6 м. Електропривод роликових конвеєрів складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і фрикційної муфти. На кожному валу на шпонках встановлено фрикційні диски, між якими за допомогою тарілчастих пружин затиснено приводні зірочки, що захищає привод від поломок.

1.6 Стержневе відділення

Оскільки за номенклатурою стержнів їх маса не перевищує 6 кг, приймаємо універсальний автомат для виготовлення стержнів моделі 4509А. Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидко твердіючих термореактивних сумішей, це дає можливість підвищити точність стержня, а відповідно і точність відливків. Зменшення ливарних припусків дозволяє зменшити витрати на механічну обробку. Крім того, зникає необхідність у виготовленні каркасів, в громіздких (що займають великі площі) сушильних агрегатах, зростає

продуктивність одиниці площі [8]. Технічна характеристика автомату приведена в табл. 1.10.

Таблиця 1.10

Технічна характеристика піскострільного автомату моделі 4509А

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Найбільша маса стержня,	кг	10
Продуктивність,	зйомів/год	70...94
Розміри стержневого ящика,	мм	400×300×200
Тривалість циклу,	с	80...150
Ємність робочого резервуара,	л	25
Потужність електродвигуна,	кВт	140,5
Габарити,	мм	4095×3440×2996
Маса,	кг	5000

1.6.1 Устрій і робота стержневого відділення. Стержнева суміш до стержневих автоматів моделі 4509А із сумішоприготувального відділення за допомогою стрічкового конвеєра передається безпосередньо в бункери для роздачі, які розташовані над стержневими автоматами. На території дільниці є спеціальне місце, на якому зберігають стелажі з готовими стержнями.

Технологічний процес виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що стержнева суміш, яка заповнює порожнину попередньо нагрітого стержневого ящика, на протязі 15 - 60 с твердіє. Отриманий стержень не потребує додаткової сушки, а його міцність достатня для транспортування і простановки в форму. Головна особливість технологічного процесу виготовлення стержнів по гарячій оснастці полягає в тому, що отримані стержні володіють високою міцністю.

На позиції 1 здійснюється прижим стержневого ящика нагрітого до 180 - 270[□]С до піскометної голівки і заповнення його сумішшю. Позиція 2 передбачена

вільною для переналагодження автомата і заміни стержневих ящиків. На 3 - 4 позиціях стержні затвердівають в ящиках, які знаходяться в нагрівасій печі. На позиції 8 виконується розкриття стержневого ящика, видалення готового стержня і обдув внутрішньої порожнини ящика стиснутим повітрям.

Для очищення робочої поверхні ящика і покриття її роздільним складом машина має рухомі форсунки, які при русі уперед обдувають стиснення повітрям робочу поверхню розкритого ящика, а при русі назад – покривають її роздільним складом.

1.7 Сумішоприготувальне відділення

Для приготування формувальної суміші вибираємо змішувач ливарний типу бігунів періодичної дії з вертикальними котками моделі 15108 [10]. Технічна характеристика бігунів наведена у табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Технічна характеристика змішувача моделі 15108

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Об'єм замісу	м ³	3,70
Продуктивність	м ³ /год	75
Кількість котків	шт	2
Частота обертання вертикального валу	об/хв	29×3
Продуктивність витяжної вентиляції	м ³ /год	9000
Габаритні розміри	мм	4800×4200×3900
Маса змішувача	кг	18000

Склад формувальної суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (див. табл. 1.12).

Таблиця 1.12

Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Одиниці виміру	Значення параметру
Зворотня суміш	%	96
Пісок кварцевий КО2, КО16	%	3
Вугілля гранульоване	%	0,15

Бентоніт	%	0,15
Вода	%	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової	%	11
Вміст активного бентоніту	%	8
Втрати при прожарюванні	%	3
Вологість	%	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність	одиниць	80
Плинність (по Орлову)	одиниць	80

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу бігунів моделі 15101, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.13.

Таблиця 1.13

Технічна характеристика бігунів моделі 15101

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Місткість замісу	м ³	0,3
Час перемішування	хв	15
Продуктивність	м ³ /год	1,5
Потужність	кВт	15
Габарити	мм	2000×1865×2895
Маса	кг	4000

Склад стержневої суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (див. табл. 1.14).

Таблиця 1.14

Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Одиниці виміру	Значення параметра
Пісок кварцовий	%	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	МПа	0,005 - 0,01
Вологість	%	1,8-2,8

1.7.1 Устрій і робота сумішоприготувального відділення.

Сумішоприготувальне відділення розташоване біля формувальної і стержневої дільниць. Змішувачі обладнують бункерами для сипучих і рідких компонентів.

Матеріали подаються за допомогою стрічкового конвеєра. Відпрацьована суміш з-під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії поступає на конвеєр, на якому збирається просип з формувальних машин, просіюється на барабанному решеті, підлягає електромагнітній сепарації і після цього охолодженою до $T = 38 - 40$ °C і зволоженою поступає у змішувач для приготування формувальних сумішей.

Стержнева суміш складається з сухого кварцового піску, термореактивного зв'язуючого матеріалу, каталізатора і незначної кількості інших добавок, які покращують технологічні властивості суміші. В якості зв'язуючого матеріалу застосовують карбамідно-фуранові смоли, які представляють собою продукт з'єднання карбамідної смоли з різною кількістю фурилового спирту.

Каталізатор – розчин мінеральних чи органічних кислот і солей – значно прискорює затвердіння суміші при нагріванні.

В якості добавок застосовують окис заліза, графіт, стеарат кальцію і рідке скло. Окис заліза підвищує теплопровідність суміші, графіт сріблястий виконує роль вогнетривкого наповнювача, інші добавки – зменшують припасність і підвищують текучість суміші.

1.8 Очисне відділення

Очисні операції становлять значну частку трудозатрат у виробництві виливків, сягаючи до 40% від загальних витрат праці. Характерно, що саме в очисних відділеннях залучається найбільша кількість ручної праці.

В очисному відділенні виконується низка ключових технологічних операцій:

- видалення стержнів з виливків;
- обрізання ливниково-живильної системи;
- зачистка та обрубка виливків.

Окрім очисних процесів, у відділенні також облаштовуються робочі місця для:

- остаточного контролю якості виливків;
- комплектування партій;
- вивозу готової продукції.

Для очистки та охолодження відливків із сталі 35Л приймаємо галтовочний барабан безперервної дії моделі ОБ-90 [4]. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.15.

Таблиця 1.15

Технічна характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність	т/год	3,5
Об'єм завантаження	м ³	1,8
Габаритні розміри	мм	3500×1650×1500
Маса	т	3,9
Потужність електродвигуна	кВт	7,5

Також для очистки відливок застосовуємо дробометну камеру моделі 86414, Технічна характеристика дробометної камери наведена в табл. 1.16.

Таблиця 1.16

Технічна характеристика дробометної камери

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність камери	т/год	10
Максимальна вага відливок	кг	12
Дробометний апарат: число обертів за хвилину	об/хв	2500
діаметр дробу	мм	1,5 : 2,0
Електродвигун А02-62-4: потужність	кВт	17
число обертів за хвилину	об/хв	1450
пасова передача, 5-ти струмкова		i = 175
Елеватор: швидкість руху стрічки	м/хв	75,8
продуктивність	т/год	24,0
крок ковшів	мм	300
об'єм ковша	м ³	0,003
Стрічка: ширина	мм	160

довжина	мм	15000
Електродвигун А02-21-4: потужність	кВт	
кількість обертів за хвилину	об/хв	2,8
Редуктор РМ-250:		1440
Сито просіву дробу:		$i = 23,34$
кількість обертань барабану сита за хвилину	об/хв	30
Електродвигун А02-21-4: потужність	кВт	1,1
кількість обертань за хвилину	об/хв	1400
Редуктор РМ250:		$i = 31,5$
крок шнеку	мм	250
Конвеєр підвісний цепний: швидкість конвеєра	м/хв	1
розгорнута довжина траси	м	199,5
крок підвісок	мм	800
кількість підвісок	шт	249
Електродвигун А02-32-4: потужність	кВт	3
кількість обертань за хвилину	об/хв	1430
Редуктор РМ350:		$i = 31,5$

Для відрізання ливниково-живильної системи від відливків приймаємо відрізні верстати з дисковими пилами моделі 3Е184В [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.17.

Таблиця 1.17
Технічна характеристика відрізних верстатів з дисковими пилами для відрізання ливників моделі 3Е184В

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Діаметр диска	мм	400
Продуктивність	т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя	об/хв	1955 - 3425
Габаритні розміри	мм	1640×1580×1700
Потужність електродвигуна	кВт	6,6

Для подальшої зачистки відливків приймаємо зачисні верстати моделі 3М363 [10]. Технічна характеристика наведена в табл. 1.18.

Таблиця 1.18

Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М363

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Зернистість зачисного кола		80 - 125
Продуктивність	т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя	об/хв	955 - 1425

Потужність електродвигуна	кВт	7,5
---------------------------	-----	-----

1.9 Ґрунтування відливків

У масовому та крупносерійному виробництві ґрунтовка виконується на конвеєрі, який об'єднує всі фарбувально-сушильні агрегати (табл. 1.19 – 1.21).

Для транспортування дрібних відливок до 10 кг рекомендуються набірні касети на 2 - 8 відливок або корзини.

Таблиця 1.19

Технічна характеристика миючої машини

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність	кг/хв	70
Тривалість промивки відливків	хв	10
Температура миючої рідини	°С	90
Габаритні розміри відливків	мм	425×315×250
Ємність ванни	м ³	3,3
Швидкість руху відливків через камеру	м/хв	0,65
Потужність електродвигуна	кВт	11,4

Таблиця 1.20

Технічна характеристика прохідної фарбувальної камери

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Розмір фарбованих відливок, довжина × ширина × висота	мм	370×360×250
Кількість відсмоктувального повітря	Нм ³ /год	8000
Потужність	кВт	4,7
Загальна вага	кг	897

Таблиця 1.21

Технічна характеристика сушильної прохідної камери

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Максимальний розмір відливків, довжина × ширина × висота	мм	2700×800×500
Температура сушки	С	90
Продуктивність камери	кВт	10,2
Загальна вага	кг	20760

1.10 Допоміжні відділення

До допоміжних відділень ливарного цеху відносяться:

- 1) ковшове відділення, де проводиться поточний ремонт ковшів, а також підготовка їх до роботи;
- 2) модельно-ремонтна майстерня, яка забезпечує нормальне функціонування модельного оснащення;
- 3) цехові комори, в яких зберігаються різного виду допоміжні матеріали, інструменти;
- 4) цехові лабораторії: земельна, хімічна та ін.;
- 5) ремонтно-механічна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт обладнання цеху;
- 6) санітарно-технічна майстерня, в якій виконується поточний та середній ремонт, а також підтримується нормальне функціонування водопроводів, каналізації, опалення і вентиляції цеху;
- 7) електромагнітна майстерня, яка виконує поточний і середній ремонт, а також забезпечує нормальне функціонування електрообладнання і освітлення цеху;
- 8) дільниця регенерації суміші.

