

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Механіко-технологічний факультет

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»

Зав. кафедрою МЛВ

к.т.н. доцент

_____Олександр КУЗИК

“ ____ ” _____ 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем

вищої освіти

на тему

**«Розробка технологічного процесу виготовлення виливка
“Кронштейн” зі сталі 35Л у піщано-глинянисту форму»**
«Development of a technological process for manufacturing a "Bracket"
casting from 35L steel in a sand-clay mold»

Виконав здобувач вищої освіти:

IV курсу, групи ПМ-22мб-1

«Комп'ютерний інжиніринг технологій,

робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Цируленко О.В.

Керівник роботи:

к.т.н. доцент _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

Кропивницький – 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри _____

к.т.н. доцент, Олександр КУЗИК

“ _____ ” _____ 2025 року

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

Цируленко Олександр Валерійович

1. Тема роботи: "Розробка технологічного процесу виготовлення виливка "Кронштейн" зі сталі 35Л у піщано-глинянисту форму"
2. Керівник роботи Кузик Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент
Затверджені наказом вищого навчального закладу від "2" січня 2025 року № 9-02
3. Строк подання роботи до захисту "16" червня 2025 року
4. Метою роботи є розробка раціональної технології виготовлення виливка типу "Кронштейн" зі сталі 35Л у піщано-глинясту форму, яка забезпечить високу якість відливки, мінімізацію дефектів та відповідність заданим технічним вимогам.
Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:
 - проаналізувати конструкцію виливка та визначити вимоги до його якості;
 - вибрати відповідну марку сталі для виготовлення виливка з урахуванням умов експлуатації;
 - обґрунтувати вибір формових матеріалів та типу форми;
 - провести розрахунок припусків, формувальних ухилів, ливникової та живильної систем;
 - розробити технологічну схему виготовлення виливка;
 - визначити методи контролю якості та запобігання типових дефектів;
 - оцінити заходи безпеки при виконанні ливарних робіт.
8. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельноливарних вказівок; 2) креслення ливарної форми в зборі

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Дата видачі завдання

«4» 04 2025 року

Керівник роботи

_____ Олександр КУЗИК

Завдання прийнято до виконання

«_____» _____ 2025 року

_____ Олександр ЦИРУЛЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти виконав здобувач вищої освіти Цируленко Олександр Валерійович студент IV курсу, групи ПМ-22мб-1, ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк» спеціальності 131 Прикладна механіка на тему "Розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Кронштейн» зі сталі 35Л у піщано-глинянисту форму", ЦНТУ, 2025. 56 с.

У даній кваліфікаційній роботі представлено комплексну розробку технологічного процесу виготовлення виливка складної форми — кронштейна — зі сталі марки 35Л, із застосуванням піщано-глиняної ливарної форми. Об'єктом дослідження є виливок, що має складну конфігурацію з наскрізними отворами, ребрами жорсткості та різною товщиною стінок, що вимагає врахування численних технологічних факторів під час розробки процесу лиття.

У роботі виконано аналітичний огляд конструкції деталі, розглянуто її функціональне призначення та умови експлуатації, що зумовлюють високі вимоги до міцності, точності й довговічності. Вибір марки сталі 35Л обґрунтовано на підставі її фізико-механічних властивостей, а також ливарної придатності, економічної доцільності та можливості подальшої механічної обробки.

Розробка охоплює етапи вибору методів формування, проектування модельної та стержневої оснастки, розрахунку припусків на обробку, ухилів, радіусів галтелей, побудови ефективної ливниково-живильної системи. Наведено технічне обґрунтування вибору формувальної суміші, стержневої технології, а також виконано розрахунок маси виливка та шляхів компенсації усадки.

Особливу увагу приділено аналізу можливих дефектів литва та заходам з їхнього запобігання, вибору режимів плавлення та заливання сталі. Враховано сучасні вимоги до якості, точності та безпеки технологічного процесу.

Результати дослідження можуть бути впроваджені у практику ливарного виробництва для виготовлення складних сталевих деталей типу «Кронштейн» в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.

ABSTRACT

This bachelor qualification thesis presents the comprehensive development of a technological process for producing a complex-shaped steel casting — a “Bracket” made of 35L steel — using a sand-clay mold. The casting under study features multiple through-holes, variable wall thicknesses, and stiffening ribs, making it a technologically demanding part that requires precise process planning.

The study begins with a detailed analysis of the bracket's design and its operating conditions, which dictate the need for high strength, dimensional accuracy, and operational reliability. The choice of 35L steel is justified by its balanced mechanical characteristics, casting suitability, reasonable cost, and compatibility with post-casting machining and heat treatment.

The project includes selection of the molding method, calculation of allowances, draft angles, and fillet radii, and the design of a gating and riser system to ensure proper feeding and shrinkage compensation. The sand-clay mold is chosen for its flexibility, cost-effectiveness, and suitability for small batch production.

Special attention is given to the prevention of typical casting defects, analysis of shrinkage behavior, and optimization of pouring parameters. The technological solution includes equipment selection, composition of core and molding mixtures, melting method for steel, and safety requirements.

The outcomes of the project are applicable for the production of critical steel components such as brackets in single or small series production environments, with improved casting quality, reduced defect rates, and optimized process efficiency.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВИЛИВКА ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ.....	10
1.1 Призначення та умови експлуатації деталі типу “Кронштейн”.....	10
1.2 Конструкційні особливості та вимоги до точності.....	12
1.3 Властивості сталі 35Л та обґрунтування її вибору.....	15
1.3.1 Обґрунтування вибору сталі 35Л.	16
1.4 Типові дефекти сталевих виливків та шляхи їх запобігання.....	17
Висновки до розділу.....	19
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА.....	20
2.1 Вибір методу формування: піщано-глиняста форма.....	20
2.1.1 Вибір формувальної та стержневої суміші.....	21
2.2 Аналіз положення виливка у формі та побудова моделі.....	23
2.3 Розрахунок припусків, ухилів, галтелей.....	25
2.4 Вибір модельної та стержневої оснастки.....	27
2.5 Розрахунок маси виливка та шляхи усадки.....	29
2.5.1. Розрахунок маси виливка.....	29
2.5.2. Шляхи усадки при литті.....	30
2.6. Побудова ливниково-живильної системи.....	31
2.6.1. Розрахунок і побудова живильної системи.....	31
2.6.2. Розробка ливникової системи.....	33
2.7. Технологія плавлення сталі та заливання форми.....	38
2.7.1. Технологія плавлення сталі 35Л.....	38
2.7.2. Технологія виготовлення і заливання піщано-глиняної форми.....	40
Висновки до розділу.....	43
РОЗДІЛ 3. ОЧИЩЕННЯ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА.....	44

3.1 Очищення виливка та термічна обробка.....	44
3.1.1 Очищення виливка.....	44
3.1.2. Термічна обробка.	45
3.2 Методи контролю якості виливка.....	45
3.3 Заходи безпеки при виготовленні литих сталевих деталей.....	47
3.4. Охорона праці та захист навколишнього середовища.....	49
3.4.1. Охорона праці при виготовленні литих сталевих деталей.....	49
3.4.2. Захист навколишнього середовища.....	50
Висновки до розділу.....	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	52
Список використаних джерел.....	53
Додатки.....	56

ВСТУП

Ливарне виробництво є одним із ключових напрямів сучасного машинобудування, що забезпечує виготовлення широкого спектру деталей складної геометрії з різних конструкційних матеріалів. Одним з основних напрямів лиття залишається виготовлення виливків у піщано-глинясті форми завдяки їх технологічній гнучкості, низькій собівартості та придатності до дрібносерійного й одиничного виробництва.

У сучасних умовах підвищених вимог до якості литих заготовок особливого значення набуває розробка ефективних технологічних процесів виготовлення виливків, які дозволяють мінімізувати дефекти, забезпечити точність геометричних розмірів і задані механічні властивості. Особливе місце займає виготовлення відповідальних деталей зі сталей, таких як сталь 35Л, яка поєднує хорошу оброблюваність, високу міцність і зносостійкість. У даній роботі розглядається виготовлення виливка типу «Кронштейн», що має складну просторову форму, значну товщину стінок і потребує ретельного підходу до вибору ливникової системи, живильників і конструкції форми.

Розробка технології лиття кронштейна передбачає послідовне виконання аналізу конструкції деталі, вибору матеріалу форми, розрахунку припусків на механічну обробку, побудови ливниково-живильної системи, вибору способу плавлення сталі, визначення режимів заливки та методів контролю якості.

Актуальність теми зумовлена необхідністю вдосконалення технологічного процесу виготовлення відповідальних сталевих виливків, підвищенням їх якості, зниженням витрат матеріалів, енергії та часу на виготовлення, що є важливим чинником у конкурентному виробництві.

Таким чином, розробка ефективного технологічного процесу виготовлення виливка «Кронштейн» зі сталі 35Л має практичне значення як з точки зору підвищення якості продукції, так і з погляду оптимізації виробництва в цілому.

Метою роботи є розробка раціональної технології виготовлення виливка типу “Кронштейн” зі сталі 35Л у піщано-глинясту форму, яка забезпечить високу якість відливки, мінімізацію дефектів та відповідність заданим технічним вимогам.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- проаналізувати конструкцію виливка та визначити вимоги до його якості;
- вибрати відповідну марку сталі для виготовлення виливка з урахуванням умов експлуатації;
- обґрунтувати вибір формових матеріалів та типу форми;
- провести розрахунок припусків, формувальних ухилів, ливникової та живильної систем;
- розробити технологічну схему виготовлення виливка;
- визначити методи контролю якості та запобігання типових дефектів;
- оцінити заходи безпеки при виконанні ливарних робіт.

Об’єктом дослідження є виливок типу “Кронштейн”, що виготовляється зі сталі 35Л у піщано-глинясту форму.

Предмет дослідження – технологічний процес виготовлення виливка “Кронштейн”, зокрема методи формування, вибір матеріалів, параметри ливникової системи, способи контролю якості.

Практичне значення роботи. Результати розробки можуть бути впроваджені на ливарних підприємствах для виготовлення серійних або одиничних виливків типу “Кронштейн” зі сталі 35Л, зменшуючи відсоток бракованої продукції, покращуючи якість лиття та підвищуючи ефективність виробництва. Запропонована технологія може також бути адаптована до виготовлення аналогічних деталей з інших сталей або сплавів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВИЛИВКА ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ

1.1 Призначення та умови експлуатації деталі типу “Кронштейн”

Кронштейн є одним із конструктивних елементів, який широко застосовується у різних галузях машинобудування. Його основне призначення полягає у забезпеченні жорсткого кріплення або фіксації деталей і вузлів відносно опорної конструкції. Кронштейни зазвичай працюють у режимах згину, розтягування, стиску або крутіння, сприймаючи статичні й динамічні навантаження, а також вібрації та удари.

