

Міністерство освіти і науки України

**Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності**

Кафедра матеріалознавства

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**Вдосконалення технологічного процесу
виготовлення ручки дверної зі сплаву EN AC-42100 /
Improvement of the technological process for
manufacturing door handles from EN AC-42100 alloy**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Індустріальний інжиніринг і
менеджмент»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ)-41
БУРДА Володимир Віталійович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Фещук Юрій Петрович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Імбирович Н.Ю.

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бурді Володимиру Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Вдосконалення технологічного процесу виготовлення ручки
дверної зі сплаву EN AC-42100 / Improvement of the technological process for
manufacturing door handles from EN AC-42100 alloy*

керівник роботи *Феицук Юрій Петрович, к.т.н., доцент*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *31.12.25* року № *540/01-02*

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
« *23* » *травня* 202*6* р.

3. Вихідні дані до роботи *ескіз кстакана з фланцем, базовий технологічний
процес, програма випуску N=100 000 шт.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) *вступ; розділ 1 технічне обґрунтування; розділ 2 дослідна
частина; розділ 3 технологічна частина; розділ 4 конструкторська частина
висновки та практичні рекомендації; список використаних джерел;
додатки*

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

1. Мета та завдання дослідження - 1л. ф.А4.

2.Завдання бакалаврської атестаційної роботи - 1л. ф.А4.

3. Ручка в зборі та хімічний склад сплаву EN AC-42100 - 1л. ф.А4.

4. Мікроструктурні дослідженн (литий стан), (режим 1), (режим 2) - 3л. ф.А4; .

5. Залежність твердості від режиму обробки сплаву EN AC-42100 - 1л. ф.А4.

6. Параметри лиття під тиском - 1 л .ф.А4.

7. Порівняння базової та вдосконаленої технологій - 1л. ф.А4.

8. Прес-форма - 1л. ф.А4. 9. Висновки та практичні рекомендації - 1л. ф.А4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Н. контоль</i>	<i>Мисковець С.В., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання «03» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ.</i>	<i>05.05.26</i>	
	<i>Розділ 1 Технічне обґрунтування</i>		
<i>2</i>	<i>Розділ 2 Дослідна частина</i>	<i>12.05.26</i>	
	<i>Розділ 3 Технологічна частина</i>		
<i>3</i>	<i>Розділ 4 Конструкторська частина</i>	<i>19.05.26</i>	
	<i>Висновки та практичні рекомендації</i>		
	<i>Список використаних джерел</i>		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Бурда В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Фещук Ю.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

БУРДА Володимир Віталійович. Вдосконалення технологічного процесу виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Індустріальний інжиніринг і менеджмент» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

У роботі розглянуто питання підвищення якості та механічних властивостей дверних ручок, виготовлених методом лиття під тиском зі сплаву EN AC-42100.

Проведено аналіз властивостей сплаву EN AC-42100 та особливостей його використання для виготовлення виробів дверної фурнітури. Досліджено вплив різних режимів термічної обробки на структуру та механічні властивості сплаву.

Розроблено технологію плавлення сплаву із застосуванням дегазації, модифікування та зерноподрібнення розплаву. Запропоновано вдосконалений технологічний процес виготовлення дверної ручки методом лиття під тиском із подальшою термічною обробкою.

У конструкторській частині роботи розроблено конструкцію прес-форми для лиття під та обрано обладнання для реалізації технологічного процесу.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка містить 75 сторінок формату А4, 9 рисунків, 12 таблиць та 17 літературних джерел. Графічна частина містить 11 листів формату А4 у додатку А.

Ключові слова: термічна обробка, алюмінієвий сплав, модифікування, розчинний відпал, штучне старіння.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Бурда				Вдосконалення технологічного процесу виготовлення ручки дверної зі сплаву EN AC-42100	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Фещук						3	75
Реценз.						ЛНТУ, каф. матеріалознавства, гр. ПМ(ІІМ)-41		
Н. Контр.	Мисковець							
Затв.	Імдірович							

ANNOTATION

Burda Volodymyr Vitaliyovych. Improvement of the technological process of manufacturing a door handle from the EN AC-42100 alloy. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP " Industrial Engineering and Management" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

of door handles made by injection molding from the EN AC-42100 alloy.

The properties of the EN AC-42100 alloy and the features of its use for the manufacture of door hardware products are analyzed. The influence of different heat treatment modes on the structure and mechanical properties of the alloy is studied.