Для дільниці регенерації суміші розраховуємо барабанні решета і електромагнітні сепаратори. Приймаємо барабанні решета моделі 176М, характеристика яких наведена в табл. 1.22.

Таблиця 1.22

Технічна характеристика барабанного решета моделі 176М

Назва характеристики	Одиниці виміру	Величина
Продуктивність	м ³ /год	30
Частота обертання	об/хв	23
Потужність	кВт	5,5
Маса	кг	1730
Габарити	мм	3700×1860×1700

1.11 Площі під лабораторії і комори

Визначаємо площі під лабораторії й комори.

Лабораторія хімічна і спектральна	50 м ²
Лабораторія механічних випробувань	36 м ²
Загальна цехова комора	36 м ²
Інструментальна комора механіка, електрика	50 м ²
Інструментальна комора обрізної дільниці	36 м ²

Інструментальна ремонтна майстерня – визначаємо за допомогою таблиці [4], виходячи з кількості одиниць технологічного і підйомно-транспортного устаткування, встановленого в цеху.

Площа, яка приходить на 1 верстат 8 - 10 м², і місце слюсаря буде знаходитися в межах 4 - 6 м² [5].

Тому площу під один верстат приймаємо 8 м², а місце слюсаря 4 м².

Сумарна площа ремонтної майстерні можна визначити:

$$S_{\text{р}} = 48 \text{ м}^2$$

Дільниця футеровки ковшів і ремонту ковшових печей. Ковшова дільниця призначена для капітального ремонту й футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей.

Для футеровки ковшів застосовують вогнетривкі матеріали. Ці матеріали зберігають на складі, а футеровальні маси готують на спеціальній дільниці підготовки ковшів. Цю дільницю найчастіше розміщують у плавильному відділенні, у тому самому прольоті, де розливають рідкий метал. Площу дільниці беруть із розрахунку 8 - 10 м² на 1000 т додатного литва на рік.

$$S_{\text{кф}} = 106 \text{ м}^2$$

Висновки по першому розділу

- 1 Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
- 2 Описано роботу плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, діляниць обробки виливків, модельного оснащення та готової продукції, визначені площі під лабораторії та комори, адміністративних та побутових приміщень.
- 3 У відповідності з технологічним процесом виготовлення виливків, підібрано обладнання плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержневого та очисного відділень.
- 4 Приведено опис процесів плавки сплаву СЧ, приготування формувальних і стержневих сумішей, виготовлення ливарних форм і стержнів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок

Відливок відноситься до XI класу точності за ГОСТ 26645 – 85, виготовляється із сталі 35Л за ДСТУ 8781:2018, припускається виготовлення із сталі 20Л [11]. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекиє по роз'єму до 2 мм. На оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше 1/3 кола, шириною не більше 5 мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм в кількості не більше 5 штук. На необроблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 9 мм, глибиною не більше 4 мм і в кількості не більше 8 штук на поверхню. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь "Кронштейн" представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 14 кг, габаритні розміри 402 × 180 × 100 мм, твердість 131...157 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливок є технологічним. Зовнішні поверхня відливка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливок має два стержня, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

2.2.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.

Для виготовлення відливка "Кронштейн" застосовуємо автоматичну ливарну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" (рис. 2.1). На цій лінії весь процес отримання відливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір опоки в світлі 900×600 мм. Висота верхньої опоки – 200 мм. Модельні плити односторонні, на одній плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми, на іншій – для верху.

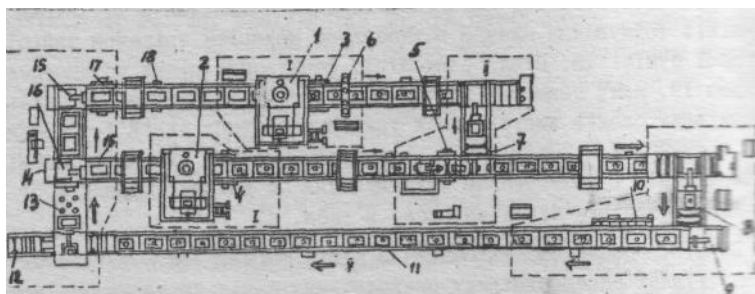


Рисунок 2.1 - Автоматична лінія ІЛ 225

Процес формовки починається з виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М [12]. Виготовлена напівформа по рольгангам направляється на обдування стисненим повітрям для видалення частинок формувальної суміші, що потрапили у порожнину форми. Напівформа верху також виготовляється на формувальному пресі В-440М. З ділянки виготовлення стержнів готові стержні транспортуються до місця збирання напівформ. Стержні проставляються вручну у напівформі низу, потім за допомогою розпаровщика опок ІС-10-001 напівформа верху з'єднується з напівформою низу. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки. Заливка форми виконується автоматичним заливщиком з ковшем, ємкість якого 250 кг. Перед заливкою сплав повинна бути очищений від шлаку. Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІЛ 225 наведена в табл. 1.9.

Оскільки маса стержнів не перевищує 6 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержньовий автомат моделі 4509 А. Технічна характеристика стержневого автомату наведена в табл. 1.10.

Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидкотвердіючих термореактивних сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність відливків.

Втрати температури сплаву при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску сталі з плавильної печі втрати температури складають від 20 до 40 °С, а при переливі з ковша в ківш – 30...50 °С.

Рекомендована температура заливки сталі 35Л при середній товщині стінки відливки 15 мм і з врахуванням втрат тепла складають 1550 – 1490 °С.

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, відливок охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. За час руху у відливку закінчуються усі перетворення. Стальні відливки необхідно вибивати при температурі 200 °С. Форми, що охололи, направляються на ділянку вибивки. Форма видавлюється на спеціальній установці, на якій суміш і відливка видавлюються пресом на вібраційну решітку із нерухою формою. Опки автоматично зіштовхуються з плити ливарного конвеєра штовхачем і форма видавлюється пресом на вібраційну решітку, де руйнуються спресовані грудки суміші, які запеклися. Потім суміш поступає по лотку на транспортер.

Відливки потрапляють в барабан для остаточного відділення від суміші. Із барабанів відливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і зачистки.

Перед очищенням відливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення відливка складається із наступних операцій:

- видалення стержнів із відливків;
- очищення відливків від прилиплої формувальної суміші;
- відділення ливників, випорів;
- остаточного контролю якості відливків після очищення і обрубки.

Відливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання відливків здійснюється на стаціонарних обдирочнозачисних станках.

Контроль якості відливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Грунтовка відливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки.

Відливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується грунтовка відливків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування відливки направляються на склад готових виробів.

2.2.2 Визначення положення відливка у формі. Положення відливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця на валу – повинна бути розташовані горизонтально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає горизонтальне положення і являється єдиною для даного відливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що відливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку

форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми [13].

2.2.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків. Розміри відливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сталі 35Л вибираємо по ДСТУ 8981:2020. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією і вказується величина припуску, яка для даної деталі складає 3 мм [14].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для сталі 30Л вибираємо з [15].

Для середніх відливоків вільна усадка рівна 2 %. Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіус заокруглень складає 3 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [15].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі, не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формівні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ДСТУ 8981:2020. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [14]. Для даного відливка, величина ухилу складає 3° . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку. Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [13]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо горизонтальні знаки стержнів довжиною 30 мм [14].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [14]. Для горизонтального знаку бокові зазори рівні 0,25 мм, торцевий зазор 0,15 мм.

2.3 Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1 Визначення габаритних розмірів опоки. Габарити опок визначаються габаритами відливка, числом відливок в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах 0,25...1,2.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох відливок, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20...25$ мм [14]. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки 0...50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна 60...120 мм [14]. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш", з розмірами опоки 900×600×200 мм приймаємо кількість відливок отримуємо в одній опоці рівним 2 шт.

2.3.2 Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [16]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 1,35$ [14];

δ – середня товщина стінок відливки, $\delta = 18$ мм;

C_1 – вага однієї відливки з ливниковою системою, кг.

$$C_1 = C_g + 0,4 \cdot C_g \quad (2.2)$$

$$C_1 = 14 + 0,3 \cdot 14 = 18 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 1,35 \cdot \sqrt[3]{18 \cdot 18} = 4,455 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{100}{4,455} = 22,45 \text{ мм/с}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [16].

2.3.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи. Загальна площа живильників на один відливок:

$$\sum F_a = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_0}},$$

(2.4)

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

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,5$ [16];

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{c},$$

(2.5)

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 200$ мм;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 50$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 100$ мм.

$$H_p = 200 - \frac{50^2}{100} = 175 \text{ мм} = 17,5 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{жс}} = \frac{18 \cdot 1000}{0,5 \cdot 4,455 \cdot 7,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 18,75}} = 3,96 \text{ см}^2$$

Так як відливки має два живильника, то:

$$F_{\text{жс}} = \frac{\sum F_{\text{жс}}}{2} = 1,98 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію.

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{\text{жс}} : \sum F_{\text{ш}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,15 : 1,2$$

(2.6)

$$\sum F_{\text{ш}} = \sum F_{\text{жс}} \cdot 1,15 = 3,96 \cdot 1,15 = 4,55 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{ш}} \cdot 1,2$$

(2.7)

$$F_{\text{ст}} = 3,96 \cdot 1,2 = 4,75 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4}$$

(2.8)

Діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}}$$

(2.9)

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,75}{3,14}} = 2,5 \text{ см}$$

Приймаємо $d = 25$ мм.