У конкретному випадку досліджувана деталь типу "Кронштейн" призначена для встановлення в умовах механічного навантаження, при якому вона передає зусилля від однієї частини механізму до іншої. За наявними конструктивними ознаками, зокрема отворами під кріпильні елементи, різьбовими зонами, ребрами жорсткості та змінною товщиною перерізу, можна зробити висновок, що дана деталь виконує функцію фіксації, опори або з'єднання вузлів, які мають змінні або циклічні навантаження.

Конструкція кронштейна розрахована (рис. 1) на роботу в умовах зусиль, що діють під різними кутами, зокрема з боку важелів або поворотних механізмів. Отвори з високим ступенем точності та гладкі поверхні забезпечують посадку валика або осі, а ребра жорсткості підвищують опір вигину.



Рисунок 1 – Конструкції кронштейнів

Також деталь повинна мати високу стійкість до втомних руйнувань і бути здатною тривалий час зберігати експлуатаційні характеристики при багаторазових циклах навантаження.

До умов експлуатації такої деталі можна віднести:

- наявність змінних механічних навантажень (в основному згинальних і зсувних),
- контакт з металевими вузлами, що вимагає достатньої твердості й зносостійкості,
- підвищені вимоги до точності виконання отворів, оскільки вони є посадочними,
- експлуатація в умовах середовища з можливими перепадами температур, а отже — необхідність термостійкості та стабільності розмірів.

Зважаючи на вищевказане, кронштейни повинні виготовлятися з конструкційних матеріалів, які забезпечують поєднання механічної міцності, технологічності, добрих ливарних властивостей та економічної доцільності. Одним з таких матеріалів є сталь 35Л, яка дозволяє виготовити відливки з достатньою точністю, без значних внутрішніх дефектів, забезпечивши високий ресурс експлуатації.

1.2 Конструкційні особливості та вимоги до точності

Конструкційні особливості литих сталевих деталей мають враховувати технологічні можливості процесу лиття та умови експлуатації виробу. Форма вилівка повинна бути максимально простою, без надмірних виступів і різких кутів, щоб уникнути виникнення дефектів під час заливання металу і охолодження. Особливу увагу приділяють товщині стінок, яка повинна бути достатньою для забезпечення міцності, проте не надто великою, щоб не спричиняти нерівномірну усадку і внутрішні напруження, що призводять до тріщин та деформацій. Ребра жорсткості використовуються для підвищення механічної міцності конструкції, проте їх розміщення і переріз повинні бути продумані так, щоб забезпечити рівномірне охолодження і не ускладнювати заливання форми. Формувальні ухили на поверхнях, які контактують з формою, потрібні для полегшення вилучення вилівка без пошкоджень. Проектування також включає врахування припусків на усадку металу під час охолодження, що для сталі становить приблизно 1,2–2%, а також на подальшу механічну обробку, що дозволяє отримати необхідну точність і якість поверхонь. Важливим елементом конструкції є система живлення та вентиляції, яка забезпечує безперервне і рівномірне заповнення форми розплавом і запобігає утворенню дефектів.

Вимоги до точності литих виробів визначаються технологічними стандартами та експлуатаційними умовами. Виливок повинен мати геометричні розміри у межах допустимих відхилень, які залежать від класу точності деталі. Для відповідальних елементів допуски є більш жорсткими, що забезпечує правильність монтажу і функціонування вузлів. Шорсткість поверхні вилівка визначається технологією формування і очищення, і може вимагати подальшої обробки для досягнення необхідної гладкості. Також велике значення має внутрішня структура матеріалу, яка має бути вільною від дефектів, таких як пори чи тріщини, що контролюється за допомогою неруйнівних методів дослідження. Особливу увагу приділяють точності розташування отворів і різьбових з'єднань, адже від цього залежить якість і надійність монтажу деталі у складальних одиницях.

Отже, правильне проектування конструкції вилівка з урахуванням технологічних особливостей лиття і вимог до точності є ключовим фактором отримання якісного, міцного та довговічного виробу. Це дозволяє знизити ризики виробничих дефектів, полегшує подальшу обробку і забезпечує надійну експлуатацію сталевих деталей у складних умовах.

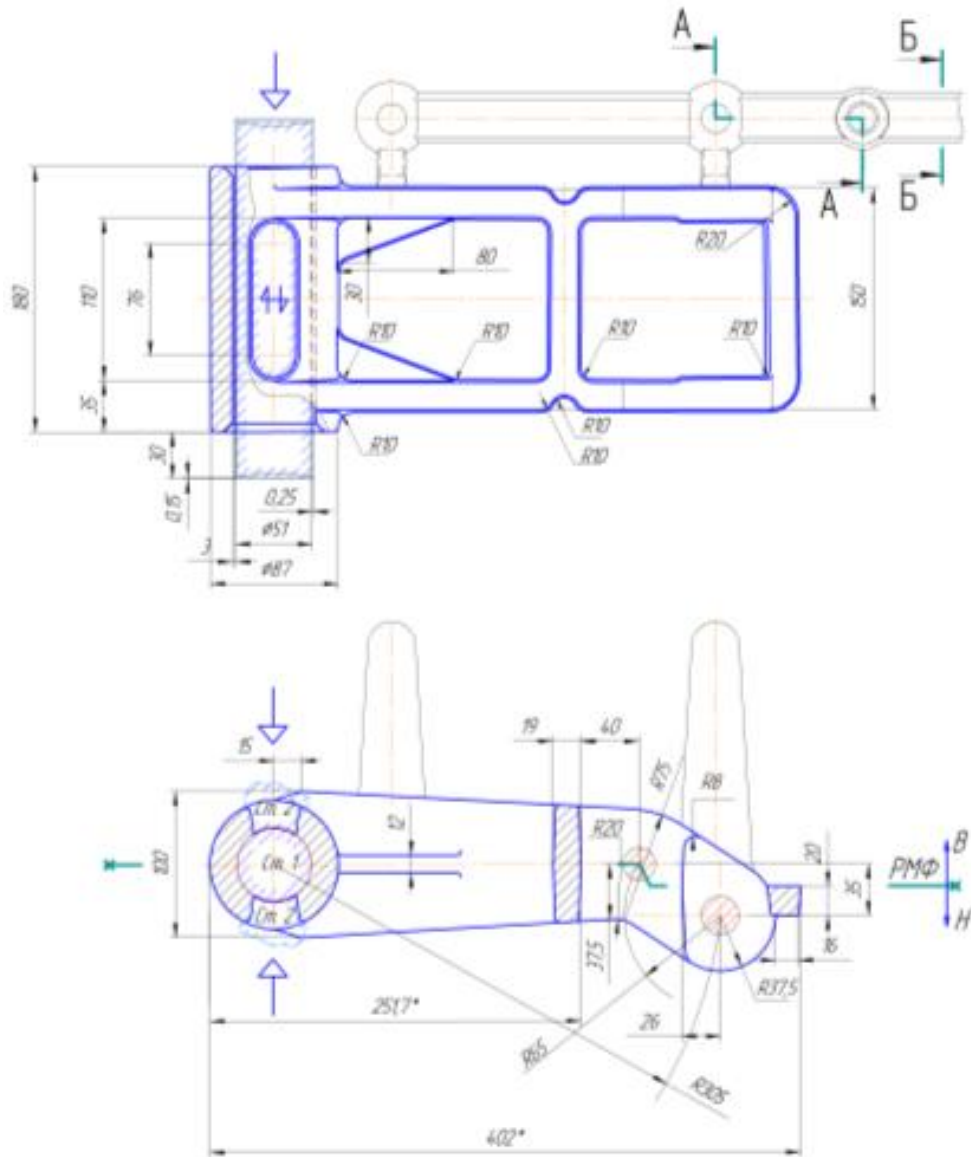


Рисунок 2 – Відливок Кронштейн

Деталь типу «Кронштейн» має складну просторову форму і характеризується наявністю наскрізних отворів, різьбових елементів, змінної товщини перерізів, похилих площин, галтелей та елементів підвищеної жорсткості. Конструкція деталі є результатом оптимізації міцності при мінімізації маси та забезпеченні необхідної функціональності в експлуатаційних умовах.

Основні конструкційні елементи:

- Отвори $\varnothing 57$ мм і $\varnothing 50$ мм (зокрема отвір $\varnothing 50$ мм на площині D–D): слугують для посадки під валики або осі з можливим обертанням або кріпленням.
- Внутрішні ребра жорсткості товщиною до 10 мм: зменшують масу конструкції та підвищують опір згину при навантаженнях.
- Скошені бокові поверхні та отвори під різьбу M11: елементи для монтажу або прикручування до інших вузлів.
- Закруглення (галтелі) радіусами R8–R30: зменшують концентрацію напружень і сприяють кращому заповненню форми при заливці металу.
- Зовнішні габарити (довжина ≈ 220 мм, висота ≈ 100 мм, товщина в різних зонах — від 8 до 40 мм): свідчать про об'ємний характер деталі з масивною основою та порожнистими елементами.

З технологічної точки зору, така форма вилівка має низку особливостей, що впливають на процес лиття:

- Наявність тонкостінних і товстостінних ділянок з великою різницею в перерізах вимагає продуманого розташування ливниково-живильної системи для уникнення гарячих тріщин та усадочних раковин.
- Гладкі внутрішні стінки з прямокутними перерізами потребують точного виготовлення та розташування стрижнів.
- Посадкові отвори, які вимагають високої точності після обробки, визначають необхідність залишення технологічних припусків.
- Різьбові зони під M11 повинні мати відповідні допуски, обробляються після лиття механічним шляхом, тому до них застосовуються спеціальні вимоги з розташування ливникових каналів.
- Наявність симетрії дозволяє обрати горизонтальне положення при формуванні та зменшити складність оснастки.

До технологічних умов, які повинні враховуватись при виготовленні даного вилівка, належать:

- Дотримання ухилів на вертикальних поверхнях (1° – 2°), щоб забезпечити легке витягання моделі з форми;

- Забезпечення припусків на обробку у зонах отворів та посадок – зазвичай 2–3 мм на сторону;
- Виконання галтелей відповідних радіусів для покращення заповнення форми та зменшення ризику утворення тріщин;
- Врахування ливарної усадки сталі 35Л – приблизно 2 %, що обов’язково компенсується при побудові моделі;
- Застосування термостійких стрижневих сумішей у зонах з великою товщиною стінок, аби уникнути злипання та зміщення стрижнів;
- Контроль охолодження масивних елементів з метою запобігання утворенню внутрішніх дефектів.

Таким чином, кронштейн як вилівок має складну конструкцію з високими технологічними вимогами, і правильне врахування цих особливостей на етапі проектування ливарного процесу є ключовим чинником досягнення якості готового виробу.

1.3 Властивості сталі 35Л та обґрунтування її вибору

Сталь 35Л — це конструкційна середньої вуглецева легована сталь (приблизно 0,35% С), яка містить марганець (0,5–0,8%), кремній (0,17–0,37%) та незначні кількості інших легуючих елементів. Ця сталь характеризується гармонійним поєднанням міцності, пластичності та технологічних властивостей, що робить її придатною для виготовлення відповідальних литих деталей, таких як кронштейни, що працюють у складних механічних умовах.