The technology of melting the alloy using degassing, modification and grain grinding of the melt is developed. An improved technological process of manufacturing a door handle by injection molding with subsequent heat treatment is proposed.

In the design part of the work, the design of the mold for casting under and the equipment for the implementation of the technological process were developed.

The bachelor's qualification work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note contains 75 pages of A4 format, 9 figures, 12 tables and 17 literary sources. The graphic part contains 8 sheets of A4 format in Appendix A.

Keywords: heat treatment, aluminum alloy, modification, . solution annealing, artificial aging,

					<i>БР 2326.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	9
1.1. Конструкція та умови експлуатації дверних ручок	9
1.2. Вимоги до матеріалів для виготовлення дверних ручок.....	11
1.3 Аналіз способів виготовлення дверних ручок	13
1.4. Характеристика сплаву EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3).....	15
1.5. Вплив термічної обробки на структуру та властивості сплавів системи Al-Si-Mg	17
1.6. Постановка мети та задач дослідження	20
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	24
2.1. Методика металографічних досліджень	24
2.2. Особливості формування структури сплаву EN AC-42100 при литті під тиском.....	26
2.3. Мікроструктура сплаву EN AC-42100 у литому стані	28
2.4. Мікроструктура сплаву після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин	30
2.5. Мікроструктура сплаву після розчинного відпалу за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °C протягом 5 годин.....	32
2.6. Порівняльний аналіз структури сплаву після різних режимів термічної обробки.....	35
2.7. Дослідження впливу термічної обробки на твердість сплаву	36
2.8. Механічні властивості сплаву після різних режимів термічної обробки...	38
2.9. Висновки	41
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	43
3.1. Аналіз конструкції деталі	43
3.2. Вибір способу виготовлення	45

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Розробка технології плавлення сплаву EN AC-42100	47
3.4. Розробка технології лиття під тиском.....	51
3.5. Аналіз можливих дефектів лиття та способів їх усунення	53
3.6. Розробка технології термічної обробки	55
3.7. Вдосконалення технології виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100.....	58
3.8. Порівняння базової та вдосконаленої технології виготовлення дверної ручки.....	60
3.9. Висновки	62
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	64
4.1. Аналіз конструкції виливка та вибір площини роз'єму	64
4.2. Розробка конструкції прес-форми.....	65
4.3. Вибір матеріалів деталей прес-форми	68
4.4. Вибір обладнання для лиття під тиском	70
ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМДАЦІЇ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сучасне машинобудування та виробництво товарів широкого вжитку характеризуються постійним підвищенням вимог до якості, надійності та естетичних характеристик виробів. Одним із поширених елементів фурнітури, що широко використовується у житлових, громадських та промислових будівлях, є дверні ручки. Окрім забезпечення функціональності дверних конструкцій, вони виконують декоративну функцію, тому до них висуваються високі вимоги щодо міцності, зносостійкості, корозійної стійкості, точності геометричних розмірів та якості поверхні.

Для виготовлення дверних ручок широко застосовують ливарні алюмінієві сплави, які поєднують невелику густину, достатню міцність, добру корозійну стійкість та високі технологічні властивості. Одним із перспективних матеріалів для виробництва виробів складної форми є сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3). Завдяки вмісту кремнію сплав характеризується високою рідкотекучістю та добрими ливарними властивостями, а присутність магнію забезпечує можливість підвищення механічних властивостей шляхом термічної обробки.

Серед сучасних способів виготовлення деталей зі сплавів системи Al-Si-Mg найбільшого поширення набуло лиття під тиском. Цей метод дозволяє отримувати тонкостінні виливки складної конфігурації з високою точністю розмірів, малою шорсткістю поверхні та мінімальними припусками на механічну обробку. Разом із перевагами процес характеризується низкою технологічних проблем, пов'язаних з утворенням газової пористості, оксидних включень та внутрішніх дефектів, які негативно впливають на механічні властивості готових виробів.