Для двох відливків:

$$F_{cm} = 4,75 \cdot 2 = 9,50 \text{ см}^2$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,5}{3,14}} = 3,5 \text{ см}$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35$ мм.

Визначимо діаметр чаші для одного відливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm,с}$$

(2.10)

$$D = 3 \cdot 25 = 75 \text{ мм}$$

Діаметр чаші для двох відливків:

$$D = 3 \cdot 35 = 105 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача визначаємо за формулою:

$$D_{\text{підж}} = (0,4 \dots 0,5) \cdot \sqrt{V_y} + \delta$$

(2.11)

$$D_{\text{підж}} = 0,4 \cdot \sqrt{56,25} + 2 = 5 \text{ см}$$

2.4 Описання технологічного процесу виготовлення відливка

2.4.1 Вибір формувальної та стержньової суміші. У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш.

На автоматичній лінії ІЛ 225 використовується формувальна суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержньової та формувальної суміші приведені у табл. 1.12, 1.14.

2.4.2 Формовка. Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. Потім напівформи транспортують на збирання.

2.4.3 Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів відливка. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) збирання форми;
- 2) спарювання верхньої та нижньої опок.

2.4.4 Заливка форм. Температура сталі при заливці повинна бути 1490 – 1550°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150 – 200 мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється – 20 мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми. Тип плавильного агрегату вибирають в залежності від роду металу, а також вимог, які висуваються до якості відливка.

2.4.5 Вибивка і обрубка. Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в шпарини решітки, та поступає на подальшу переробку. Відливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони охолоджуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється формівна суміш, відливки очищуються та охолоджуються.

Потім відливки поступають в прохідну дробометну камеру де позбавляються від пригару.

Далі вони поступають на дільниця контролю, проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

Потім відливки потрапляють на дільницю відрізання ливниково-живильної системи на дискових пилах. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

2.5 Опис процесу проектування ливарної оснастки

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і відливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку відливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтується на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно

враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [15].

Модельні плити виготовляються із чавуну. Товщина плит складає 50 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердляться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюються отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей встановлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верху – моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони – центруючий, з іншої – направляючий штирі.

На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Модельні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів пікострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [15]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів

товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [15] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венті. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{вент}}{F_{вд.отв.}} = 0,1 \div 0,9, \quad (2.12)$$

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 однієї венті при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

2.6 Контроль якості відливок

Відливки, що пройшли проміжний контроль на різних стадіях технологічного процесу, піддаються остаточному контролю для визначення їх відповідності вимогам стандартів і технологічних умов. Перевіряють хімічний склад сплаву, структуру, геометрію і розмір відливок, механічні властивості, встановлюють поверхневі і внутрішні дефекти.

Поверхневі дефекти відливок у вигляді тріщин, раковин, пригару визначають візуально шляхом порівняння з еталоном, не видимі поверхні дефекту визначають з допомогою магнітної і світлової дефектоскопії.

В технологічній частині дипломного проекту розроблена технологія відливка "Кронштейн", виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок, розроблено і описано технологічний процес виготовлення відливка і проектування ливарної оснастки, вибрано обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів, визначено положення відливка у формі, припуски на механічну обробку і усадку, радіуси галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків, сконструйовано і розраховано ливникову систему.

Висновки по другому розділу

- 1 В другому розділі розроблена технологія виготовлення відливка «Кронштейн».
- 2 Виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на виливок.
- 3 Розроблено технологічний процес виготовлення виливка.
- 4 Розраховано і сконструйовано ливниково-живильну систему.
- 5 Описано технологічні процеси виготовлення виливка, проектування ливарної оснастки, контролю якості виливків.

3 НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1 Ліквация та її типи

Ліквация (від лат. *Liquatio* - розрідження, плавлення), сегрегація (від лат. *Segregatio* - відділення) в металургії, неоднорідність хімічного складу сплавів, яка виникає при їх кристалізації. Особливе значення має ліквация в сталі, вперше виявлена російськими металургами Н. В. Калакуцким і А. С. Лавровим в 1866 [17].

Ліквация виникає в результаті того, що сплави, на відміну від чистих металів, кристалізуються в інтервалі температур. При цьому склад кристалів, які утворюються на початку затвердіння, може істотно відрізнятися від складу останніх порцій кристалізуючого вихідного розчину. Чим ширше температурний інтервал кристалізації сплаву, тим інтенсивніше розвивається ліквация, причому найбільшу схильність до неї проявляють ті компоненти сплаву, які найбільш сильно впливають на ширину інтервалу кристалізації (для сталі, наприклад, сірка, кисень, фосфор, вуглець) [18].

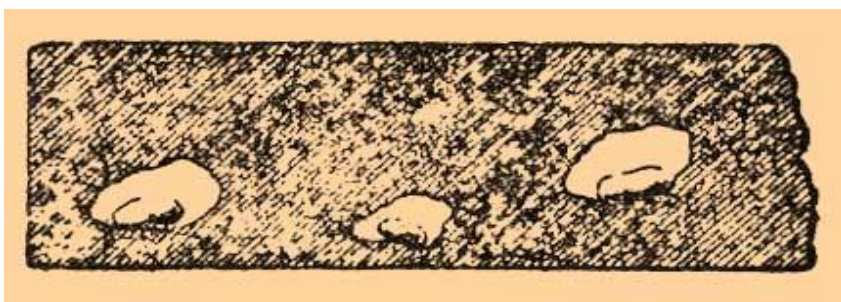


Рисунок 3.1 - Ліквацийні кульки в сплаві сталі

Ліквация, як правило, шкідливо впливає на якість металу, призводить до нерівномірності його властивостей. Розрізняють зональну ліквацию (пряму і зворотню), внутрішньокристалічну (дендритну) ліквацию і ліквацию по густині (гравітаційна сегрегація) [19].

3.1.1 Пряма зональна ліквіація. Розглянемо діаграму стану з обмеженою розчинністю компонентів А і В у твердому стані. При затвердінні сплаву складу І (рис. 3.2) концентрація компонентів в перших кристалах твердої фази буде відповідати точці a_2 , тобто складу сплаву ІІІ, температура ліквідусу якого вище, ніж у сплаву І.

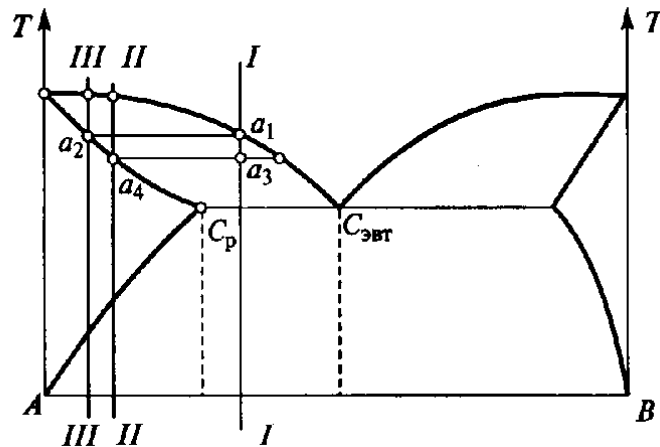


Рисунок 3.2 - Діаграма стану А - В до розгляду зональної ліквіації

По мірі охолодження концентрація кристалізуючої твердої фази буде вже відповідати точці a_4 , тобто сплаву ІІ, температура ліквідусу якого також дещо більше, ніж у сплаву І.

Отже, кристалізація підпорядковується вибірковим законом: спочатку кристалізуються більш тугоплавкі компоненти, потім менш тугоплавкі. В кінці затвердіння середня концентрація компонентів буде відповідати сплаву І. Однак поточна концентрація компонентів буде різною: поверхню виливка буде збагачена більш тугоплавкими компонентами, серцевина - менш тугоплавкими [20].

У період затвердіння сплавів протікають три дифузійних процеси, які вирівнюють концентрацію:

1) розділова дифузія - перерозподіл компонентів на фронті розділу фаз, за рахунок якої встановлюється рівноважна концентрація компонентів у твердій і рідкій фазах;

2) дифузія в рідкій фазі, яка вирівнює різницю концентрацій компонентів між збагаченим шаром, прилеглим до поверхні зростаючого кристала, і більш віддаленими шарами;

3) дифузія у твердій фазі, вирівнює градієнт концентрації у твердій фазі.

Ступінь розвитку ліквідації залежить від повноти названих трьох процесів [21].

У промислових умовах затвердіння виливків розділова дифузія протікає майже безперешкодно; дифузія в рідкій фазі гальмується незначно; дифузія у твердій фазі, навпаки, гальмується сильно. В результаті дифузія в твердому сплаві не встигає відбутися в повній мірі, і стан фазової рівноваги в твердому сплаві не досягається. Тому реальна кристалізація є нерівноважною, і вона є фізико-хімічною основою процесу ліквідації.

Різниця концентрацій компонентів у твердій і рідкій фазах оцінюється коефіцієнтом розподілу

$$K_{роз} = \frac{C_{тв}}{C_{рід}},$$

(3.1)

Для евтектичних систем $K_{роз} < 1$, для систем з перитектикою і необмеженими твердими розчинами слід розрізняти ліквідацію елементів, що знижують ($K_{роз} < 1$) і підвищують ($K_{роз} > 1$) температуру плавлення.

Прийнявши лінії ліквідусу і солідусу з деяким наближенням прямолінійними, можна записати: $K_{роз} = C_p/C_{евт}$ або $K_{роз} = C_p/C_n$, де C_p - концентрація сплаву, відповідна точці граничної розчинності в твердому стані, а $C_{евт}$ і C_n - концентрації сплавів, відповідні евтектичною і перитектичній точкам.

Коефіцієнт розподілу $K_{розн}$ служить для характеристики ліквідаційних властивостей елементів в сплаві. При $K_{розн} \rightarrow 0$ елемент в сплаві сильно ліквідує,

тоді як при $K_{розп} \rightarrow 1$ він практично не ліквує. Так, наприклад, в залізі коефіцієнти розподілу для сірки і фосфору становлять відповідно 0,05 і 0,07, а для нікелю і хрому - 0,80 і 0,95, що відповідає поведінці елементів в сплавах заліза: сірка і фосфор ліквують сильно, а нікель і хром практично не ліквує [22].