Механічні властивості сталі 35Л характеризуються підвищеною межею текучості (приблизно 350...450 МПа), що забезпечує достатню опірність до деформацій під навантаженням (табл. 1). Крім того, вона має хорошу ударну в’язкість, що гарантує здатність витримувати динамічні та імпульсні навантаження без руйнування. Важливою характеристикою є і пластичність матеріалу, яка дозволяє деталі витримувати деякі деформації без утворення тріщин.

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні властивості сталі 35Л

Властивість	Значення	Одиниці виміру
Вміст вуглецю (С)	0,33–0,40	%
Механічна міцність (σ_b)	520–650	МПа
Межа текучості (σ_T)	350–450	МПа
Відносне подовження (δ)	20–25	%
Ударна в'язкість (КСУ)	50–60	Дж/см ²
Твердість (HRC)	170–210 (НВ)	НВ
Питома вага	7,85	г/см ³
Теплопровідність	40–50	Вт/(м·К)
Температура плавлення	1460–1490	°С

З технологічної точки зору сталь 35Л має добру литтєвість, що означає легкість заповнення форми розплавленим металом з мінімальними ризиками утворення дефектів, таких як пористість чи усадкові раковини. Висока ступінь однорідності структури після термічної обробки дозволяє отримувати сталі деталі з передбачуваними властивостями та високою якістю поверхні.

1.3.1 Обґрунтування вибору сталі 35Л. Обґрунтування вибору сталі 35Л для виготовлення виливків, таких як кронштейн, полягає у поєднанні її механічних характеристик із технологічною придатністю. Ця марка сталі забезпечує необхідну міцність і зносостійкість при відносно помірній вартості, що робить виробництво економічно вигідним. Вона також добре піддається механічній обробці та термічній обробці (наприклад, нормалізації, загартуванню), що дозволяє підвищувати експлуатаційні характеристики готової деталі відповідно до вимог експлуатації.

Сталь 35Л забезпечує достатній рівень міцності для деталей, які піддаються динамічним та статичним навантаженням, а її пластичність гарантує стійкість проти раптових деформацій та появи тріщин. Висока ударна в'язкість дозволяє

експлуатувати вироби у складних умовах, де можливі імпульсні навантаження та удари.

Технологічно сталь 35Л добре піддається литтю завдяки відносно низькому вмісту вуглецю і легуючих елементів, що знижує ризики виникнення усадкових тріщин і пористості. Вона також має хороші показники оброблюваності, що дозволяє після лиття виконати точне механічне доопрацювання. Піддається різним видам термічної обробки — нормалізації, загартуванню, що дозволяє адаптувати її властивості під конкретні вимоги.

Порівняно з іншими сталями, такими як 40Х (легована сталь із хромом), 35Л є більш економічно вигідною, оскільки має оптимальний баланс якості і вартості. Для деталей, які не потребують високої корозійної стійкості чи особливих легувальних властивостей, 35Л є оптимальним вибором.

Враховуючи експлуатаційні умови, де деталі піддаються середнім механічним навантаженням і вібраціям, а також потребу у високій надійності та тривалому ресурсі роботи, сталь 35Л відповідає всім основним вимогам щодо міцності, пластичності та технологічності.

1.4 Типові дефекти сталевих виливків та шляхи їх запобігання.

Виготовлення сталевих виливків пов'язане з ризиком виникнення різних дефектів, що можуть суттєво вплинути на якість, міцність і довговічність виробу. Основні типові дефекти включають пористість, усадкові раковини, тріщини, шлакові вclusions, холодні шви, а також дефекти поверхні.



Рисунок 3 – Типові дефекти сталевих виливків

Пористість і газові включення утворюються через надлишок газів у розплавленому металі або через вологість формувальної суміші. Для запобігання цих дефектів необхідно застосовувати дегазацію металу, використовувати сухі і ретельно підготовлені формувальні матеріали, а також забезпечувати ефективну вентиляцію форми.

Усадкові раковини та порожнини з'являються внаслідок недостатнього підживлення металу під час кристалізації і усадки. Для запобігання важливо правильно розрахувати і спроектувати живильну систему, забезпечити оптимальний режим заливання та підтримувати температуру форми і металу.

Тріщини лиття можуть бути холодними — через надмірні внутрішні напруження в процесі охолодження, або гарячими — внаслідок неправильного температурного режиму заливання чи конструктивних особливостей. Запобігти їм допомагає вибір відповідного матеріалу, дотримання режимів плавлення та заливання, застосування термічної обробки для зняття напружень.

Шлакові включення виникають при потраплянні сторонніх домішок, що знижують міцність виливка. Для запобігання потрібно застосовувати фільтрацію розплаву, дотримуватися чистоти технологічного обладнання і контролювати склад шихти.

Холодні шви і незаповненість форми зумовлені недостатньою температурою заливання або неправильною конструкцією ливникової системи. Профілактикою є підтримання оптимальної температури металу і грамотно спроектована система заливання.

Дефекти поверхні, як-то задири, раковини, злипання, виникають через погану якість формувальних матеріалів або неправильну експлуатацію форми. Їх уникнення передбачає використання високоякісних формувальних сумішей і суворий технологічний контроль.

Таким чином, зниження кількості дефектів досягається комплексним підходом — контролем якості сировини, оптимізацією технологічного процесу, дотриманням режимів плавлення і заливання, правильним проектуванням форми і живильної системи, а також застосуванням сучасних методів контролю якості.

Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу конструкції виливка було встановлено, що його форма відповідає вимогам технологічності лиття сталевих деталей. Конструкція враховує оптимальні товщини стінок, наявність формувальних ухилів та ребер жорсткості, що забезпечує рівномірне заповнення форми, зменшує ризик утворення дефектів і полегшує вилучення виливка із формувальної оснастки.

Обраний матеріал — сталь 35Л — є раціональним вибором для виготовлення виливка, з огляду на її високу міцність, пластичність та гарні ливарні властивості. Властивості цієї сталі забезпечують достатній запас міцності для роботи у складних експлуатаційних умовах, а також можливість проведення термічної обробки для покращення механічних характеристик готової деталі.

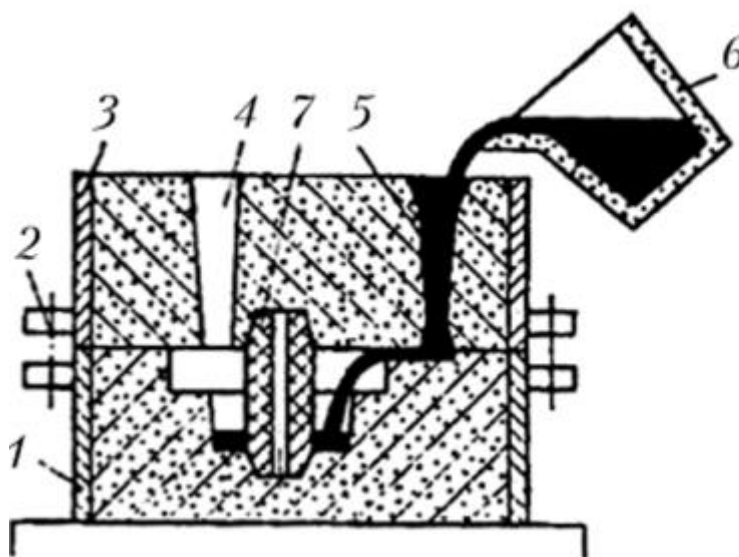
З урахуванням конструктивних особливостей та властивостей матеріалу, розроблений технологічний процес виготовлення виливка дозволяє мінімізувати виробничі дефекти та гарантує відповідність параметрів виробу заданим стандартам якості.

Отже, взаємне узгодження конструкції виливка і вибору матеріалу є ключовим фактором забезпечення високої надійності та довговічності виробу в процесі його експлуатації.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

2.1 Вибір методу формування: піщано-глиняста форма

У процесі розробки технології виготовлення виливка типу «Кронштейн» зі сталі 35Л ключовим етапом є обґрунтований вибір способу формування, який безпосередньо впливає на якість поверхні, точність геометричних параметрів і продуктивність процесу лиття. Враховуючи матеріал виливка, складність його конфігурації, серійність виробництва, а також економічну доцільність, було прийнято рішення застосувати класичний метод формування в піщано-глинясту (земляну) форму (рис. 3).



1, 3 – нижня і верхня напівформи (опоки); 2 – цапфа; 4 – випор;
5 – розплав; 6 – ківш; 7 – стрижень

Рисунок 3 – Піщано-глиняста форма для разового використання:

Піщано-глинясте формування є одним із найпоширеніших методів виготовлення виливків у масовому та дрібносерійному виробництві. Цей метод базується на використанні природної формувальної суміші, до складу якої входять кварцовий пісок, глина (як в'язучий компонент) і певна кількість води. Після ущільнення така суміш утворює стійку за формою, достатньо міцну й жаротривку

оболонку, здатну витримувати термічне та механічне навантаження під час заливання розплавленого металу.

Застосування піщано-глинястих форм доцільне при литті сталевих виливків, зокрема для виливка типу «Кронштейн», оскільки даний метод забезпечує:

- високу точність відтворення контурів моделі при невеликих витратах;
- можливість виготовлення об'ємних та складнопрофільних деталей;
- задовільну газопроникність, що мінімізує ризик утворення газових раковин та інших внутрішніх дефектів;
- технологічну гнучкість — при зміні конструкції виробу немає потреби у значному переобладнанні виробничої лінії;
- економічну ефективність, особливо для одноразових та малосерійних виробів.

Конкретно для виготовлення виливка «Кронштейн» вибір піщано-глинястої форми зумовлений також тим, що:

- деталь має складну конфігурацію з наскрізними отворами та виступами, які доцільно формувати із використанням стрижнів;
- геометричні параметри не вимагають застосування високоточного методу (на кшталт кокільного або прецизійного лиття);
- сталь 35Л характеризується високою температурою плавлення, тому потрібна форма з достатньою термостійкістю, що забезпечується застосуванням глинистих в'язучих;
- форма дозволяє зручно розмістити живильну та литникову системи.

Отже, піщано-глиняста форма є найбільш обґрунтованим вибором у рамках поставленої технологічної задачі, оскільки дозволяє досягти належної якості виливка при збереженні технологічної простоти, економічності та гнучкості виробничого процесу.

2.1.1 Вибір формувальної та стержневої суміші

Для виготовлення ливарних форм на автоматичній лінії вибираємо єдину формувальну піщано-глинисту суміш (табл. 2).