Одним із напрямків підвищення якості литих виробів є вдосконалення технології підготовки розплаву, оптимізація параметрів лиття та застосування термічної обробки. Для сплавів типу AlSi7Mg0.3 ефективним способом

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміцнення є термічна обробка за режимом Т6, що включає розчинний відпал, гартування та штучне старіння. Проте для деталей, виготовлених методом лиття під тиском, традиційна термічна обробка може призводити до утворення поверхневих здуттів та зростання пористості. У зв'язку з цим значний практичний інтерес становлять сучасні технології типу Blister-Free Т6, які дозволяють покращити механічні властивості виливків без погіршення якості поверхні.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1. Конструкція та умови експлуатації дверних ручок

Дверні ручки належать до поширених елементів будівельної та меблевої фурнітури, які забезпечують відкривання та закривання дверних полотен різного призначення. Незважаючи на відносно просту конструкцію, до дверних ручок висуваються високі вимоги щодо механічної міцності, довговічності, ергономічності та декоративного зовнішнього вигляду. Від якості виготовлення дверної ручки значною мірою залежать зручність користування дверима, надійність роботи замкового механізму та загальний термін служби виробу.

Залежно від призначення дверей використовують ручки різних конструктивних виконань. Найбільшого поширення набули натискні дверні ручки, які складаються з рукоятки, декоративної накладки, кріпильних елементів та вузла з'єднання із замковим механізмом. Також застосовуються стаціонарні ручки-скоби, ручки-кнопки та спеціальні конструкції для громадських і промислових будівель.

Основною робочою частиною дверної ручки є рукоятка, яка безпосередньо сприймає навантаження від руки користувача. Під час експлуатації ручка працює переважно на згин, кручення та контактне навантаження в місцях кріплення до квадратного стрижня замкового механізму. Найбільші напруження виникають у перехідних ділянках між рукояткою та основою ручки, де спостерігається концентрація напружень внаслідок зміни геометрії виробу.

Під час експлуатації дверні ручки піддаються багаторазовим циклічним навантаженням. У житлових приміщеннях кількість циклів відкривання та

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закривання може досягати десятків тисяч протягом строку служби виробу, а в громадських будівлях цей показник значно вищий. Тому матеріал дверної ручки повинен характеризуватися достатньою міцністю, ударною в'язкістю та опором втомному руйнуванню.

Окрім механічних навантажень, дверні ручки піддаються впливу навколишнього середовища. Вироби, що використовуються всередині приміщень, експлуатуються за умов змінної вологості та температури, а ручки зовнішніх дверей додатково піддаються впливу атмосферних опадів, ультрафіолетового випромінювання та перепадів температур. У зв'язку з цим важливою вимогою є висока корозійна стійкість матеріалу та захисно-декоративних покриттів.

Особливе значення для дверних ручок мають естетичні характеристики. Поверхня виробу повинна мати мінімальну шорсткість, не містити раковин, пор, тріщин та інших дефектів, які можуть погіршувати зовнішній вигляд або знижувати довговічність виробу. Саме тому у виробництві сучасної фурнітури широко використовуються технології лиття під тиском, які забезпечують отримання високоякісних поверхонь без значних витрат на подальшу механічну обробку.

Для виготовлення дверних ручок застосовують різні матеріали, серед яких найбільш поширеними є латунь, цинкові сплави, алюмінієві сплави, нержавіюча сталь та полімерні композиційні матеріали. Останніми роками спостерігається зростання використання алюмінієвих ливарних сплавів, що пояснюється їх низькою густиною, хорошими ливарними властивостями, корозійною стійкістю та можливістю отримання складних виробів методом лиття під тиском.

Серед алюмінієвих ливарних сплавів особливий інтерес становить сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3), який характеризується високою рідкотекучістю, доброю заповнюваністю тонкостінних порожнин прес-форми та можливістю зміцнення за рахунок термічної обробки. Поєднання достатньої міцності,

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

малої маси та високої технологічності робить цей сплав перспективним матеріалом для виготовлення дверних ручок сучасних конструкцій.

Таким чином, умови експлуатації дверних ручок вимагають забезпечення комплексу механічних, корозійних та декоративних властивостей, що значною мірою визначаються правильним вибором матеріалу та технології виготовлення виробу.

1.2. Вимоги до матеріалів для виготовлення дверних ручок

Дверні ручки належать до виробів масового виробництва, які протягом усього терміну експлуатації зазнають значної кількості механічних навантажень та впливу факторів навколишнього середовища. Тому матеріали, що використовуються для їх виготовлення, повинні забезпечувати комплекс експлуатаційних, технологічних та естетичних властивостей.