Кількісно ліквація характеризується ступенем ліквації, для оцінки якої використовують відношення:

$$\Delta C_i = \frac{\Delta C_{i_{лок}}}{\Delta C_{i_{(0)}}},$$

(3.2)

де ΔC_i - ступінь ліквації і-го елемента, частка од.;

$\Delta C_{i_{лок}}$ - локальна концентрація елемента і;

$\Delta C_{i_{(0)}}$ - середня концентрація цього ж елемента в сплаві.

Вище наведена по суті пряма зональна ізоляція, тобто описано формування хімічної неоднорідності виливки в цілому з урахуванням тільки нерівноважності кристалізації. При цьому варто було б очікувати поступового збільшення концентрації легкоплавких компонентів від поверхні до центру.

Однак можливо назвати ще чотири причини переміщення збагаченої ліквуючими легкоплавкими компонентами рідкої фази, яка названа лікватом, які спотворюють очікувану монотонну залежність. Серед них:

- 1) механічний захват ліквату фронтом зростаючих кристалів;
- 2) конвективний рух ліквату біля фронту кристалізації за рахунок градієнта температури і щільності;
- 3) усадочні процеси, які викликають підсмоктування або вижимання ліквату;
- 4) дифузія забрудненої лікватом рідини.

Реальна зміна концентрації компонента по перетину виливка при прямій ліквації представлено на рис. 3.2 (крива I).

У поверхневому шарі виливки пряма ліквация незначна або відсутня (внаслідок швидкого охолодження); за поверхневим шаром розташовується протяжна зона «негативної» ліквации з концентрацією ліквуючого компонента, трохи нижче середньої ($\Delta C_i < 1$). В осьовій частині є зона різко підвищеної концентрації ліквуючого компонента ($\Delta C_i > 1$) (крива I на рис. 3.2). Осьова ліквация залежить не тільки від нерівноважності кристалізації, а й, наприклад, від перемішування розплаву на фронті кристалізації [21].

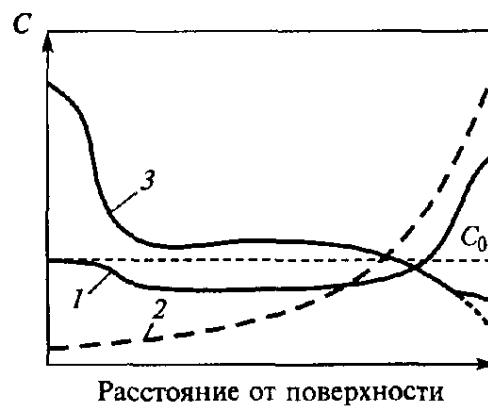
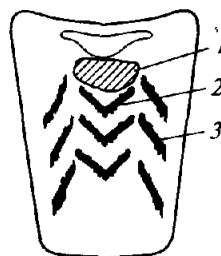


Рисунок 3.3 - Зміна концентрації компонента по перетину виливка (C) при прямій (1, 2) і зворотній (3) зональній ліквации в умовах часткової конвекції (1) і інтенсивного механічного перемішування (2) розплаву

У центральній зоні виливка або зоні прямої зональної ліквации можливо виділити дефекти, які називаються V - подібною осьовою ліквацией (рис. 3.4).



1 - ліквацийна пляма; 2 - осьова V - подібна ліквация; 3 - неосьова L - подібна ліквация

Рисунок 3.4 - Схема розташування ліквацийних дефектів в литві:

Безпосередньою причиною цих дефектів є усадочні переміщення холодноулого металу. Цей процес реалізується на границі твердої і рідкої частин виливки в умовах, коли рівень рідини в середній частині безперервно опускається. По мірі зближення фронтів твердої частини біля осі виливки швидкість усадочного переміщення металу зростає. Порції рідкого металу, які знаходяться в русі, захоплюють за собою скупчення ліквату з міжосьових просторів дендритів. Таким чином, скупчення ліквату описують траєкторії, які визначаються, з одного боку, рухом кордонів затвердіння, з іншого, усадковими переміщеннями металу.

Причиною неосьової Л - подібної ліквації, званої «вусами», ймовірно, є процес спливання ліквату. В даний час існують різні думки про механізм виникнення V - і Л - подібної ліквації. Слід відмітити наявність дуже різноманітних уявлень про механізм утворення «вусів».

Однозначно встановлено, що Л - подібна ліквація проявляється в масах металу, які повільно охолоджуються, особливо в разі важких відливків або злитків. Прямі аналізи металу показують, що в «вусах» масова частка домішок збільшується по вуглецю на 10 ... 30 %, по фосфору на 20...40 %, по сірці на 30...50 % [23].

В даний час також встановлено, що V - і Л - подібні дефекти в виливках не виникають, якщо швидкість затвердіння перевищує певну величину. Наприклад, в виливках з вуглецевої сталі в сухих піщано-глинистих формах з товщиною стінки 80 мм і менше V - і Л - подібні дефекти не виникають. Для товщини стінки, що дорівнює 80 мм, швидкість затвердіння повинна бути вище 0,045 мм/с. При використанні примусового охолодження, внутрішніх холодильників і мікрохолодильників товщину стінок виливків можливо збільшити до 330 мм [24]. Усунення V - і Л - подібних дефектів не завжди призводить до усунення прямої зональної ліквації в центральній частині виливків. Однак і виникнення звичайної прямої зональної ліквації також залежить від швидкості затвердіння виливка. Так, ліквацію сірки в сталі 20К вдається усунути при швидкості затвердіння

більшої 0,11 мм/с, а для усунення ліквациї фосфору швидкість затвердіння повинна бути більшою 0,047 мм/с. Очевидно, що для кожного сплаву існує така швидкість затвердіння, при перевищенні якої пригнічується пряма зональна ліквация і досягається хімічна макрооднорідність (але не мікрооднорідність) у відливках.

Ліквацийна пляма 1 під усадочною раковиною (рис.3.2) утворюється внаслідок спливання домішок з нижньої і середньої частин виливка.

3.1.2 Зворотня зональна ліквация. Коли легкоплавкими компонентами збагачена не центральна (як при прямій), а периферійна частина виливка (крива 3 на рис. 3.1), має місце зворотня зональна ліквация. Вона проявляється в виливках з кольорових сплавів, наприклад зі сплавів Al-Zn, Al-Cu, Al-Fe, Cu-Zn, Cu-Sn і ін. Зворотня ліквация спостерігається також в сталях і чавунах, але в меншому об'ємі.

При затвердінні відливок, особливо зі сплавів з широким інтервалом температур затвердіння, в мірі руху області затвердіння від поверхні до осі виливка виникають усадочні пори, тиск в яких дорівнює нулю (вакуум). За рахунок розрідження відбувається всмоктування ліквату в міждендритні капіляри і подальше його вижимання на поверхню виливка за рахунок зміни знака напружень: розтягуючих на стискаючі. Спочатку в швидкоохолоджуючихся частинах поверхні виливка (як, наприклад, в тонких стержнях усадочної решітки) виникають напруження розтягу, потім знак напружень змінюється, і напруги стають стискаючими [25].

При сильному розвитку зворотної ліквациї відбувається утворення крапель ліквату, так зване «випотівання» ліквату, схоже з появою крапельок поту. Наприклад, вміст олова в лікваті в бронзах з 10% Sn може досягати 20 ... 25 %. При безперервному лиття алюмінієвих сплавів на поверхні злитків утворюються напливи ліквату у вигляді смуг.

У деяких роботах передбачається, що існує швидкість затвердіння, при перевищенні якої можливо зупинити і зворотну ліквідацію.

3.1.3 Ліквідація по густині. У виливках з кольорових сплавів, які містять компоненти, які сильно різняться по густині, також відбувається їх перерозподіл по висоті з виникненням зональної ліквідації по густині. Але на противагу спливанню домішок в них відбувається опускання важких компонентів, наприклад свинцю і олова в мідних сплавах.

У рідкому стані ліквідація по густині виникає при утворенні двох незмішуваних рідких фаз. Наприклад, в свинцевій бронзі відбувається розшарування міді і свинцю. У цьому випадку ліквідація посилюється при відцентровому способі виготовлення виливків. Також при відцентровому литті посилюється ліквідація по густині, якщо затвердіння відбувається з розширенням об'єму (наприклад, для сірого чавуну) або кристали які утворюються при затвердінні мають меншу густину, ніж розплав який залишається (наприклад, при затвердінні заевтектичних силумінів первинні кристали збагачені кремнієм, меншим по густині, ніж алюміній).

Для зменшення ліквідації по щільності застосовують прийоми перемішування розплаву і збільшеною швидкістю затвердіння. У деяких випадках в сплав вводять невеликі добавки елементів, що утворюють з основою тонкі сильно розгалужені дендрити, які перешкоджають розшаруванню, наприклад добавки нікелю в свинцеві бронзи [26].

3.1.4 Дендритна ліквідація. Неоднорідність хімічного складу в межах дендритного кристалічного зерна називається «дендритних ліквідацією».

Як уже зазначалося, дифузія в твердому сплаві значно (на два порядки) менше, ніж в рідкому. Тому дендритна ліквідація проявляється навіть при відсутності зональної ліквідації. Наприклад, як зазначено вище, зональна ліквідація

сірки в виливках з вуглецевих сталей пригнічується при швидкості затвердіння, яка більша за 0,11 мм/с. Дендритна ліквіація при цій же швидкості може досягати 30 ... 100 % [27].

Особливо помітна дендритна ліквіація в виливках зі сплавів, які містять елементи з малим коефіцієнтом розподілу. Як правило, це шкідливі домішки - сірка і фосфор, коефіцієнти розподілу яких в залізі, як вже було наведено, відповідно рівні 0,05 і 0,07. Розташовуючись в міжосьових областях дендритних кристалів, домішки знижують механічні властивості, особливо пластичність. Одним із шляхів зменшення дендритної ліквіації шкідливих домішок є технологічно досяжне зниження шкідливих домішок.