Таблиця 2 – Склад та властивості формувальної суміші

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

Для приготування суміші вибираємо бігуни періодичної дії моделі 15104, технічні характеристики якої наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Технічна характеристика змішувача моделі 15104

№ п/п	Назва характеристики	Величина
1	Об'єм замісу, т	2,0
2	Продуктивність, м ³ /год	40...60
3	Габаритні розміри чаші	1130 x 2540 ± 13,5
4	Котки, шт.	2
5	Частота обертання валу, об/хв	29±3
6	Продуктивність витяжи, м/год	6000
7	Габаритні розміри, мм:	3850x3150x3250
8	Маса, кг	11000

Кількість змішувачів можна розрахувати по формулою:

$$n_{зм} = \frac{G_{ny} \cdot K_n}{\Phi_0 g}, \quad (1.17)$$

де G_{ny} – річна кін-сть формівної суміші, м³;

K_n – коефіцієнт нерівномірності роботи, $K_n=1,1-1,3$;

g – продуктивність змішувача, м³/год.

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач моделі 15101, технічна характеристика наведена в табл. 4.

Таблиця 4 – Технічна характеристика бігунів моделі 15101

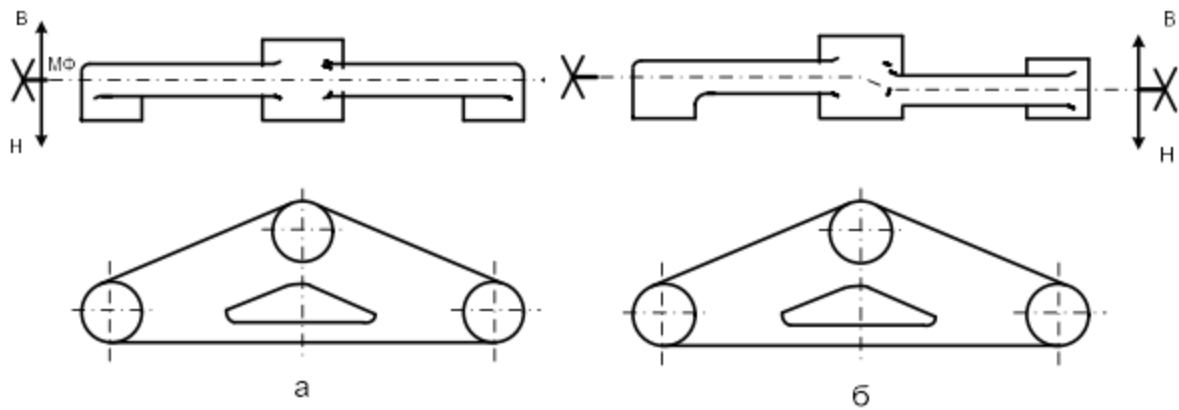
Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м	0,3
Час перемішування, хв.	15
Продуктивність, м /год	1,5
Потужність, кВт	15
Габарити, мм	2000x1865x2895
Маса, кг	4000

2.2 Аналіз положення вилівка у формі та побудова моделі

Одним із важливих етапів технологічної підготовки лиття є визначення оптимального положення вилівка у формі. Правильно вибране положення дозволяє забезпечити рівномірне заповнення форми розплавом, сприяє ефективному видаленню газів та шлаків, мінімізує утворення дефектів, таких як усадкові раковини, подрізи, зміщення чи порушення геометрії поверхні.

Під час аналізу положення вилівка типу «Кронштейн» було враховано його геометричну будову, наявність наскрізних отворів, перепадів у товщині стінок, вертикальних і горизонтальних виступів, а також розміщення найбільш масивних елементів конструкції. Основна мета аналізу — визначити таке положення у формі, при якому лиття буде максимально рівномірним, а розміщення литникової та живильної систем забезпечить спрямовану кристалізацію та належне заповнення всіх зон форми.

Враховуючи конфігурацію кронштейна (рис. 3), положення у формі обрано горизонтальне з певним нахилом, при якому вісь основного отвору розташована горизонтально, а площина симетрії деталі — у площині рознімання форми.



а – технологічно; б – нетехнологічно

Рисунок 3 – Рознім моделі в залежності від конструкції виливка

Такий варіант дозволяє:

- забезпечити розміщення рознімання по найменш складній поверхні, спрощуючи виготовлення модельної оснастки;
- зменшити кількість знімних вставок та додаткових технологічних елементів;
- спростити процес виймання моделі з форми, запобігаючи її пошкодженню;
- грамотно розташувати всі масивні елементи — отже, ефективно організувати підживлення під час кристалізації.

Побудова модельного блока виконується з урахуванням усіх технологічних припусків, ухилів на формування та галтельних радіусів. У відповідності до прийнятих стандартів на поверхні моделі передбачаються:

- формувальні ухили ($1-2^\circ$), що забезпечують легке вилучення моделі з піщано-глинястої форми;
- припуски на механічну обробку (враховуючи місця кріплення, посадки, отвори);
- компенсація усадки сталі 35Л — на рівні 2 % від номінальних розмірів;
- радіуси галтелей у кутах та переходах, які зменшують напруження під час лиття та тверднення.

Загальний об'єм моделі також включає стержневі знаки, необхідні для точного позионування стрижнів у формі. Їхня точність та жорсткість мають забезпечити фіксацію стрижнів під час заливки металу.

Таким чином, правильно визначене положення вилівка у формі в поєднанні з грамотною побудовою моделі дозволяє забезпечити високу якість литва, точність геометричних параметрів та зменшити кількість браку на виробництві.

2.3 Розрахунок припусків, ухилів, галтелей

На основі аналізу конструкції вилівка «Кронштейн» зі сталі 35Л, представленого на кресленні (рис. 4), виконано обґрунтований підбір значень припусків, формувальних ухилів та радіусів галтелей. Дані технологічні параметри враховуються при побудові моделі вилівка та створенні формувальної порожнини для лиття.

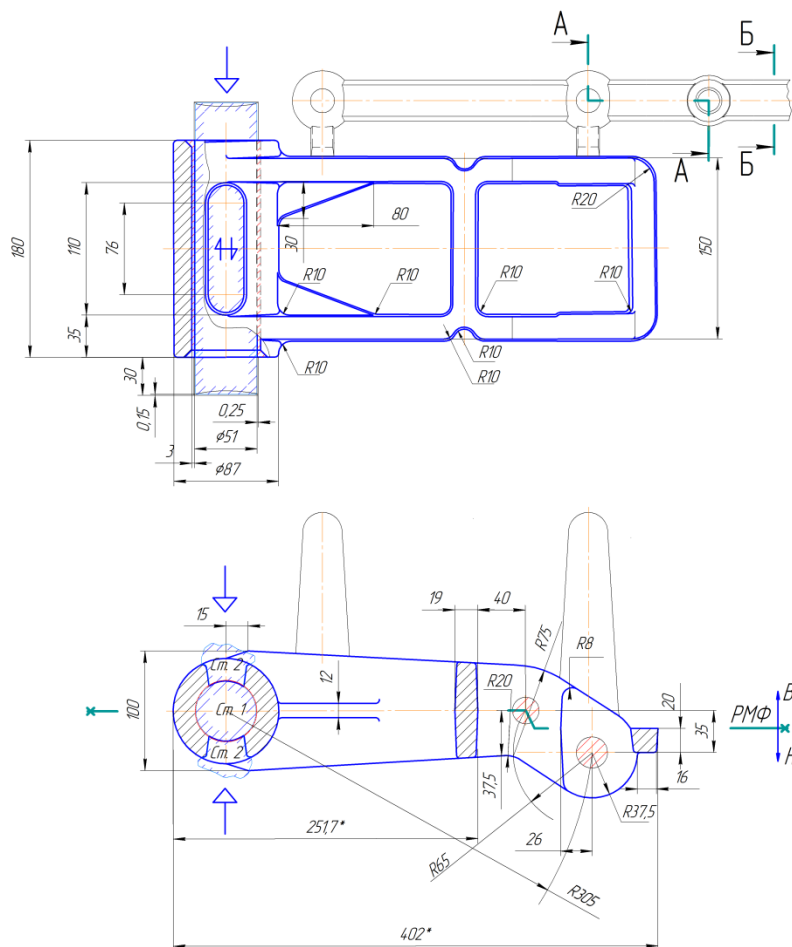


Рисунок 4 – Виливок «Кронштейн» зі сталі 35Л

Припуски на механічну обробку призначаються для компенсації шорсткості, зміщень, допусків форми, а також усунення можливих поверхневих дефектів. Враховуючи, що дана деталь має оброблювані отвори ($\varnothing 25$, $\varnothing 50$, $\varnothing 17$, $\varnothing 9.5$), а також контактні поверхні (в зоні монтажу та кріплення), на цих ділянках необхідно передбачити відповідні припуски. Згідно з рекомендаціями ГОСТ 26645-85, для сталі 35Л у масивних литих деталях припуски приймаються такими:

- на отвори $\varnothing 25$ та $\varnothing 50$ – припуск 3 мм на діаметр (тобто +1,5 мм з кожного боку);
- на отвір $\varnothing 17$ – припуск 2 мм;
- для отворів $\varnothing 9,5$ – припуск 1,5 мм;
- на опорні площини (наприклад, бокову базову площину 220×90 мм) – припуск 3 мм;
- на поверхні, що не підлягають обробці – припуск не передбачається.

Формувальні ухили забезпечують безпечне зняття моделі з піщано-глиняної форми без пошкодження формувальної порожнини. Враховуючи висоту вертикальних елементів, глибину вікончастих отворів (особливо отвір розміром 80×20 мм) та загальну компоновку, ухили вибираються такими:

- для зовнішніх вертикальних поверхонь – $1,5^\circ$;
- для внутрішніх вікон (наприклад, вікна 80×20 мм та 120×20 мм) – 2° ;
- на бокових виступах та опорах – $1-1,5^\circ$, залежно від висоти.

Ці ухили враховані при побудові моделі та повинні бути витримані при виготовленні модельної оснастки.

Радіуси галтелей, які видно на кресленні (R10, R20, R30), розміщені в критичних зонах переходів між площинами та ребрами. Їх наявність є обов'язковою, оскільки різкі переходи можуть спричинити напруження при охолодженні. Зокрема:

- у місці переходу від основної площини до ребер жорсткості використовуються радіуси R10–R20;
- між ребрами та торцевими отворами – R20;

- в зоні плавного переходу кронштейна до циліндричної частини ($\varnothing 25$, $\varnothing 50$) – радіуси R30–R37,5.

Ці галтелі забезпечують не лише плавність лиття, а й покращують умови спрямованої кристалізації металу.

Також, згідно креслення, відзначається наявність стержневих знаків та отворів, що вимагає високої точності формування відповідних елементів. Для цього конструкція моделі має включати точно позиціоновані стержневі відмітки, а поверхні отворів моделюються з урахуванням технологічних припусків та ухилів.

Отже, на основі детального аналізу креслення «Кронштейн» зі сталі 35Л, встановлені наступні значення:

- припуски на оброблювані ділянки – 1,5–3 мм;
- формувальні ухили – 1–2°;
- радіуси галтелей – R10–R37,5.