Однією з основних вимог до матеріалу дверної ручки є достатня механічна міцність. У процесі експлуатації ручка сприймає навантаження від натискання користувачем, а також додаткові навантаження, пов'язані з перекосами дверного полотна, зношуванням замкового механізму та випадковими ударними впливами. Матеріал повинен забезпечувати необхідний запас міцності для запобігання пластичній деформації або руйнуванню виробу протягом усього терміну служби.

Важливою характеристикою є твердість матеріалу. Підвищена твердість сприяє зменшенню зношування поверхні, утворення подряпин та механічних пошкоджень під час експлуатації. Особливо це актуально для громадських приміщень, де інтенсивність використання дверей є значно вищою порівняно з житловими будівлями.

Не менш важливою вимогою є корозійна стійкість. Дверні ручки постійно контактують з атмосферним повітрям, вологою, мийними засобами

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та компонентами поту людини. Для зовнішніх дверей додатковими факторами є опади, перепади температур і вплив ультрафіолетового випромінювання. Корозійні процеси не лише погіршують зовнішній вигляд виробу, але й можуть спричиняти зниження його міцності та довговічності.

Матеріал дверної ручки повинен мати хороші технологічні властивості. Для сучасного виробництва особливо важливими є висока рідкотекучість, низька схильність до утворення тріщин, мінімальна усадка та можливість виготовлення тонкостінних виробів складної конфігурації. Ці вимоги особливо актуальні для технології лиття під тиском, яка широко застосовується у виробництві фурнітури.

Важливим критерієм є також можливість подальшої механічної обробки та нанесення декоративно-захисних покриттів. Поверхня виробу повинна забезпечувати якісне шліфування, полірування, фарбування або гальванічне покриття без утворення дефектів.

З економічної точки зору матеріал повинен мати прийнятну вартість, бути доступним для промислового виробництва та забезпечувати мінімальні витрати на виготовлення виробу. Одночасно необхідно враховувати екологічні аспекти виробництва та можливість вторинної переробки матеріалу після завершення терміну експлуатації виробу.

Для виготовлення дверних ручок застосовують латуні, цинкові сплави, нержавіючі сталі, алюмінієві сплави та полімерні композиційні матеріали. Серед них алюмінієві ливарні сплави займають особливе місце завдяки поєднанню невеликої густини, високої корозійної стійкості, добрих ливарних властивостей та можливості отримання високоякісної поверхні.

Сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3) задовольняє більшість перелічених вимог. Він характеризується високою рідкотекучістю, хорошою заповнюваністю прес-форми, достатніми механічними властивостями та можливістю зміцнення шляхом термічної обробки. Це робить його

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перспективним матеріалом для виготовлення дверних ручок методом лиття під тиском.

Таким чином, матеріал для виготовлення дверних ручок повинен забезпечувати оптимальне поєднання міцності, корозійної стійкості, технологічності, декоративних властивостей та економічної ефективності, що обумовлює доцільність використання сучасних алюмінієвих ливарних сплавів.

1.3 Аналіз способів виготовлення дверних ручок

Якість, собівартість та експлуатаційні характеристики дверних ручок значною мірою визначаються обраною технологією виготовлення. Сучасне виробництво фурнітури використовує різні способи формування заготовок, вибір яких залежить від матеріалу виробу, обсягу виробництва, вимог до точності розмірів та якості поверхні.

Одним із найпоширеніших способів виготовлення дверних ручок є лиття під тиском. Суть процесу полягає у заповненні металевої прес-форми рідким металом під високим тиском і з великою швидкістю. Технологія забезпечує отримання тонкостінних деталей складної конфігурації з високою точністю розмірів та низькою шорсткістю поверхні. Основними перевагами лиття під тиском є висока продуктивність, мінімальні припуски на механічну обробку та можливість автоматизації виробництва. Саме тому даний метод широко використовується для серійного виготовлення алюмінієвих та цинкових дверних ручок.

Разом із перевагами лиття під тиском має певні недоліки. Через високу швидкість заповнення форми можливе захоплення повітря розплавом та утворення газової пористості. Крім того, для виготовлення прес-форми необхідні значні капітальні витрати, що обмежує економічну доцільність процесу в умовах дрібносерійного виробництва.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншим способом є лиття в кокіль. При цьому розплавлений метал заливається у багаторазову металеву форму під дією сили тяжіння. Порівняно з литтям під тиском процес характеризується нижчою продуктивністю, проте забезпечує кращу якість металу завдяки меншій кількості газових дефектів. Отримані виливки добре піддаються термічній обробці за режимом Т6 та мають вищі механічні властивості. Недоліком методу є нижча точність розмірів і більша товщина стінок деталей.