До дендритної ліквіації схильні також сплави евтектичного типу, особливо сплави з широким інтервалом затвердіння. Найбільша степінь дендритної ліквіації проявляється в сплаві, який відповідає максимальному нерівноважному температурному інтервалу кристалізації. Так, в сплавах Al-Cu ($C_p = 5,65\% \text{ Cu}$) виділення евтектики ($\alpha + \text{CuAl}_2$) і максимум дендритних ліквіації фіксуються вже при 2,5 ... 3,5 % Cu. Збільшення кількості евтектики в структурі внаслідок ліквіації призводить до підвищення твердості і зниження пластичних властивостей [26].

3.2 Способи боротьби з ліквіацією

Проаналізувавши літературні джерела [28 - 33], слідє відмітити, що дендритну ліквіацію в більшості випадків вдається усунути термічною обробкою виливків, при якій за рахунок дифузійних процесів відбувається вирівнювання хімічного складу в межах кожного кристала (дендрита). Однак усунути в литві зональну ліквіацію практично неможливо, тому прагнуть попереджати її утворення, зменшуючи вміст компонентів які найбільш сильно впливають на ширину інтервалу кристалізації (для сталі, наприклад, сірка, кисень, фосфор, вуглець), створюючи технологічні конструкції виливків, з рівномірною товщиною

стінок і без масивних вузлів, вводячи в сплави добавки, які зменшують ліквацію, застосовуючи прискорене охолодження виливків.

3.2.1 Гомогенізаційний відпал - це термічна обробка, при якій головним процесом є усунення наслідків дендритних і внутрішньокристалічної ліквації в виливках із сталі. В результаті гомогенізації відбувається вирівнювання концентрації всередині зерен твердого розчину і розчинення нерівноважних надлишкових фаз. Оскільки ці процеси по своїй фізичній сутності являються дифузійними, то гомогенізаційний відпал називають також дифузійним.

Усунення ліквації досягається за рахунок високої швидкості дифузійних процесів. Для забезпечення високої швидкості дифузії сталь нагрівають до високих (1000 – 1200 °С) температур в аустенітній області. При цих температурах проходить тривала (10 - 20 год) витримка і повільне охолодження відливків з піччю. Дифузійні процеси найбільш активно протікають на початку витримки. Тому щоб уникнути великої кількості окалини, охолодження з піччю зазвичай проводять до температури 800 – 820 °С, а далі на повітрі. При гомогенізаційному відпалі виростає велике аустенітне зерно. Позбутися цього небажаного явища можна наступною термічною обробкою з повною перекристалізацією сплаву. Вирівнювання складу сталі при гомогенізаційному відпалі позитивно позначається на механічних властивостях, особливо пластичності [33].

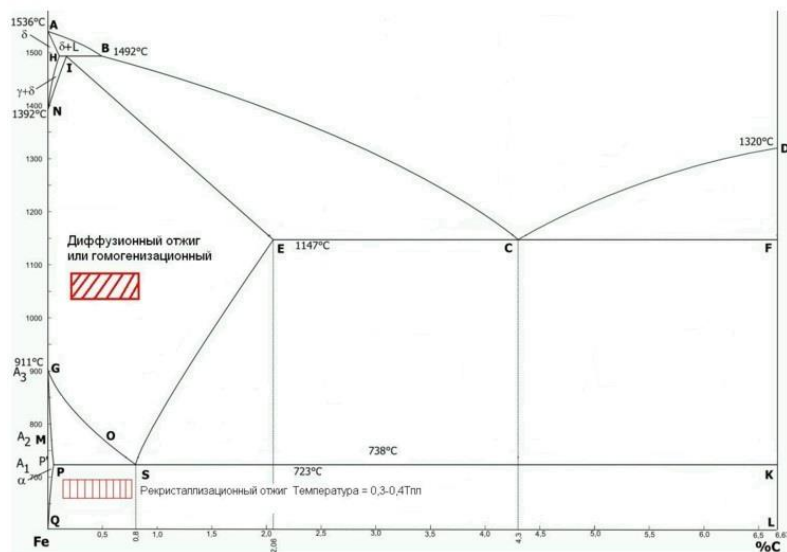
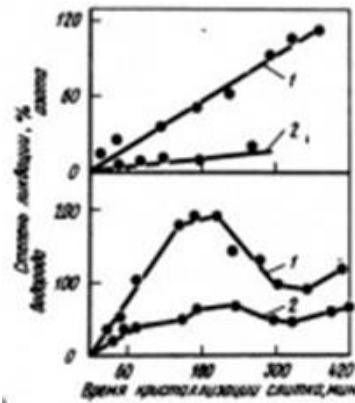


Рисунок 3.5 - Режимы нагрівання при проведенні відпалів 1-го роду

3.2.2 Введення в металевий розплав порошкоподібних мікрохолодильників. Як показали дослідження А. Л. Рижикова, В. А. Єфімова, С. С. Затуловського, одним з ефективних методів впливу на процес кристалізації є введення в металевий розплав порошкоподібних мікрохолодильників. Зняття перегріву і інтенсифікація процесу затвердіння сталі при цьому досягаються шляхом введення при розливанні в струмінь рідкої сталі залізного порошку марки ПЖ-2К. На підставі експериментальних даних, отриманих шляхом вимірювання температурних полів в зливках масою 8 т сталі 20Л, встановлено, що добавка в рідку сталь дисперсних частинок супроводжується зниженням перегріву рідкої сталі на 30 – 40 °С і збільшенням швидкості затвердіння (до 25%). Введення залізного порошку обумовлює зниження температурного градієнта в інтервалі кристалізації сталі в 1,5 - 2 рази і більше швидке його вирівнювання по перетину виливка [34].

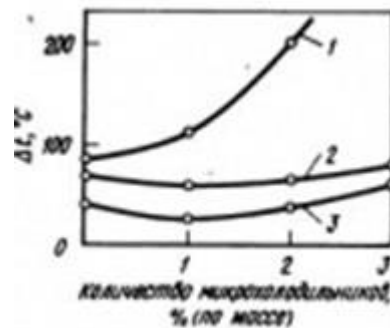
Застосування цих методів дозволило істотно підвищити однорідність і дисперсність дендритних структури, зменшити протяжність і ширину зони розвитку позацентрної і осьової хімічної неоднорідності, зменшити ліквацию і вміст газів (рис. 3.6). Встановлено також підвищення пластичних характеристик

металу, розлитого з присадками порошоків, на 30 - 50%. Введення залізного порошку при безперервній розливці сталі сприяє підвищенню швидкості витягування на 20 - 40%, усуненню осьової усадочної рихлості і підвищенню тріщиностійкості [35].



1 – звичайний виливок; 2 – виливок з мікрохолодильниками

Рисунок 3.5 – Ліквіація водню і азоту в період затвердіння виливків вуглецевої сталі



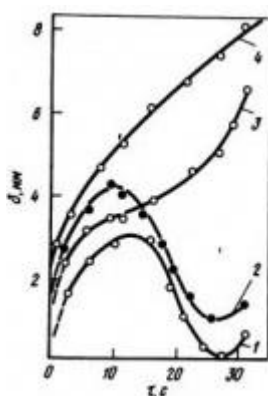
1, 3 - $T_{зал} = 1580^{\circ}C$; 2 - $T_{зал} = 1560^{\circ}C$

Рисунок 3.7 – Вплив кількості введених мікрохолодильників на перепад температур по тілу циліндричного (1) і плоского виливка (2, 3)

Досліди показали, що перепад температур по перетину виливка зі збільшенням кількості мікрохолодильників, які вводяться, спочатку зменшується (до 1,0 % по масі), а потім плавно зростає (рис. 3.7). Це пояснюється тією обставиною, що при введенні невеликої кількості мікрохолодильників (до 1,0 % по масі) останні встигають повністю розплавитися за рахунок теплоти перегріву в

об'ємі рідкого металу і при кристалізації не здійснюють ніякого впливу на теплову сторону процесу затвердіння виливка. На відміну від цього при введенні 2,0 і 3,0 % (по масі) мікрохолодильників останні не встигають розплавитися повністю до моменту початку затвердіння рідкої сталі, внаслідок чого прихована теплота кристалізації частково витрачається на їх нагрівання і плавлення. При цьому кількість тепла, яка виділяється в одиниці об'єму сталі з мікрохолодильників при її кристалізації, зменшується, що впливає на тимчасову зміну коефіцієнта теплоакumuлюючої здатності металу і, як наслідок, на зниження температури поверхні виливка [36].

Теплова дія мікрохолодильників більш істотно на початку процесу затвердіння, ніж в кінці його. Разом з тим відомо, що при незмінному температурному інтервалі кристалізації перепад температури по перетину виливки визначає ширину твердо-рідкої зони і, отже, або об'ємний, або послідовний характер затвердіння. Таким чином, з огляду на зміну перепаду температур по тілу виливка, можна зробити висновок, що отримані результати свідчать про можливу зміну характеру затвердіння як в сторону об'ємної, так і послідовної кристалізації в залежності від кількості сідає мікрохолодильників.



1 – 0 %; 2 – 0,5 %; 3 – 2 %; 4 – 3 %

Рисунок 3.7 – Залежність товщини твердіючого шару від часу контакту форми зі сталлю, яка містить різну кількість введених порошкоподібних мікрохолодильників

Введення мікрохолодильників ефективно впливає на зниження температури рідкої сталі, що сприяє збільшенню швидкості наростання твердої фази з поверхні. Крім того, мікрохолодильники, які знаходяться поблизу фронту кристалізації, до моменту свого розплавлення інтенсивно поглинають тепло [36].

Іноді для зниження перегріву розплаву при заливці в ківш або форму вводять шматочки твердого металу і сплаву, порошок або гранули. В результаті структура вилівка виходить однорідною, дрібнозернистою. На цьому принципі заснований один із способів управління процесом кристалізації.

3.2.3 Застосування хромітових і хромомагнетитових сумішей. Хроміт характеризується низьким коефіцієнтом термічного розширення, великою теплопровідністю і високою температурою плавлення. Коефіцієнт термічного розширення: - хроміту 0,007; - циркону і кварцу складають відповідно 0,003 і 0,018 - 0,024. Хромовий пісок інертний по відношенню до оксидів розплавленого металу, тому його застосування особливо ефективно при виготовленні формувальних сумішей для виготовлення виливків з високолегованих сталей, наприклад, з марганцевистих. Ця перевага хроміту перед кварцовим піском визначила його широке застосування для виготовлення формувальних сумішей при виробництві великих сталевих виливків.