Застосування таких параметрів забезпечує точність готового виливка, надійність його подальшої механічної обробки, а також знижує ймовірність появи внутрішніх напружень і дефектів.

2.4 Вибір модельної та стержневої оснастки

Для виготовлення литого виливка типу «Кронштейн» зі сталі 35Л у піщано-глинясту форму важливим етапом є правильний вибір модельної та стержневої оснастки. Вона визначає точність формування внутрішніх і зовнішніх поверхонь виливка, якість відтворення геометричних контурів та ефективність складання форми.

Модельна оснастка — це сукупність елементів, що утворюють порожнину майбутнього виливка у ливарній формі. Враховуючи конструктивні особливості деталі «Кронштейн», зокрема наявність наскрізних отворів, ребер жорсткості, галтелей, виступів і складну просторову конфігурацію, модель виконується роз'ємною. Рознімання моделі здійснюється по площині симетрії, яка проходить горизонтально вздовж осі деталі. Такий варіант рознімання обрано з метою

спрощення процесу виймання моделі з формувальної суміші та забезпечення максимальної точності формування отворів і опорних поверхонь.

Залежно від серійності виробництва та ресурсу, матеріал для модельної оснастки обирається наступним чином:

- для дрібносерійного виробництва — дерево або фанера, просочена смолами;
- для серійного — пластмаса або легкий метал (силумін, дюралюміній);
- для інтенсивного багаторазового використання — чавун або сталь.

У даній роботі, враховуючи одиничне або дрібносерійне виготовлення, доцільно застосувати модель з деревини твердої породи, укріплену металевими вставками в місцях кріплення та високого зносу.

До складу модельної оснастки входять:

- сама модель вилівка з урахуванням припусків, усадки, галтелей та формувальних ухилів;
- ливникова система (вилітковий стояк, ливникові канали, міксери);
- стержневі знаки — для точної фіксації стержнів у формі;
- опорні штифти та ручки для зручного знімання моделі.

Стержнева оснастка необхідна для формування внутрішніх порожнин, отворів та наскрізних каналів у деталі. У кресленні «Кронштейн» видно кілька наскрізних отворів ($\varnothing 25$, $\varnothing 50$, $\varnothing 17$, $\varnothing 9,5$), які неможливо сформувати без використання відповідних стержнів. Загальна кількість стержнів — 4 типи, а саме:

- 2 стержні $\varnothing 25$ і $\varnothing 50$ для циліндричних отворів з боку основи деталі;
- 2 стержні $\varnothing 17$ і $\varnothing 9,5$, які проходять через бічні отвори (основний і допоміжний);
- прямокутний стержень для вікончастих прорізів (80×20 мм та 120×20 мм).

Тип стержнів: у зв'язку зі складною формою, доцільно використати оболонкові або коробчасті стержні, виготовлені за допомогою стержневих ящиків або ін'єкційного формування. Матеріалом для них служить стержнева суміш на

основі кварцового піску з рідким склом або фурановими смолами, які після затвердіння забезпечують достатню міцність і термостійкість.

Стержні повинні відповідати таким вимогам:

- точне позиціонування в формі завдяки використанню стержневих знаків (які вказані на кресленні);
- достатня газопроникність, щоб уникнути газових дефектів у зоні отворів;
- розміри стержнів збільшені на усадку сталі (приблизно 2 %);
- при потребі — армування стержнів дротом або вставками для зменшення деформації.

Таким чином, для лиття кронштейна зі сталі 35Л передбачено:

- роз'ємну дерев'яну модель із вбудованими литниковими елементами;
- повний набір стержневої оснастки для всіх наскрізних отворів і прорізів;
- технологічні допуски та припуски враховані в усіх елементах моделі.

Раціональний вибір модельної та стержневої оснастки забезпечує якісне формування виливка, зниження браку та стабільну точність при подальшій обробці.

2.5 Розрахунок маси виливка та шляхи усадки

2.5.1. Розрахунок маси виливка.

Розрахунок маси є ключовим етапом при проектуванні технології лиття, адже він дозволяє визначити об'єм розплавленого металу, необхідного для заливання форми, а також забезпечити правильний підбір живильної та ливникової систем.

Маса виливка визначається за формулою:

$$m = V \cdot \rho$$

де:

- V – об'єм виливка, см^3 ; ρ – густина сталі 35Л, приймається $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$

На основі креслення виливка, його об'єм розраховується методом геометричного розбиття на прості об'єми – циліндри, прямокутні паралелепіеди, призми, конуси тощо.

Приблизне геометричне моделювання дає такі складові:

- основна консольна частина (прямокутна балка) –
 $220 \times 40 \times 26 = 228,800 \text{ мм}^3 = 228,8 \text{ см}^3$;

- кріпильна зона (циліндр $\varnothing 50$, довжина 30 мм) –

$$V_1 = \pi \cdot \left(\frac{50}{2}\right)^2 \cdot 30$$

$$V_1 \approx 58,9 \cdot 30 = 1767 \text{ см}^3$$

- ребра жорсткості (близько 4 шт. $\times 20 \times 90 \times 6$ мм) – орієнтовно 432 см^3 ;
- отвори та вікна ($\varnothing 25$, $\varnothing 17$, $\varnothing 9,5$, два вікна 80×20 мм і 120×20 мм) —
видаляються із загального об'єму ($\sim 300 \text{ см}^3$).

$$\text{Сумарний об'єм } V \approx 228,8 + 1767 + 432 - 300 = 2128,8 \text{ ,см}^3$$

Отже:

$$m = 2128,8 \cdot 7,8 = 16,6 \text{ кг}$$

Таким чином, розрахункова маса виливка «Кронштейн» становить приблизно 16,6 кг. Цей показник враховується при плануванні плавки, виборі ємності тигля, визначенні витрати металу та побудові живильної системи.

2.5.2. Шляхи усадки при литті

При литті сталі важливо враховувати її об'ємну та лінійну усадку, що відбувається в результаті зменшення об'єму металу під час охолодження та кристалізації. Сталь 35Л має середню об'ємну усадку $\approx 2,0\text{--}2,2\%$, а лінійну – до $1,8\%$.

Основні шляхи та напрямки усадки:

- Усадка при кристалізації: проходить у середині об'ємних масивів (зон $\varnothing 50$, $\varnothing 25$, товстих ребер) і компенсується за допомогою підживлювачів.

- Усадка при охолодженні: відбувається у всій масі вилівка після його затвердіння — компенсується закладеними припусками на усадку в моделі (збільшенням розмірів моделі на 2 %).

- Направлена усадка: для її забезпечення геометрія моделі повинна сприяти руху фронту кристалізації від менш масивних до більш масивних зон у бік підживлювачів.

Методи компенсації усадки:

- введення модельних припусків: усі розміри в моделі збільшуються на 2 % (наприклад, отвір Ø50 у моделі буде Ø51 мм);

- розміщення підживлювачів у верхній частині форми, поблизу об'ємних ділянок (наприклад, в зоні Ø50 та Ø25);

- забезпечення спрямованої кристалізації: форма повинна охолоджуватись від периферії до центру;

- використання термостійких вкладишів або термоізоляційних кожухів для керування охолодженням.

Таким чином, для зменшення впливу усадки на якість вилівка та запобігання утворенню внутрішніх дефектів:

- модель вилівка виконується з урахуванням усадки 2 %;
- у формах передбачаються підживлювачі над масивними зонами;
- схема заливки має забезпечувати рівномірне заповнення і правильний тепловий режим.

2.6. Побудова ливниково-живильної системи

2.6.1. Розрахунок і побудова живильної системи

Живильна система — один із найважливіших елементів ливарного процесу, функція якого полягає у компенсації усадки металу під час його кристалізації. Вилівки зі сталі 35Л, як і більшість сталей, схильні до значної об'ємної усадки (до 2–2,2 %), особливо у масивних зонах. При відсутності живлення у таких місцях утворюються усадочні раковини, які істотно знижують міцність і надійність деталі.

Виливок типу «Кронштейн», згідно з кресленням, має кілька масивних ділянок:

- циліндричний виступ Ø50 мм (зона А);
- отвір Ø25 мм у ребристій частині (зона Б);
- перехідні потовщення в зоні примикання ребер жорсткості (зона В).

Ці області потребують ефективного підживлення в процесі кристалізації.

Для даного лиття доцільно застосувати відкриті верхні живильники, розташовані над відповідними масивними зонами. Такий варіант є найпростішим у реалізації, економічно вигідним і технологічно зручним для формування у піщано-глинястій формі.

Тип живильника — циліндричний відкритий, який забезпечує:

- добрий тепловий контакт з виливком;
- можливість природного спрямованого затвердіння;
- просте видалення після лиття (зрізання).

Загальна площа живильників на один відливок:

$$\sum F_{жс} = \frac{G \cdot 10000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \text{ см}^2$$

де G – метал-сть форми, яка дорівнює масі відливків, з ливниково-живильною системою, кг; μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,5$; g – прискорення вільного падіння, м/сек²; H_p – середній метало статичний тиск, м.

Металоємність форми:

$$G = (G_g + G_g \cdot 0,3) \cdot n, \text{ кг},$$

де G_g - маса одного відливка, кг; n – кількість відливків у формі, шт.

Тоді:

$$G = (14 + 14 \cdot 0,3) \cdot 2 = 36,4 \text{ кг}.$$

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c};$$

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.

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

$$\sum F_{\text{жс}} = \frac{36,4 \cdot 10000}{0,5 \cdot 13,05 \cdot 7600 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,175}} = 3,96 \text{ см}^2$$

Так як відливок 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:

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

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

Площа поперечного перерізу стояка:

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

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

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

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

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

Приймаємо $d = 25 \text{ мм}$.

Для двох відлиwkів:

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

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

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35 \text{ мм}$.

Визначимо діаметр чаші для одного відливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{\text{ст.с}}$$

$$D = 3 \cdot 25 = 75 \text{ мм}$$

Діаметр чаші для двох відливків:

$$D = 3 \cdot 35 = 105 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача визначаємо за формулою:

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

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

Всі живильники розташовуються по вертикалі над критичними зонами, щоб забезпечити ефект "живлення згори", тобто спрямовану кристалізацію від форми до живильника.

Тепловий режим і ефективність

Для збереження рідкотекучості металу в живильниках на довший період, застосовують теплоізолюючі покриття або гільзи, які уповільнюють охолодження.

Також важливо:

- передбачити плавне сполучення живильника з поверхнею виливка (галтелі R3...5 мм);
- уникати різких перепадів перерізів у місці переходу;
- контролювати зону направленої кристалізації – від периферії до живильника.

Таким чином, живильна система для виливка «Кронштейн» зі сталі 35Л складається з трьох відкритих циліндричних живильників, обґрунтовано розташованих над масивними зонами, з розмірами, достатніми для компенсації об'ємної усадки. Така система гарантує відсутність усадочних дефектів і забезпечує спрямовану кристалізацію, що є критичним для отримання якісного литва з заданими механічними властивостями.