Для виготовлення деталей підвищеної якості використовують лиття під низьким тиском. У цьому випадку заповнення форми здійснюється під дією надлишкового тиску газу, що забезпечує плавне надходження металу в порожнину форми та зменшує ймовірність утворення пористості. Метод дозволяє отримувати виливки з покращеною структурою та високими механічними властивостями, однак потребує складнішого обладнання та більших виробничих витрат.

У дрібносерійному виробництві можуть застосовуватися піщані форми або оболонкове лиття. Такі технології характеризуються низькою вартістю оснащення та високою універсальністю. Водночас отримані виливки мають значну шорсткість поверхні, нижчу точність розмірів та потребують додаткової механічної обробки. Для серійного виготовлення дверних ручок ці методи використовуються рідко.

Деякі виробники застосовують технології механічної обробки заготовок із деформованих матеріалів. У цьому випадку ручки виготовляють із прутків, профілів або поковок шляхом фрезерування, свердління та шліфування. Перевагою такого підходу є високі механічні властивості матеріалу та відсутність ливарних дефектів. Однак процес супроводжується значними втратами матеріалу, високою трудомісткістю та тривалим виробничим циклом.

Окрему групу складають технології порошкової металургії та адитивного виробництва. Незважаючи на значний потенціал, їх використання

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для масового виробництва дверної фурнітури поки що обмежене через високу вартість обладнання та матеріалів.

Порівняльний аналіз сучасних способів виготовлення дверних ручок свідчить, що найбільш раціональною технологією для серійного виробництва виробів зі сплаву EN AC-42100 є лиття під тиском. Цей спосіб забезпечує високу продуктивність, мінімальні витрати на подальшу обробку та отримання виробів складної форми з високою якістю поверхні. Додаткове вдосконалення технології шляхом оптимізації підготовки розплаву та застосування сучасних режимів термічної обробки дозволяє підвищити механічні властивості готових виробів та забезпечити їх відповідність сучасним вимогам експлуатації.

1.4. Характеристика сплаву EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3)

Для виготовлення тонкостінних виробів складної конфігурації, до яких належать дверні ручки, широко використовуються алюмінієві ливарні сплави системи Al-Si. Вони характеризуються високою рідкотекучістю, добрими ливарними властивостями, низькою густиною та достатньою корозійною стійкістю. Одним із найбільш поширених представників цієї групи є сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3), який успішно застосовується у машинобудуванні, автомобільній промисловості та виробництві фурнітури.

Сплав EN AC-42100 належить до доевтектичних силумінів. Основними легувальними елементами є кремній та магній. Кремній забезпечує високі ливарні властивості, покращує заповнюваність форми та знижує схильність до гарячих тріщин. Магній сприяє зміцненню сплаву за рахунок утворення фаз Mg₂Si та забезпечує можливість ефективної термічної обробки.

Типовий хімічний склад сплаву EN AC-42100 наведено в таблиці 1.1.

Основною перевагою сплаву є поєднання добрих ливарних та механічних властивостей. Завдяки невеликій густині (близько 2,68 г/см³) маса

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

готових виробів є значно меншою порівняно зі сталевими або латунними аналогами. Це особливо важливо для дверної фурнітури, оскільки зменшується навантаження на дверне полотно та механізм замка.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву EN AC-42100, % мас.

Елемент	Si	Mg	Fe	Mn	Ti	Cu	Zn	Al
Вміст, %	6,5–7,5	0,25–0,45	≤0,20	≤0,10	≤0,20	≤0,05	≤0,07	Основа

У литому стані механічні властивості сплаву знаходяться на достатньо високому рівні. Межа міцності становить приблизно 180...240 МПа, межа текучості – 80...130 МПа, а відносне видовження – 2...6 %. Після термічної обробки за режимом Т6 ці показники можуть суттєво зростати. Межа міцності може перевищувати 280...320 МПа, а межа текучості – 220...250 МПа.