Застосування замість сумішей на основі кварцового піску хромітових і хромомагнетитових сумішей, що мають істотно більший коефіцієнт теплоаккумуляції (3700 порівняно з 1628 Вт с^{1/2}/(м² К) для суміші на основі кварцового піску), дозволило виготовляти виливки зі сталі 35Л з товщиною стінки до 200 мм без утворення названих ліквацийних дефектів [37].

3.2.4 Мікролегування. Під мікролегуванням розуміють [38, 39]: введення (найчастіше поєднується з розкислюванням і дегазацією сплаву) окремих елементів або їх з'єднань, залишковий вміст яких не перевищував би 0,1%. При

цьому мікролегування значно впливає на процеси, які протікають в твердій фазі (на фазовий склад сплавів, розмір вторинного аустенітного зерна, будова і чистоту границь і прикордонних зон) і, як наслідок, на властивості металу.

Процес мікролегування відрізняється від процесу легування саме кількістю добавок, які вводяться, тому поділ цих двох понять в якійсь мірі умовно. У той же час введення невеликої кількості мікролегуючих елементів має на увазі під собою більш активний вплив добавок на розплав і деякі технологічні особливості, які, як наслідок, також відрізняють мікролегування від легування. Але мікролегування (і легування) найчастіше плутають з модифікуванням або розкисленням, а це невірно, так механізм впливу на структуру і властивості сталей і сплавів в цих випадках абсолютно різний.

Зазвичай процедуру мікролегування виконують в розливочних ковшах [40]. За допомогою операції мікролегування поліпшуються експлуатаційні властивості литих деталей.

Для мікролегування стали застосовують Al, Ca, Mg, B, Ba і N; а також тугоплавкі метали (Zr, Ti, Nb, V), рідкоземельні метали (Ce, La, Y і ін.) і їх суміші (мішметалл, ферроцерій). Оптимальним вважається вміст рідкісноземельних металів (РЗМ) в сталях 0,02 - 0,05 %, бору в конструкційних сталях 0,001 - 0,002 %, в нержавіючих і жароміцних сталях - 0,0015 - 0,002%. Мікролегування сталей рідкоземельними металами застосовують для отримання контрольованої форми неметалічних включень, а також зниження ліквіації (зональної і дендритних).

Мікролегування сталей є порівняно молодим способом обробки, тому дослідження в цій області, звичайно ж, тривають, з'являються нові дані. Так, наприклад, в роботі [41] викладені результати дослідження впливу мікролегування на мартенситних перетворення реакторних сталей. У статті [42] розглядається мікролегування хромоалюмінієвих сталей, а також їх модифікування ітрієм, кальцієм, ванадієм і цирконієм. У збірнику доповідей Науково-практичної

конференції "Інноваційні технології позапічної обробки чавуну і сталі" (Україна) опублікована доповідь [43], яка присвячена перевагам непічного мікролегування сталі порошковим дротом з молібденом, ніобієм і ванадієм. В роботі [44] рекомендується застосовувати легування сталі 20 ГЛ Ni і Cr в кількості 0,3 - 0,4 %.

3.3 Процеси позапічної обробки сталі

Первинно всі процеси, які проводять до необхідного хімічного складу (операції легування, розкислювання, рафінування, модифікування) та температури, виконувались безпосередньо в сталеплавильному агрегаті. Це приводило до збільшення часу плавки (відповідно зниження продуктивності агрегату) і збільшеного використання легуючих елементів (які можуть бути дуже дорогими). Поступово вищеперераховані операції стали переносити в сталерозливочні ковші і спеціальні агрегати [45].

Данні процеси отримали назву позапічної обробки сталі або ковшової металургії.

Позапічна обробка почала активно використовуватися з 60^{-х} років ХХ сторіччя, головним чином для підвищення висоти продуктивності дугових сталеплавильних печей і конвертерів, які дозволяють вивести частину процесів, наприклад рафінування з цих агрегатів у ківш.

Початок реалізація сучасних позапічних процесів показав, що вони не тільки суттєво покращують якість (механічні властивості, корозійну стійкість, електротехнічні показники та ін.), і дають можливість отримувати сталь з принципово новими властивостями.

Піддавати позапічній обробці можливо сталь, виплавлену будь-якими способами. Таким чином, позапічна обробка сталі дозволяє:

- збільшити продуктивність основного сталеплавильного агрегату за рахунок виведення операцій розкислення, рафінування та легування в агрегат позапічної обробки;
- підвищити якість металу за рахунок видалення шкідливих газових домішок і неметалічних включень;
- підвищити ефективність процесів розкислення, дефосфорації та десульфурації;
- забезпечити більш точне відтворення хімічного складу металу;
- отримувати метал з принципово новими властивостями;
- забезпечити необхідну температуру металу перед розливкою;
- зменшити угар дорогих легуючих елементів.

Металургійні процеси, які забезпечують отримання вказаних результатів, протікають ефективніше при позапічній обробці, завдяки чому [46]:

- створюються найбільш сприятливі термодинамічні умови для розвитку даного процесу, зокрема наводки шлаку, який забезпечує більш глибокі дефосфорацію і десульфурацію;
- збільшення швидкості взаємодії з газовою фазою або шлаком внаслідок отримання дрібнення металу на порції (каплі) з розвиненою контактною поверхнею;
- підвищується інтенсивність масопереносу в металі в результаті його дрібнення на порції (каплі) і, як наслідок, збільшується градієнт концентрації розчинених в ньому елементів.

Методи позапічної обробки можуть бути умовно розділені на прості (обробка одним способом) і комбіновані (обробка металу декількома способами одночасно). До простим методом відносяться:

- обробка металу вакуумом;
- продувка інертним газом;

- обробка металу синтетичним шлаком, рідкими і твёрдими шлаковими сумішами;
- введення реагентів в глибину металу.

Основними недоліками перерахованих простих способів обробки металів є: необхідність перегріву рідкого металу в плавному агрегаті для компенсації падіння температур металу при обробці в ковші і обмеженість можливостей впливу на метал [46].

Найкращі результати впливу на якість металу досягаються при використанні комбінованих або складних способів, коли в одному або декількох послідовно розташованих агрегатах виконується ряд операцій. Вибір необхідного обладнання визначає той чи інший технологічний процес обробки металу.

Позапічна обробка металу комбінованими методами може виконуватись:

- в звичайному сталерозливочному ковші;
- в сталерозливочному ковші, обладнаному для вдування газу або газопорошкового струменю, знизу через змонтовані в дні пристрої;
- в установці ківш-пічка з кришкою (склепінням), через яку опущені електроди, які нагрівають метал у процесі його обробки;
- в агрегаті типу конвертера з продувкою металу киснем, аргоном;
- в агрегаті типу конвертера, який оснащено обладнанням для вакуумування і т. п.

3.3.1 Обробка сталі вакуумом. Вакуумування металу здійснюється основний чином у сталерозливочному ковші. Найкращі результати при цьому отримують при вакуумуванні нерозкисленого металу. За рахунок створення розрідження над поверхнею металу відбувається інтенсивне виведення бульбашок розчинених у ньому газів - водню, азоту та монооксиду вуглецю. Також до поверхні цих бульбашок прилипають неметалічні включення, які виводяться на поверхню металу і переходять у шлак. Крім того, розчинний в металевому кисень

взаємодіє з вуглецем, завдяки чому цей процес використовується і для отримання безвуглицевих корозійностійких сталей [47]. Після інтенсивної дегазації в металевій зверху із розміщеного в вакуумній камері бункера вводять розкислювач і легуючі добавки.

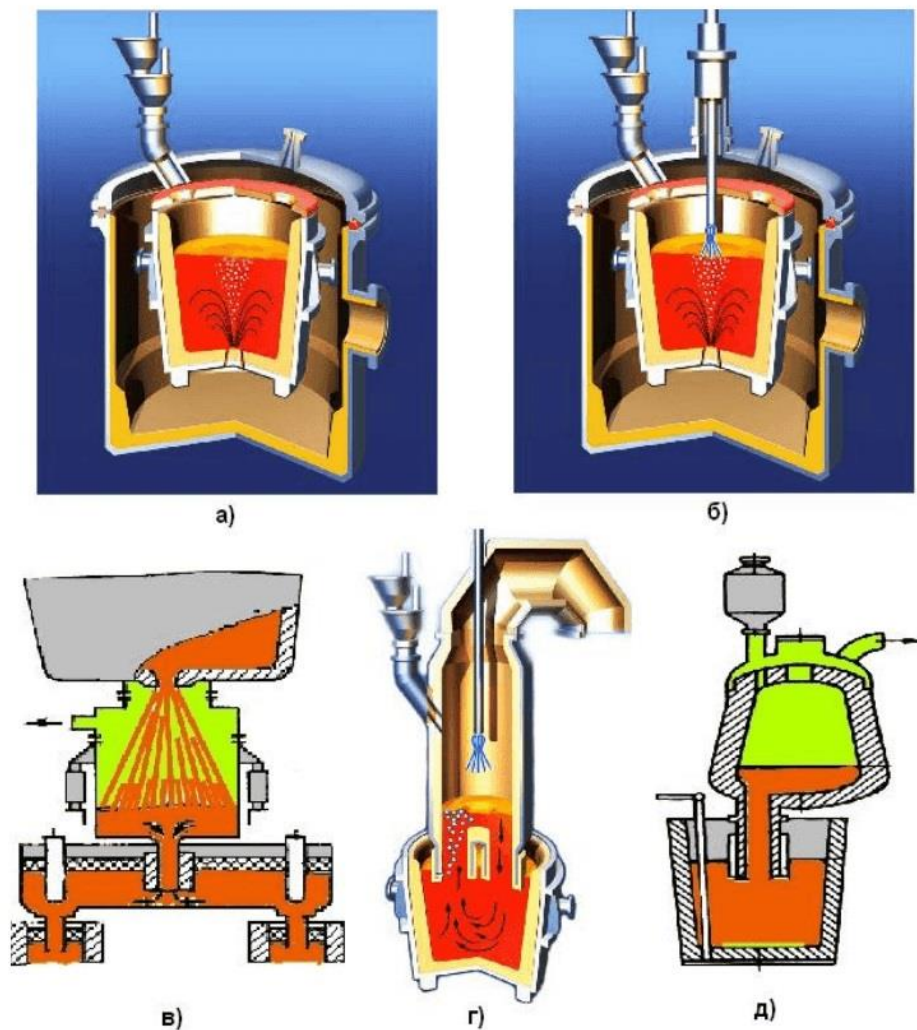
Відомі два різновиди процесу:

- VD - вакуумна дегазація металу;
- VOD - вакуумно-кисневе зневуглецювання, при якому для видалення вуглецю з металу використовують продувку киснем.