2.6.2. Розробка ливникової системи

Ливникова система — це невід'ємний елемент технології лиття, що забезпечує заповнення форми розплавленим металом, збереження його температури, зменшення турбулентності потоку, а також рівномірне живлення усіх частин виливка. Ефективна ливникова система знижує ризик виникнення таких дефектів, як неповне заповнення, пористість, окалина та металеві включення.

Вимоги до ливникової системи

Для лиття сталі 35Л у піщано-глинясту форму ливникова система повинна:

- забезпечувати рівномірне і безперервне заповнення форми;
- запобігати попаданню шлаку та газів у формувальну порожнину;
- забезпечувати розгалуження потоку до всіх зон виливка;
- витримувати високу температуру сталі (~1550 °С);
- бути легко відокремлюваною після тверднення.

Конструкція ливникової системи

Для виливка типу «Кронштейн» зі складною витягнутою формою та трьома живильниками застосовується вертикальна система заливання з бічним розташуванням виливка. Усі елементи системи включають:

1. Виливковий стояк (ливникова чашка)

Служить для збирання та первинного очищення розплаву.

Приймається Ø60 мм, висота – 90 мм. Висота дозволяє забезпечити необхідний тиск для заповнення форми.

2. Вертикальний ливниковий канал

Основна "магістраль" для подачі металу вниз до горизонтальних каналів. Приймається Ø30 мм, висота 120–140 мм. Він також частково затримує шлакові включення.

3. Горизонтальні розподільчі канали

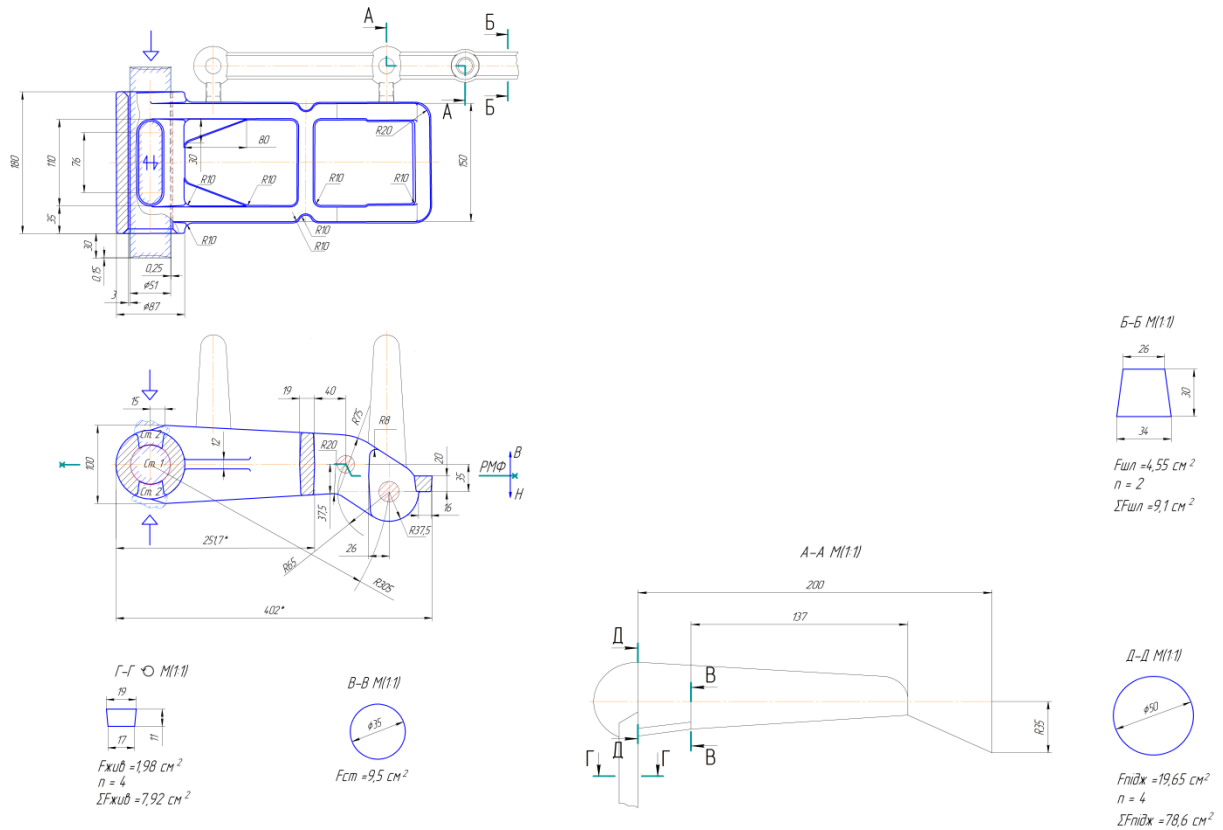
Забезпечують доставку розплаву до окремих частин виливка. У нашому випадку застосовано два канали Ø20 мм, що ведуть до обох кінців кронштейна.

4. Підвідні канали до виливка

Приймаються у вигляді плоских каналів трапецієподібного перерізу (ширина внизу – 10 мм, вгорі – 20 мм, висота – 25 мм). Така форма дозволяє уникати утворення металевих хвиль і сприяє спокійному заповненню.

5. Шлаковловлювачі

Перед входом до формувальної порожнини встановлюються камери-розширення, які сприяють осіданню твердих включень. Це особливо актуально при литті сталі.



Опчні розміри визначають конструкцією авт. лінії, габ-ми відливка та числом їх в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Розміщують моделі на підмодельній плиті для даного розміру опок з урахуванням коефіцієнту металоємності, (співвідношенням загальної маси металу у формі до маси формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності знаходиться у межах 0,25...1,2 та залежить від складності, товщини і габаритів відливка.

Між окремими моделями відстань дорівнює в межах $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота верхньої та нижньої моделі напівформи, від моделі до верху та низу форми. Відстань від стержньових знаків до бокової стінки опоки в межах 0...50 мм, від тіла відливочка до стінок опок – 50...100 мм. Від моделі до верхньої і нижньої площини відстань рівна 60...120 мм. Для виготовлення відливка виберемо автоматичну лінію Savelli Італійської фірми Savelli S.P.A.

Ливникова система складається з послідовного з'єднання собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G},$$

де S_1 – коеф-нт, $S_1 = 1,35$ [4];

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

G – металоємність форми, кг

$$G = (G_g + G_g \cdot 0,3) \cdot n, \text{ кг},$$

де G_g - маса одного відливка, кг;

n – кількість відливків у формі, шт.

$$G = (14 + 14 \cdot 0,3) \cdot 2 = 36,4 \text{ кг}.$$

Тоді:

$$t = 1,35 \cdot \sqrt[3]{36,4} = 13,05 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t},$$

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{100}{13,05} = 7,7 \text{ мм / сек}.$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [2].

Гідродинамічний розрахунок

Подача металу має бути досить швидкою для запобігання передчасному охолодженню, але не надто інтенсивною, щоб уникнути турбулентності.

Розрахунок площі перерізу проводиться за формулою:

$$F_{\text{ливи}} = \frac{G}{v \cdot \rho}$$

де: G – маса металу, кг (згідно попереднього розрахунку $\approx 16,6$ кг); v – швидкість заповнення форми (рекомендовано 0,5–1,0 м/с для сталі); ρ – густина сталі (7800 кг/м³).

Наприклад, при $v=0,6$ м/с:

$$F_{\text{ливи}} = \frac{16,6}{0,6 \cdot 7800} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 35 \text{ см}^2$$

Ця площа рівномірно розподіляється між усіма каналами. З урахуванням резерву (коефіцієнт запасу 1,2), приймаємо:

- стояк Ø60 мм (площа $\approx 28 \text{ см}^2$),
- вертикальний канал Ø30 мм ($\approx 7 \text{ см}^2$),
- по 2 горизонтальних канали Ø20 мм ($\approx 3 \text{ см}^2$ кожен).

Загальна площа відповідає розрахованому значенню і дозволяє уникнути перегріву або застою металу в каналах.

Розташування елементів

- Ливникова система проектується з нижнім підведенням для спрямованої кристалізації;
- Горизонтальні канали входять у вилівок біля його основи, а не у верхніх точках — це знижує ризик турбулентного заповнення;
- Всі елементи ливникової системи розташовані у нижній половині форми, а живильники — у верхній, що відповідає класичній схемі "лійка–ливники–вилівок–живильники".

Таким чином, ливникова система для вилівка «Кронштейн» побудована у вигляді вертикальної системи заливання з одним центральним стояком, вертикальним каналом Ø30 мм і двома горизонтальними підвідними каналами Ø20 мм. Така схема забезпечує стабільне та рівномірне заповнення всієї форми, мінімізує дефекти та відповідає усім технологічним вимогам для лиття сталі 35Л.

2.7. Технологія плавлення сталі та заливання форми

2.7.1. Технологія плавлення сталі 35Л

Підготовка шихти.

Для плавлення сталі 35Л необхідно правильно підібрати та підготувати шихтові матеріали — це основа майбутнього сплаву. Зазвичай шихта складається із сталевого скрапу, феросплавів (феросиліцій, ферохром, феромарганець), а також додаткових легувальних елементів. Всі матеріали проходять перевірку за хімічним

складом і вологості, щоб уникнути шкідливих домішок. Розраховуємо шихту методом підбору (табл. 5) згідно рекомендацій.

Таблиця 5 – 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	5,8	0,32	0,019	0,25	0,015	0,65	0,038	0,04	0,002	0,035	0,002
2	Лом сталевий	Ст. 35	1А	57,78	0,35	0,175	0,36	0,180	0,65	0,325	0,04	0,020	0,035	0,018
3	Відходи власного виробництва	ГОСТ 977-88	35Л	36,22	0,36	0,158	0,36	0,158	0,65	0,286	0,045	0,020	0,04	0,018
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	0,2	7	0,014	2	0,004	82	0,164	0,03	0,000	0,03	0,000
Всього:				100		0,366		0,357		0,813		0,042		0,037
	Угар (-), пригар (+)				-10	-0,03659	5	0,018	-20	-0,163	0	0,000	0	0,000
	Розкисловач (алюміній)	ДСТУ 2839-94	АК5М2	0,20										
Кінцевий хім. склад						0,33		0,37		0,65		0,042		0,037
Необхідний хім. склад						0,32-0,40		0,20-0,52		0,45-0,90		до 0,06		до 0,06

Завантаження матеріалів у піч.

Матеріали шихти завантажують у електродугову піч послідовно. Спочатку завантажуються більша частина сталевого скрапу, потім феросплави та легуючі елементи. Це забезпечує ефективне плавлення і легування сталі.

Плавлення сталі.

Піч підключають до електромережі, між електродами утворюється дуга, що генерує температуру понад 3000 °С. Плавлення відбувається при температурі 1500–1600 °С, що гарантує повне розплавлення металу та гомогенізацію шихти.