Важливою перевагою EN AC-42100 є його добра корозійна стійкість. На поверхні алюмінію утворюється тонка оксидна плівка Al_2O_3 , яка захищає метал від подальшого окиснення. Завдяки цьому вироби можуть експлуатуватися в умовах підвищеної вологості без значного погіршення властивостей.

Структура сплаву EN AC-42100 формується в процесі кристалізації та складається з декількох фазових складових. Основною структурною складовою є твердий розчин кремнію та магнію в алюмінії (α -Al). Між дендритами α -фази розташовується евтектика Al-Si, яка містить частинки кремнію. Також у структурі можуть бути присутні інтерметаліди на основі заліза та магнієвмісні фази.

У немодифікованому стані евтектичний кремній має пластинчасту або голчасту форму. Такі виділення є концентраторами напружень і негативно впливають на пластичність сплаву. Для покращення структури застосовують модифікування стронцієм або натрієм, внаслідок чого кремній набуває дрібнодисперсної волокнистої форми.

Під час лиття під тиском швидкість охолодження значно вища, ніж при литті в піщані форми або кокіль. Це призводить до формування більш

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дрібнозернистої структури та часткового подрібнення евтектики. Разом із тим можуть виникати газова пористість, оксидні включення та локальні дефекти структури, які знижують механічні властивості виробу.

Особливий інтерес для даної роботи становить можливість зміцнення сплаву шляхом термічної обробки. Після розчинного відпалу значна частина магнію та кремнію переходить у твердий розчин. У процесі подальшого старіння відбувається виділення дрібнодисперсних частинок Mg_2Si , які перешкоджають руху дислокацій та забезпечують підвищення міцності й твердості сплаву.

Завдяки поєднанню високих ливарних властивостей, низької густини, достатньої корозійної стійкості та можливості термічного зміцнення сплав EN AC-42100 є перспективним матеріалом для виготовлення дверних ручок методом лиття під тиском. Його використання дозволяє отримувати вироби складної форми з високою якістю поверхні та необхідним рівнем експлуатаційних характеристик.

1.5. Вплив термічної обробки на структуру та властивості сплавів системи Al-Si-Mg

Алюмінієві ливарні сплави системи Al-Si-Mg належать до групи термічно зміцнюваних матеріалів, властивості яких можуть суттєво змінюватися внаслідок відповідної термічної обробки. Завдяки поєднанню високих ливарних характеристик, низької густини та можливості зміцнення вони широко застосовуються у виробництві деталей транспортного машинобудування, приладобудування, будівельної фурнітури та інших виробів відповідального призначення.

Основними легувальними елементами сплавів цієї групи є кремній і магній. Кремній забезпечує високі ливарні властивості та сприяє зменшенню усадки під час кристалізації, тоді як магній відповідає за можливість

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміцнення шляхом дисперсійного твердіння. Саме утворення дрібнодисперсних частинок інтерметалідної фази Mg_2Si під час старіння забезпечує значне підвищення міцності та твердості сплаву.

У литому стані структура сплаву EN AC-42100 складається з дендритів α -твердого розчину на основі алюмінію, евтектики Al-Si та окремих інтерметалідних фаз. Кремній у складі евтектики часто має пластинчасту або голчасту форму, яка негативно впливає на пластичність та ударну в'язкість матеріалу. Крім того, у структурі можуть бути присутні інтерметаліди типу $AlFeSi$ та частинки Mg_2Si , що утворилися під час кристалізації.

Механічні властивості литих силумінів значною мірою визначаються розміром дендритної комірки, морфологією кремнієвої евтектики та кількістю вторинних фаз. Для підвищення комплексу властивостей застосовують різні види термічної обробки, основними з яких є штучне старіння (T5) та повна термічна обробка за режимом T6.

Термічна обробка T5 передбачає нагрівання литої деталі без попереднього розчинного відпалу. У цьому випадку використовують тепло, яке залишилося після кристалізації виливка або після його додаткового нагрівання. Під час витримки за температури 150–200 °C відбувається виділення дрібнодисперсних частинок Mg_2Si , що забезпечують зміцнення матеріалу. Перевагами режиму T5 є простота реалізації, невеликі енергетичні витрати та відсутність ризику деформації виробів. Разом із тим ефект зміцнення при T5 є меншим порівняно з повною термічною обробкою T6.

Найбільш ефективним способом підвищення механічних властивостей сплавів Al-Si-Mg є термічна обробка за режимом T6. Вона складається з трьох основних стадій: розчинного відпалу, гартування та штучного старіння.