Однак у останній час все більше розповсюдження отримали комбіновані агрегати, які поєднують в собі ці різновиди.

В даний час найбільш розповсюдженими способами обробки металу в ковші є:

- розміщення ковша з металом у вакуумній камері, наступне перемішування металу інертним газом і введення розкислювачів з бункера, даний метод часто називається «ковшовим вакуумуванням» (рис. 3.8, а), аналогічним чином відбувається і зневуглецювання металу (рис. 3.8, б);



а) камерне вакуумування; б) знеуглецювання сталі; в) струмінне вакуумування; г) циркуляційне вакуумування; д) порційне вакуумування

Рисунок 3.8 – Схеми вакуумування сталі:

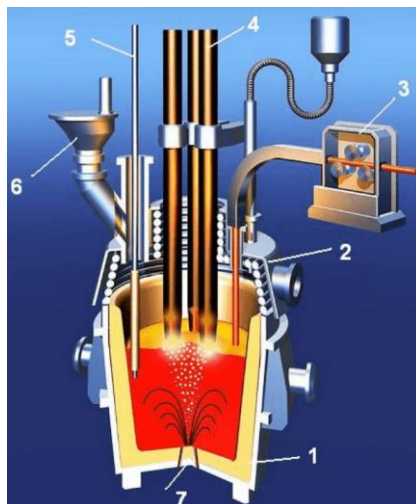
- вакуумування при переливі з ковша в ківш або з ковша в виливницю. Так як обробці вакууму піддається «струмінь» металу, то даний метод інколи називають «струмінним вакуумуванням» або «вакуумуванням струменя» (рис. 3.8, в);
- циркуляційне вакуумування, коли метал під дією вакууму всмоктується в спеціальну камеру, де і відбувається видалення різних домішок (рис. 3.8, г);
- порційне вакуумування, при якому метала закачується в камеру вакуумування окремими порціями (рис. 3.8, д).

3.3.2 Агрегат «піч-ківш». Найбільш ефективним прийомом позапічної обробки сталі є комплексна обробка розплаву в сталерозливочному ковші із застосуванням потужного джерела високотемпературного місцевого нагріву, яке забезпечує постійну компенсацію теплових втрат. Агрегати, які забезпечують нагрів та перемішування сталі в ковші, її рафінування та корегування хімічного складу, отримали назву «піч-ківш» [48].

Піч-ківш представляє з себе єдину установку, яка складається з кришки для ковша з отворами, через які встановлено три електроди. Під кришкою розміщується сталерозливочний ківш з металом після випуску з сталеплавильної печі. Крім того, в установці «піч-ківш» за звичай також входять пристрої для перемішування металу інертним газом, система подачі феросплавів та матеріалів для рафінування у ковші.

На даний момент безперервне введення різних речовин (вуглецю, розкислювачів, модифікаторів) проводять із застосуванням порошкової проволочки, яка має у своєму перетині коло або прямокутник, стальна оболонка якої зазвичай завальцьована. Така проволочка великої довжини розміщується в котушках на металічній або дерев'яній рамі.

Введення порошкової проволочки в розплав здійснює по направляючій трубці за допомогою спеціального трайбапарату, який складається із подаючого та розмотуючого пристроїв. Схема установки «піч-ківш» виробника фірми SMS Mevac приведена на рис. 3.9.



1 - ковш; 2 - кришка-склепіння; 3 - трайбапарат для подачі проволочки; 4 - електроди; 5 - фурма для вдування порошкоподібних матеріалів; 6 - пристрій для подачі сипучих феросплавів та флюсів; 7 - пориста пробка для подачі аргону

Рисунок 3.9 – Схема установки «під-ковш»

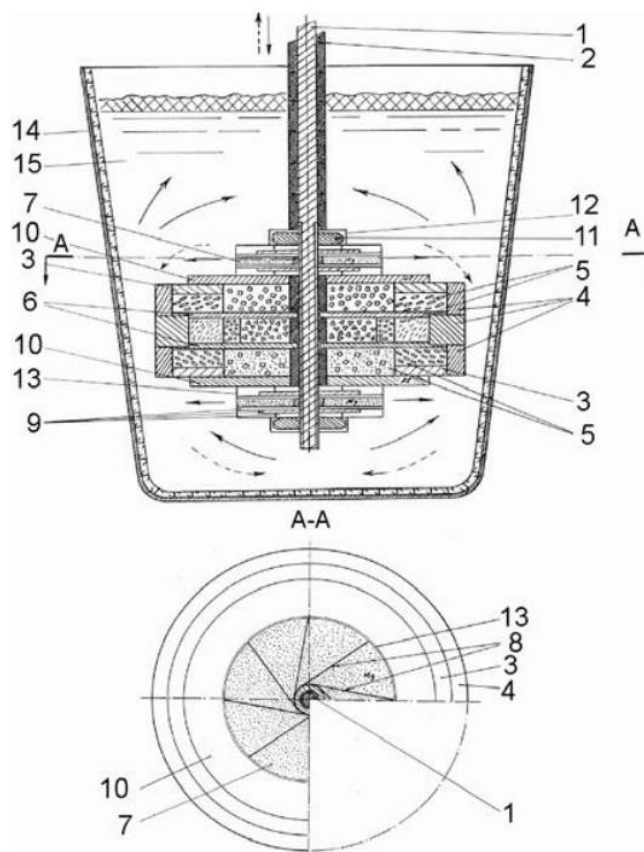
3.3.3 Імпульсно-динамічні пристрої. Одним з недавно запропонованих є спосіб позапечної обробки сталі в ковші з застосуванням імпульсно-динамічного пристрою (ІДП). Це пристрій завдяки своїй простоті істотно дешевше, ніж установка під-ковш і може виконувати її основні функції [49].

Імпульсно-динамічний пристрій (рис. 3.10), представляє з себе касету (картридж), заповнену матеріалами, необхідними для обробки сталі в ковші. Матеріали розташовуються в касеті в необхідному порядку в секторах, які розділені плавкими перегородками-сегментами.

За допомогою імпульсно-динамічного пристрою можливо виконувати операції розкислення, легування, рафінування, модифікування, дегазації, видалення шлаку, усереднення хімічного складу і температури.

Перемішування металу в ковші здійснюється за рахунок використання реактивної енергії струменевих течій, які утворюються за допомогою струменево-вихрових змішувачів (рис. 3.11), які працюють на основі випаровування активної складової (Mg або Ca) і екзотермічних реакцій окислення домішок, що дозволяє

розраховувати на ефективне перемішування при рафінуванні сталі. Час обробки за допомогою цього пристрою не перевищує 10 хв [50].



1 - сталевий стержень; 2 - футеровочні термостійкі втулки; 3 - горизонтальні стінки; 4 - складова обичайка; 5 - кільцеві елементи з реагентів; 6 - перегородки; 7 - шар магнею; 8 - направляючі елементи; 9 - тепловий екран; 10 - алюмінієві пластини; 11 - опора; 12, 13 - захисний кожух; 14 - сталерозливний ківш; 15 – розплав

Рисунок 3.10 – Схема імпульсно-динамічного пристрою

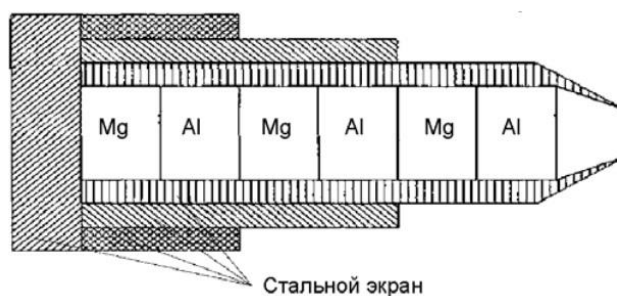


Рисунок 3.11 – Схема розташування елементів в касеті ІДП

Пристрій вводиться в ківш з металом за допомогою підйомного механізму і екранного модуля. Під час обробки виконують поперемінні підйом і опускання ІДП з метою додаткового перемішування металу в ківші.

У науковій частині роботи наводиться теоретичне обґрунтування і експериментальне підтвердження придатності і доцільності використання методів попередження ліквіації в сталі, з позиції економічної придатності та отримання сталі 35Л з необхідними технологічними властивостями. Також у науковій частині роботи розкривається вплив швидкості охолодження, мікролегування, введення в розплави мікрохолодильників та рафінування, на сталь 35Л, механізм трансформації при цьому її властивостей, який ґрунтується на зупиненні ліквіаційних процесів при використанні позапічної обробки.

Висновки по третьому розділу

- 1 Ліквіація (сегрегація) - це неоднорідність хімічного складу сплавів, що виникає під час їхньої кристалізації, оскільки, на відміну від чистих металів, сплави кристалізуються в інтервалі температур. Чим ширший температурний інтервал кристалізації, тим інтенсивніше розвивається ліквіація.
- 2 Розрізняють зональну ліквіацію (пряму та зворотну), внутрішньокристалічну (дендритну) та ліквіацію за густиною (гравітаційну сегрегацію).
- 3 Ліквіація, як правило, негативно впливає на якість металу і призводить до нерівномірності його властивостей. Особливе значення вона має у сталі.

4 Кількісно ліквацийні властивості елементів характеризуються коефіцієнтом розподілу $K_{роз}$, де $K_{роз} < 1$ свідчить про сильну ліквацию елемента, а $K_{роз} \approx 1$ – про її практичну відсутність. Наприклад, у залізі сірка і фосфор ліквують сильно ($K_{роз} = 0,05$ і $0,07$ відповідно), а нікель і хром – майже ні ($K_{роз} = 0,80$ і $0,95$).

5 Пряма зональна ліквация призводить до збагачення поверхні вилівка більш тугоплавкими компонентами, а серцевини – менш тугоплавкими. Виникнення V-подібної осьової та Л-подібної (неосьової) ліквациї (дефектів) безпосередньо спричинене усадковими переміщеннями металу, який затвердіває.