4. Легування

У процесі плавлення або безпосередньо перед відливанням вводяться легувальні елементи (вуглець, марганець, кремній, хром, нікель тощо) для отримання потрібних механічних і хімічних властивостей сталі 35Л. Легування відбувається рівномірно за допомогою ретельного перемішування розплаву.

Відливання проб і контроль якості.

Для контролю хімічного складу та механічних властивостей з розплаву відливають проби, які проходять лабораторні випробування. За необхідності складають коригування складу сталі.

Дегазація і рафінування.

Для зменшення вмісту розчинених газів (кисню, водню, азоту) у сталевому розплаві застосовують вакуумну дегазацію або обробку спеціальними реагентами, що покращує якість металу та зменшує ризик дефектів литва.

Підготовка до заливання.

Розплав нагрівається до робочої температури заливання — близько 1550 °С. Забезпечується стабільність температури, щоб уникнути передчасного застигання або перегріву металу.

2.7.2. Технологія виготовлення і заливання піщано-глиняної форми

1. Виготовлення моделі

За кресленням виливка “Кронштейн” виготовляють модель, яка повторює точні розміри і контури майбутнього виробу. Вона повинна мати відповідні припуски на усадку металу.

2. Підготовка формувальної суміші

Піщано-глиняна суміш готується з чистого кварцового піску, глини (5–10 %) і води. Іноді додають пластифікатори і спеціальні добавки, щоб покращити міцність форми і газопроникність. Суміш ретельно перемішується до однорідної консистенції.

Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші.

Таблиця 6 Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	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

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.

Таблиця 2.2 - Склад стержньової суміші і її фізико-хімічні властивості

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

3. Формування форми

Формувальна суміш засипається в опоку або в спеціальну ливарну коробку. Потім у неї занурюють модель і ущільнюють пісок навколо неї, щоб утворити негативний відбиток виливка. Для складних виливків застосовують двох- або багаточастинні форми з роз'ємом.

4. Встановлення стержнів і формування порожнин

Якщо в конструкції “Кронштейна” передбачені внутрішні порожнини, у форму встановлюють стержні — спеціальні елементи з піщано-глиняної суміші, які формують порожнини і канали у виливку.

5. Оснащення живильної системи

До форми кріплять литникову систему — це канал, по якому рідкий метал буде подаватися у форму. Живильна система включає в себе:

- Ливник — початкова точка подачі металу
- Льохи — канали для направлення металу
- Випуски газів — отвори, що забезпечують вихід газів з форми

Система розраховується таким чином, щоб метал рівномірно і безперешкодно заповнив усю форму.

6.осушення і попередній нагрів форми

Форму сушать, щоб видалити надлишок вологи, що запобігає утворенню парових дефектів. Іноді форму підігрівають для кращої усадки металу.

7. Заливання металу у форму

Розплавлена сталь у ковші переноситься до форми і заливається через литникову систему. Заливання має бути плавним, щоб уникнути бульбашок повітря та порожнин у виливку. Температура металу підтримується в межах технологічних норм.

8. Охолодження та кристалізація виливка

Після заливання металу виливок залишається у формі до повного застигання. Час охолодження залежить від маси і товщини деталей. Повільне охолодження сприяє формуванню потрібної структури сталі.

9. Виймання виливка з форми

Після охолодження форму розбирають, виливок виймають і очищують від залишків піску та формувальної суміші. Застосовують дробоструминну обробку або механічне очищення.

10. Контроль якості виливка

Перевіряють геометричні розміри, поверхневу якість, наявність дефектів (порожнин, тріщин, шлакових включень). Для критичних деталей проводять неруйнівний контроль (УЗД, рентген).

Висновки до розділу

У розділі детально розглянуто технологічний процес плавлення сталі 35Л та заливання піщано-глиняної форми для виготовлення виливка «Кронштейн». Плавлення здійснюється в електродуговій печі, що забезпечує необхідний температурний режим (1500–1600 °С) та гомогенність хімічного складу сталі. Важливим етапом є підготовка шихти, легування та рафінування розплаву, що гарантує отримання якісного металу з потрібними механічними властивостями.

Формування піщано-глиняної форми базується на використанні моделі, яка точно відтворює геометрію деталі, та спеціальної формувальної суміші, що забезпечує міцність і газопроникність форми. Розроблена живильна система сприяє рівномірному наповненню форми розплавленою сталлю і запобігає утворенню дефектів. Контроль температури заливання і режим охолодження дозволяють формувати оптимальну структуру металу.

Заливання здійснюється плавно через ретельно спроектовану литникову систему, що мінімізує ризик утворення пустот і тріщин у виливку. Після охолодження виливок очищується і проходить контроль якості, що забезпечує відповідність готового виробу вимогам креслення і стандартів.

РОЗДІЛ 3. ОЧИЩЕННЯ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

3.1 Очищення виливка та термічна обробка

3.1.1 Очищення виливка

Після вилучення виливка з форми він має залишки формувального матеріалу — пісок, глину, а також литникову систему (підливники, льохи). Очищення виливка включає кілька етапів:

1. Видалення литникової системи та прибивання підливників

За допомогою пневматичних молотків, кутових шліфувальних машин або спеціальних верстатів відтинають литники і підливники. Це забезпечує отримання чистої поверхні виливка відповідно до креслення.

2. Механічне очищення поверхні

Виливок очищають від залишків піску і формувальної суміші за допомогою дробометної обробки (дробометний барабан або пневматичні дробоструминні установки). Такий метод дозволяє видалити пил, окалину, шлаки та покращити адгезію поверхні до подальших процесів.

3. Шліфування та зачистка поверхні

Для усунення дефектів і нерівностей застосовують шліфування, що виконується на спеціалізованих шліфувальних верстатах. Це покращує зовнішній вигляд і точність геометрії виливка.

4. Контроль якості поверхні

Перевіряють поверхню на наявність тріщин, раковин, шлакових включень, а також геометричні розміри, відповідність допускам.

3.1.2. Термічна обробка.

Термічна обробка виливка зі сталі 35Л необхідна для покращення механічних властивостей, структури металу і зняття внутрішніх напружень.

Основні етапи:

1. Нагрівання (відпал)

Виливок повільно нагрівають до температури 850–900 °С для рівномірного прогріву металу. Це знімає внутрішні напруги, які виникли під час лиття та охолодження.

2. Витримка

Підтримують задану температуру протягом 1,5–3 годин, щоб відбулося рекристалізація і вирівнювання структури металу.

3. Повільне охолодження

Охолодження в печі з повільним зниженням температури (до 600 °С за 3–5 годин), що дозволяє запобігти утворенню тріщин і покращити пластичність виливка.

4. Загартування (за потреби)

Якщо потрібне підвищення твердості, виливок нагрівають до 850–900 °С і швидко охолоджують (наприклад, у воді або олії). Цей процес формує мартенситну структуру, підвищуючи міцність.

5. Відпускання

Після загартування виливок нагрівають до 400–600 °С і витримують певний час для зняття внутрішніх напружень і покращення ударної в'язкості.

Термічна обробка підбирається залежно від вимог до властивостей готового виробу і призначення деталі. Для «Кронштейна» зазвичай застосовується відпал або комбінована термообробка для оптимального балансу міцності і пластичності.

3.2 Методи контролю якості виливка

Для забезпечення відповідності виливка вимогам технічної документації та стандартів, застосовують комплекс методів контролю, які поділяються на візуальні, вимірювальні, механічні та неруйнівні.

Перший і базовий метод, який дозволяє виявити зовнішні дефекти: тріщини, раковини, несплавлення, шлакові включення, надлишки металу, нерівності поверхні. Виконується після очищення виливка і перед подальшими видами контролю.

Перевіряють геометричні розміри та форми виливка відповідно до креслення за допомогою лінійок, штангенциркулів, мікрометрів, калібрів, 3D-сканерів. Забезпечує відповідність допускам та технічним вимогам.

Здійснюють контроль міцності, твердості, ударної в'язкості, пластичності металу. Для цього використовують:

- Випробування на розтяг (визначення межі міцності і плинності)
- Твердість за Брінелем, Роквеллом чи Віккерсом
- Ударні випробування за Шарпі чи УІЗ

Ці випробування проводять на спеціальних зразках, вилучених із контрольних точок виливка або з проб, відлитих паралельно.

Для виявлення внутрішніх і поверхневих дефектів, які не видимі неозброєним оком, застосовують такі методи:

- Ультразвуковий контроль (УЗК)

Виявляє внутрішні тріщини, порожнини, раковини, нещільності металу за допомогою ультразвукових хвиль.

- Рентгенографія (Рентген-контроль)

Дозволяє отримати знімки внутрішньої структури виливка і виявити дефекти, такі як шлакові включення, порожнини.

- Магнітопорошковий контроль

Проводиться на магнітних матеріалах для виявлення поверхневих і підповерхневих тріщин шляхом нанесення магнітного порошку.

- Проникний контроль (пеністрація)

Застосовується для виявлення поверхневих тріщин і порушень цілісності за допомогою проникних рідин, які підсвічуються ультрафіолетом.

Перевірка хімічного складу сталі виливка для підтвердження відповідності заданому стандарту (сталі 35Л). Проводиться спектральним аналізом або іншими методами лабораторного контролю.

Проводиться металографічний аналіз зразків для визначення зернистості, фазового складу, наявності дефектів структури (включення, карбідні скупчення).

Застосування комплексного контролю якості виливка «Кронштейн» дозволяє своєчасно виявити і усунути дефекти, що забезпечує високу надійність і довговічність готової деталі.

3.3 Заходи безпеки при виготовленні литих сталевих деталей

Виготовлення литих сталевих виробів — це складний виробничий процес, пов'язаний із підвищеною небезпекою через роботу з розплавленим металом, важким обладнанням і хімічними речовинами. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватися таких правил і заходів:

1. Загальні вимоги безпеки

- Всі працівники повинні проходити інструктаж з техніки безпеки та мати відповідні допуски для роботи з ливарним обладнанням.
- Забороняється робота без спеціального захисного одягу і засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).
- Робочі місця повинні бути обладнані засобами пожежогасіння та системами аварійної вентиляції.

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Захисний костюм з вогнетривкого матеріалу, що покриває всі відкриті ділянки тіла.
- Термостійкі рукавиці, захисні черевики із металевим носком.
- Каска або шолом, захисні окуляри або маска з затемненим склом для захисту від іскр і випромінювання дуги.
- Засоби захисту органів дихання (респіратори) при роботі з пилом і газами.

3. Безпека при плавленні сталі

- Забороняється наближатися до печі без спеціального допуску та підготовки.
- Плавильна піч повинна бути обладнана системами автоматичного контролю температури і аварійного відключення.
- Під час завантаження шихти слід уникати попадання вологи в піч, щоб уникнути вибухів пари.
- Рух розплавленого металу повинен здійснюватися плавно, уникати бризок і розливів.