Під час розчинного відпалу виливок нагрівають до температури 500...550 °C і витримують протягом певного часу. У результаті цього відбувається розчинення значної частини магнієвмісних фаз та вирівнювання хімічної неоднорідності структури. Одночасно спостерігається поступова

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сфероїдизація пластинчастих частинок кремнію, що сприяє покращенню пластичних властивостей сплаву.

Після завершення розчинного відпалу проводять швидке охолодження, найчастіше у воді. Внаслідок гартування формується пересичений твердий розчин, який є нестійким за кімнатної температури. Подальше старіння забезпечує виділення великої кількості дрібнодисперсних зміцнювальних частинок Mg_2Si .

Під час штучного старіння за температури 150–180 °C відбуваються процеси розпаду пересиченого твердого розчину та формування зон Гінґс–Престона, метастабільних фаз β'' і β' , а також стабільної фази Mg_2Si . Максимальне зміцнення досягається на стадії утворення дрібнодисперсних метастабільних виділень, які ефективно перешкоджають руху дислокацій.

У результаті термічної обробки Т6 межа міцності сплавів Al-Si-Mg може збільшуватися на 30–50 %, а межа текучості – більш ніж удвічі порівняно з литим станом. Одночасно підвищується твердість матеріалу та покращується опір циклічним навантаженням.

Однак застосування традиційної термічної обробки Т6 для деталей, виготовлених методом лиття під тиском, пов'язане з певними труднощами. Висока швидкість заповнення прес-форми призводить до захоплення повітря розплавом та утворення внутрішньої газової пористості. Під час нагрівання до температур розчинного відпалу газ у порах розширюється, що може спричиняти утворення поверхневих здуттів, відомих як blisters. Такі дефекти суттєво погіршують зовнішній вигляд виробів та можуть знижувати їх механічні властивості.

Для усунення зазначених недоліків були розроблені спеціальні режими термічної обробки типу Blister-Free Т6. Їх особливістю є використання знижених температур розчинного відпалу та скорочених витримок, що дозволяє мінімізувати розширення газів у порах та запобігти утворенню поверхневих дефектів. Дослідження показують, що такі режими забезпечують

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значне підвищення міцності й твердості литих деталей при збереженні високої якості поверхні.

Під впливом термічної обробки відбуваються також істотні зміни мікроструктури сплаву. У литому стані кремній має переважно пластинчасту або голчасту форму. Після розчинного відпалу та старіння спостерігається його сфероїдизація і коагуляція. Одночасно відбувається подрібнення та рівномірний розподіл зміцнювальних фаз Mg_2Si . Такі структурні зміни сприяють підвищенню пластичності та зменшенню концентрації напружень у матеріалі.

Таким чином, термічна обробка є одним із найбільш ефективних способів підвищення експлуатаційних властивостей сплавів системи Al-Si-Mg. Для сплаву EN AC-42100 застосування сучасних режимів типу Blister-Free T6 дозволяє суттєво покращити механічні характеристики виробів, отриманих методом лиття під тиском, без погіршення якості поверхні. Це створює передумови для використання даного виду термічної обробки як одного з основних напрямків удосконалення технологічного процесу виготовлення дверних ручок.

1.6. Постановка мети та задач дослідження

Проведений аналіз конструкції та умов експлуатації дверних ручок показав, що до таких виробів висувається комплекс вимог щодо механічної міцності, зносостійкості, корозійної стійкості, точності геометричних розмірів та якості поверхні. Для забезпечення зазначених вимог доцільним є використання сучасних алюмінієвих ливарних сплавів, які поєднують добрі ливарні властивості, невелику густину та можливість зміцнення шляхом термічної обробки.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті аналізу сучасних технологій виготовлення дверних ручок встановлено, що найбільш ефективним способом їх серійного виробництва є лиття під тиском. Ця технологія забезпечує високу продуктивність, точність розмірів та якість поверхні виробів. Разом із тим для деталей, отриманих методом лиття під тиском, характерними є газова пористість, оксидні включення та інші дефекти, які можуть негативно впливати на механічні властивості готової продукції.