6 Встановлено, що V- і Л-подібні дефекти не виникають, якщо швидкість затвердіння перевищує певну величину. Наприклад, для усунення ліквациї сірки в сталі 20К швидкість повинна бути більшою за $0,11$ мм/с, а фосфору – більшою за $0,047$ мм/с. Існує швидкість затвердіння, при перевищенні якої пригнічується пряма зональна ліквация і досягається хімічна макрооднорідність.

7 Дендритна ліквация – неоднорідність хімічного складу в межах дендритного кристалічного зерна. Вона може досягати 30...100 % навіть при швидкостях затвердіння, які пригнічують зональну ліквацию.

8 Способи боротьби з ліквациєю:

- гомогенізаційний відпал (дифузійний). Успішно усуває наслідки дендритної та внутрішньокристалічної ліквациї за рахунок дифузійних процесів при високих температурах ($1000...1200$ °C), але зональну ліквацию усунути практично неможливо;
- прискорене охолодження. Застосування хромітових і хромомагнетитових сумішей, які мають більший коефіцієнт теплоаккумуляції, дозволяє виготовляти вилівки з більшою товщиною стінки без ліквацийних дефектів;
- мікроохолодильники. Введення в рідку сталь порошкоподібних мікроохолодильників (наприклад, залізного порошку) знижує перегрів, збільшує швидкість затвердіння та зменшує ліквацию;

- мікролегування. Введення окремих елементів (Al, Ca, Mg, PЗМ тощо) у кількості до 0,1% сприяє зниженню зональної і дендритної ліквідації.

9 Методи попередження ліквідації, такі як мікролегування, введення мікрохолодильників та рафінування з використанням позапічної обробки, є економічно доцільними для отримання сталі 35Л з необхідними технологічними властивостями та хімічною макрооднорідністю.

ВИСНОВКИ

В першому розділі магістерської роботи обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху, описано роботу плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержньового, сумішоприготувального, очисного відділень, дільниць обрубки виливків, модельного оснащення та готової продукції, визначені площі під лабораторії та комори, адміністративних та побутових приміщень. У відповідності з технологічним процесом виготовлення виливків, підібрано обладнання плавильного, формувального-заливно-вибивного, стержневого та очисного відділень. Приведено опис процесів плавки сплаву СЧ, приготування формувальних і стержневих сумішей, виготовлення ливарних форм і стержнів.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі, розроблені технічні умови на відливки, технологія виготовлення відливка, виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості відливків.

В науковому розділі магістерської роботи встановлено що ліквация, як правило, негативно впливає на якість металу і призводить до нерівномірності його властивостей. Особливе значення вона має у сталі. Кількісно ліквацийні властивості елементів характеризуються коефіцієнтом розподілу $K_{роз}$, де $K_{роз} < 1$ свідчить про сильну ліквацию елемента, а $K_{роз} \approx 1$ – про її практичну відсутність. Наприклад, у залізі сірка і фосфор ліквують сильно ($K_{роз} = 0,05$ і $0,07$ відповідно), а нікель і хром – майже ні ($K_{роз} = 0,80$ і $0,95$). Пряма зональна ліквация призводить до збагачення поверхні вилівка більш тугоплавкими компонентами, а серцевини – менш тугоплавкими. Виникнення V-подібної осьової та Л-подібної (неосьової) ліквация (дефектів) безпосередньо спричинене усадковими переміщеннями металу, який затвердіває. V- і Л-подібні дефекти не виникають, якщо швидкість затвердіння перевищує певну величину. Наприклад, для усунення ліквация сірки

в сталі 20К швидкість повинна бути більшою за 0,11 мм/с, а фосфору – більшою за 0,047 мм/с. Існує швидкість затвердіння, при перевищенні якої пригнічується пряма зональна ліквация і досягається хімічна макрооднорідність. Методи попередження ліквации, такі як мікролегування, введення мікрохолодильників та рафінування з використанням позапічної обробки, є економічно доцільними для отримання сталі 35Л з необхідними технологічними властивостями та хімічною макрооднорідністю

ЛІТЕРАТУРА

1. Технология литейного производства: специальные виды литья. Учебник для ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с.
2. Литейное производство: Учебник для металлургических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987, – 256 с.
3. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271 с.
4. Проектирование машиностроительных заводов и цехов. Справочник. В шести томах. Т.2. Проектирование Литейных цехов и заводов / Под ред. Е. С. Ямпольского – М.: Машиностроение, 1974. – 294 с.
5. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502. /Сост. И.Н.Москалев, Л.П.Миронов. – Кировоград: КИСХМ, 1985. – 76 с.
6. Основы проектирования литейных цехов и заводов: Учебник для вузов по специальностям "Машины и технология литейного производства" и "Литейное производство черных и цветных металлов" / Под ред. Б. В. Кнорре – М.: Машиностроение, 1979. – 376 с.
7. Сафронов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. – М.: Машиностроение, 1985, – 320 с.
8. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. Учебник для машиностроительных вузов. 2е изд. перераб. – М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.
9. Зайгеров И. Б. Оборудование литейных цехов. Учебное пособие для вузов по специальности "Машины и технология литейного производства". – Мн.: Выш. школа, 1980. – 368 с.
10. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. – Київ: Наукова думка, 1993. 552 с.

11. Титов Н. Д., Степнов Ю. А. Технология литейного производства: Учебник для машиностроительных техникумов. 2е изд. перераб. – М.: Машиностроение, 1993. – 342 с.
12. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Технология литейной формы» для студентов специальности 0502 / Миронов В.С., Телин В.М., Кудя В.И. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 88 с.
13. Степанов Ю. А., Баландин Г. Ф., Рыбкин В. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1983, – 287 с.
14. Теоретические основы литейной технологии / Под ред. К. И. Ващенко – К.: Вища школа, 1981. – 318 с.
15. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Технология литейной формы» для студентов специальности 0502 // Миронов В.С., Телин В.М., Кудя В.И. – Кировоград: КИСМ, 1985. – 88 с.
16. Ю. Сорокин, М. Ершов. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы. – М.: Машиностроение, 2005, – 528 с.
17. Чернов Д. К., Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету, в кн.: Д. К. Чернов и наука о металлах. – Л.-М.: Машиностроение, 1950. – 564 с.
18. Голиков И.Н. Дендритная ликвация в стали. – М.: Metallurgizdat, 1958. - 207 с.
19. https://dic.academic.ru/dic.nsf/brokgauz_efron/61269/Ликвация
20. <http://metal-archive.ru/liteynoe-proizvodstvo/1136-likvaciya-v-otlivkah.html>
21. Голиков И.Н., Масленков С.Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. – М.: Metallurgiya, 1977. – 224 с.
22. Ершов Г.С., Позняк Л.А. Микронеоднородность металлов и сплавов. – М.: Metallurgiya, 1985, – 214 с.

23. Циммерман Р., Гюнтер К. Металлургия и материаловедение. Справ изд. Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1982. – 480 с.
24. Дефекты стали / Под ред. С. М. Новокщеной, М. И. Виноград: Справочник. – М.: Металлургия, 1984. – 200 с.
25. Трухов А. П. Литейные сплавы и плавка: Учебник для студентов вузов. – М.: Академия, 2004. – 336 с.
26. Брик В.Б. Диффузия и фазовые превращения в металлах и сплавах. – К.: Наук. думка, 1985. – 232 с.
27. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
28. <http://metal-archive.ru/mikroneodnorodnost/862-dendritnaya-likvaciya-v-stalyah-i-splavah.html>
29. Л. Ван Флек. Теоретическое и прикладное материаловедение. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.
30. Материаловедение / под ред. Арзамасова Е.Н. - М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
31. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1986.– 478 с.
32. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
33. Блатнер М.Е. Теория термической обработки. – М.: Металлургия, 1984. – 327 с.
34. Производство стальных отливок: Учебник для вузов / Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. и др./ Под ред. Л. Я. Козлова. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.
35. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.

36. <http://metal-archive.ru/mikroneodnorodnost/873-vliyanie-mikroholodilnikov-na-mikroneodnorodnost-staley-i-splavov.html>
37. <https://studfile.net/preview/5226302/page:4/>
38. Леках С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. – Мн.: Наука и техника, 1992. – 269 с.
39. Гольдштейн Я. Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. - М.: Metallurgia, 1986. – 272 с.
40. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
41. Влияние микролегирования на мартенситное превращение и свойства реакторных сталей / Нетесов В. М., Березняк П. А., Ожигов Л. С., Хандак В. В. // Вопросы атомной науки и техники. 2003. - №6. – С. 24 - 27.
42. Микролегирование и модифицирование литейных жаростойких хромоалюминиевых сталей / В. Г. Могилатенко, Г. Е. Федоров, М. М. Ямшинский, Е. А. Платонов, А. Е. Кузьменко // Оборудование и инструмент: Металлообработка. 2007. - №2. – С. 34 - 39.
43. Особенности использования благородных ферросплавов для микролегирования стали при внепечной обработке расплава / Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А. // Сб. науч. трудов НПК "Инновационные технологии внепечной обработки чугуна и стали". – ДНТУ. – 2011. - доклад 18.
44. Мануева М.С. Исследование микролегирования, модифицирования и термической обработки на ударную вязкость стали 20 ГЛ при низких температурах для отливок железнодорожного транспорта: Дисс. канд. тех. наук: 05.02.01 / БГТУ. – Брянск, 2006. – 181 с.
45. Баптизманский В.И., Величко А.Г., Исаев Е.И. Внепечная обработка стали: Учеб. пособие – К.: УМК ВО, 1988. – 52 с.
46. Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарёв А.Ф. Внепечная обработка стали: Учебник для вузов. – М.: МИСИС, 1995. – 256 с.

47. Морозов А.Н. и др. Внепечное вакуумирование стали. – М.: Metallurgia, 1975. – 288 с.
48. Дюдкин Д.А. и др. Производство стали на агрегате ковш-печь. – Донецк: Юго-Восток Лтд, 2003.– 300 с.
49. <https://metallurgist.pro/protsessy-vnepечноj-obrabotki-stali/>
50. Скляр В.А. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии: Учебное пособие. – Донецк.: ДонНТУ, 2014. – 224 с.

ДОДАТКИ