4. Безпека при формуванні і заливанні форми

- Перед заливанням форма має бути добре висушена, щоб уникнути парових вибухів.
- Не допускається наявність вологи на поверхні форми і в литниковій системі.
- Заливання металу проводити із дотриманням технологічних температур і швидкості, уникати бризок і розпилення.
- Заливання здійснювати з безпечної відстані, використовуючи спеціальні рукоятки і ковші.

5. Пожежна безпека

- Робоча зона повинна бути очищена від легкозаймистих матеріалів.
- Поряд з робочими місцями повинні бути вогнегасники, пісок і інші засоби пожежогасіння.
- Забороняється куріння і використання відкритого вогню поруч із ливарним обладнанням.

6. Електробезпека

- Обладнання повинно бути заземлене і регулярно перевірятися на справність електропроводки.
- Не допускається робота з пошкодженими кабелями або при підвищеній вологості.

7. Безпека при очищенні виливків і термічній обробці

- Використання захисних окулярів, респіраторів і рукавичок при дробоструминній очистці.
- Контроль температури обладнання, щоб уникнути опіків і перегріву.
- Заборонено торкатися гарячих деталей без спеціальних інструментів або ЗІЗ.

8. Санітарно-гігієнічні вимоги

- Організація вентиляції робочих приміщень для видалення шкідливих випарів і пилу.
- Регулярне проведення медичних оглядів працівників.
- Забезпечення місць для миття рук і відпочинку.

Дотримання цих заходів безпеки є обов'язковим для запобігання нещасним випадкам і забезпечення стабільної та безпечної роботи в ливарному цеху.

3.4. Охорона праці та захист навколишнього середовища

3.4.1. Охорона праці при виготовленні литих сталевих деталей

Виготовлення литих виробів пов'язане з рядом виробничих ризиків, тому охорона праці має бути організована на всіх етапах технологічного процесу.

Основні напрямки:

1. Організація робочого місця
 - Робочі зони повинні бути просторими, добре освітленими та обладнаними безпечними засобами доступу.
 - Всі верстати та обладнання мають мати захисні огороження і пристрої блокування.
 - Забезпечення наявності засобів пожежогасіння та аварійної вентиляції.
2. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)
 - Обов'язкове використання спецодягу, захисних окулярів, респіраторів, рукавиць та спецвзуття.
 - Контроль технічного стану ЗІЗ і регулярна їх заміна.

3. Інструктаж і навчання персоналу
 - Регулярне проведення навчань з техніки безпеки, правил поведінки у разі аварійних ситуацій.
 - Ознайомлення з паспортами безпеки обладнання і технологічних процесів.
4. Контроль за виконанням норм
 - Проведення планових і позапланових перевірок дотримання охорони праці.
 - Ведення документації про інструктажі, аварії та нещасні випадки.

3.4.2. Захист навколишнього середовища

Ливарне виробництво може негативно впливати на довкілля, тому важливо впроваджувати заходи для мінімізації забруднення:

1. Контроль викидів в атмосферу
 - Використання систем аспірації і очищення повітря від пилу і газів, що утворюються під час плавлення та заливання металу.
 - Регулярний моніторинг вмісту шкідливих речовин у викидах.
2. Утилізація відходів
 - Збір і переробка відходів формувальної суміші, шлаків, металевого брухту.
 - Використання екологічно безпечних матеріалів для форм і стержнів.
3. Раціональне використання ресурсів
 - Оптимізація енергоспоживання печей та обладнання.
 - Використання повторно матеріалів там, де це можливо.
4. Запобігання забрудненню водних ресурсів
 - Організація систем збору та очищення стічних вод.
 - Заборона скидання шкідливих речовин у каналізацію.
5. Підвищення екологічної свідомості персоналу
 - Навчання працівників правилам екологічної безпеки.
 - Заохочення екологічно відповідальної поведінки на виробництві.

Забезпечення охорони праці і захисту навколишнього середовища не тільки підвищує безпеку працівників, а й сприяє сталому розвитку виробництва та зменшенню негативного впливу на природу.

Висновки до розділу

У розділі детально розглянуто основні етапи очищення виливка, що включають видалення литникової системи, механічне очищення та шліфування, які забезпечують отримання чистої поверхні виробу з відповідними геометричними параметрами. Правильне очищення є необхідною умовою для подальшої термічної обробки та підвищення якості кінцевого продукту.

Розглянуто різноманітні методи контролю якості виливка, включно з візуальним, розмірним, механічним та неруйнівним контролем. Застосування комплексу контрольних процедур дозволяє своєчасно виявляти і усувати дефекти, що гарантує відповідність готової деталі технічним вимогам і підвищує її надійність в експлуатації.

Окрему увагу приділено питанням безпеки виробництва литих сталевих деталей, зокрема використанню засобів індивідуального захисту, організації робочих місць, пожежній та електробезпеці. Дотримання заходів безпеки сприяє зниженню ризику виробничого травматизму та створенню безпечних умов праці.

Отже, комплексний підхід до очищення виливків, контролю якості та забезпечення безпеки виробничого процесу є ключовим фактором успішного виготовлення виливка «Кронштейн» зі сталі 35Л і забезпечує високу якість і надійність готової продукції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнуто поставлену мету — розроблено технологічно обґрунтований та оптимізований процес виготовлення виливка типу «Кронштейн» зі сталі 35Л у піщано-глиняну форму, який дозволяє виготовити деталь із високими показниками точності, міцності та експлуатаційної надійності.

Проведено аналіз конструктивних особливостей деталі, який засвідчив доцільність її виготовлення саме методом лиття, враховуючи складну геометрію та наявність елементів, що складно реалізуються іншими технологіями. Обґрунтовано вибір марки сталі, яка забезпечує поєднання доброї ливарної здатності, механічної міцності, ударної в'язкості та придатності до механічної обробки.

Розроблена ливниково-живильна система повністю відповідає вимогам сталевому лиття — з урахуванням спрямованої кристалізації, компенсації усадки та рівномірного заповнення форми. Розрахунок маси виливка, припусків, ухилів і галтелей забезпечив належну точність моделі.

Враховано вимоги до технологічного обладнання, типу формувальних і стержневих сумішей, методів контролю якості та запобігання типових дефектів. Додатково проаналізовано техніку безпеки та екологічні аспекти лиття.

Результати роботи можуть бути використані для організації ефективного процесу лиття деталей у реальних виробничих умовах та адаптовані до виготовлення схожих виробів зі сталей інших марок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / Укл.: О.В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 42 с.
2. Білоножко В.І. Технологія лиття чорних та кольорових металів і сплавів. Київ: Вища школа, 2012. 360 с.
3. Козак М.В. Матеріалознавство та термічна обробка металів. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 420 с.
4. Петренко О.М. Ливарне виробництво: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2017. 320 с.
5. Гнатюк І.І. Контроль якості металевих виробів. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 280 с.
6. ДСТУ ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги. Київ, 2018.
7. ДСТУ ISO 14001:2016 Системи екологічного управління. Вимоги та керівництво щодо використання. Київ, 2016.
8. Журбенко В.П. Охорона праці в металургії та машинобудуванні. Київ: Наукова думка, 2014. 310 с.
9. Коваленко С.М. Технологія виготовлення литих виробів. Київ: НАУ, 2016. 250 с.
10. Степаненко Л.В. Техніка безпеки в ливарному виробництві. Харків: ХНУМГ, 2018. 230 с.
11. Чумак О.В. Контроль якості в металургійних процесах. Львів: СПОЛОМ, 2020. 270 с.
12. Шевченко П.І. Основи металургії і термічної обробки. Київ: НТУУ “КПІ”, 2013. 350 с.
13. Український державний стандарт ДСТУ 26645:2019 Метали і сплави. Випробування неруйнівні. Київ, 2019.

14. Відкриті освітні ресурси “Металургія” від Національного університету “Львівська політехніка”. URL: <https://lpnu.ua/metalurhiya>
15. Суханов М.В. Технологія лиття сталі і чавуну. Львів: Вид-во ЛНУ, 2017. 280 с.
16. Ткаченко О.М. Екологічна безпека металургійного виробництва. Київ: Видавництво КНЕУ, 2018. 200 с.
17. Міністерство охорони праці України. Інструкції з охорони праці у ливарному виробництві. Київ, 2021.
18. Державна служба України з питань праці. Методичні рекомендації щодо організації безпеки праці в металургії. Київ, 2020.
19. Козаченко В.І. Техніка безпеки на виробництві: навчальний посібник. Харків: ХНУ, 2019. 240 с.
20. Бровар О.М. Сучасні методи контролю якості металевих виробів. Київ: Логос, 2017. 260 с.
21. Мельник Ю.О. Основи охорони навколишнього середовища у промисловості. Львів: ЛНУ, 2015. 210 с.
22. ДСТУ 4505:2006 Лиття металів і сплавів. Терміни та визначення. Київ, 2006.
23. Волошин І.В. Матеріалознавство та технологія металів. Київ: НТУУ “КПІ”, 2014. 340 с.
24. Грищенко Т.С. Промислова екологія. Київ: Видавництво КНЕУ, 2016. 280 с.
25. Козак В.П. Основи металургійної технології. Львів: ЛНУ, 2013. 310 с.
26. Пономаренко Л.М. Безпека життєдіяльності в промисловому виробництві. Харків: ХНУ, 2018. 260 с.
27. Офіційний сайт Держпромнагляд України. URL: <https://dsp.gov.ua>
28. Костенко В.В. Металургія. Навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2017. 350 с.
29. Литвин О.М. Технологія лиття кольорових металів і сплавів. Львів: ЛНУ, 2016. 290 с.

30. Кравченко І.М. Контроль якості металів і сплавів. Харків: ХНУ, 2019. 280 с.
31. Український інститут стандартів. ДСТУ ISO 45001:2018. Системи управління охороною праці. Київ, 2018.
32. European Foundry Technology Network (EFTN). Advances in Casting Quality Control. EFTN White Paper, 2021.
33. Mertens R. et al. Casting Defects and Quality Assurance. Materials Science Forum, 2019.
34. Papadopoulos C., et al. Sustainable Foundry Practices in Europe. Journal of Cleaner Production, 2020.
35. European Agency for Safety and Health at Work. Occupational Safety in Foundries. EU-OSHA Report, 2019.
36. Gschweidl M., et al. Innovations in Foundry Safety Equipment. Procedia Manufacturing, 2018.
37. European Steel Association (EUROFER). Best Practices in Steel Casting. EUROFER Technical Report, 2016.
38. Behrens B.-A., et al. Modeling and Simulation of Steel Casting Processes. Steel Research International, 2019.
39. Van der Meer D. Foundry Process Optimization. European Foundry Journal, 2021.
40. Hesselbach J., et al. Eco-efficient Technologies in Metal Casting. Journal of Industrial Ecology, 2020.
26. European Environment Agency. Industrial Emissions and Air Quality in Europe. EEA Report, 2021.

ДОДАТКИ