Серед алюмінієвих ливарних сплавів перспективним матеріалом для виготовлення дверних ручок є сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3). Завдяки оптимальному поєднанню кремнію та магнію він характеризується високою рідкотекучістю, достатніми механічними властивостями та можливістю зміцнення внаслідок термічної обробки. Особливий інтерес становлять режими термічного зміцнення, які дозволяють покращити комплекс механічних властивостей без погіршення якості поверхні виробів.

Аналіз науково-технічної літератури показав, що для сплавів системи Al-Si-Mg ефективним способом підвищення міцності та твердості є термічна обробка за режимом T6. Однак традиційна термічна обробка не завжди придатна для деталей, виготовлених методом лиття під тиском, через можливість утворення поверхневих здуттів, викликаних розширенням газів у внутрішніх порах. Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування модифікованої термічної обробки типу Blister-Free T6, яка забезпечує зміцнення матеріалу при збереженні високої якості поверхні виливків.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу різних режимів термічної обробки на структуру та властивості сплаву EN AC-42100, а також удосконалення технологічного процесу виготовлення дверної ручки методом лиття під тиском.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою роботи є вдосконалення технологічного процесу виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 шляхом оптимізації технології лиття під тиском та застосування модифікованої термічної обробки типу Blister-Free T6 для підвищення механічних властивостей і якості виливків.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасні технології виготовлення дверних ручок із алюмінієвих сплавів;
- дослідити особливості структури та властивостей сплаву EN AC-42100;
- проаналізувати вплив термічної обробки на структуру та механічні властивості сплавів системи Al-Si-Mg;
- дослідити особливості формування структури сплаву EN AC-42100 після лиття під тиском;
- виконати порівняльний аналіз структури та властивостей сплаву в литому стані, після термічної обробки T5 та після модифікованої термічної обробки Blister-Free T6;
- розробити технологічний процес виготовлення дверної ручки методом лиття під тиском;
- обґрунтувати режими плавлення, підготовки розплаву та лиття сплаву EN AC-42100;
- розробити заходи щодо вдосконалення технології підготовки розплаву, лиття під тиском та термічної обробки виробів;
- виконати порівняльну оцінку ефективності запропонованих технологічних рішень;
- розробити конструкцію прес-форми для виготовлення дверної ручки методом лиття під тиском.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предмет дослідження – вплив технологічних параметрів лиття під тиском та режимів термічної обробки на структуру і механічні властивості сплаву EN AC-42100.

Практичне значення роботи полягає у розробленні рекомендацій щодо вдосконалення технології виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100, які забезпечують підвищення якості виливків, покращення механічних властивостей виробів та зниження ймовірності виникнення ливарних дефектів.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Методика металографічних досліджень

Для оцінювання впливу технологічних факторів та режимів термічної обробки на структуру і властивості сплаву EN AC-42100 були проведені металографічні дослідження зразків у литому стані, після штучного старіння T5 та після модифікованої термічної обробки Blister-Free T6.

Метою металографічних досліджень було визначення особливостей формування структури сплаву після лиття під тиском, виявлення структурних змін під впливом термічної обробки та встановлення взаємозв'язку між мікроструктурою і механічними властивостями матеріалу.

Для дослідження використовували зразки, вирізані з характерних ділянок дверної ручки. Відбір здійснювали таким чином, щоб забезпечити отримання репрезентативної інформації про структуру матеріалу в найбільш навантажених зонах виробу. Після вирізання зразків виконували їх механічну підготовку для подальших металографічних досліджень.

Підготовка металографічних шліфів включала операції різання, запресовування, шліфування, полірування та травлення. Попереднє шліфування здійснювали на абразивних шліфувальних паперах із поступовим зменшенням зернистості від P240 до P2500. Для усунення деформованого поверхневого шару та отримання дзеркальної поверхні проводили полірування із застосуванням алмазних паст різної дисперсності.

Для виявлення мікроструктури використовували реактив Келлера, який широко застосовується для дослідження алюмінієвих сплавів. Типовий склад реактиву включає:

– 190 мл дистильованої води;

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 5 мл азотної кислоти HNO_3 ;
- 3 мл соляної кислоти HCl ;
- 2 мл плавикової кислоти HF .

Тривалість травлення становила від 10 до 30 секунд залежно від стану поверхні та необхідної контрастності структури.

Металографічні дослідження проводили за допомогою оптичного мікроскопа при збільшеннях $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$ та $\times 1000$. Дослідження виконували як у світлому полі, так і з використанням додаткових режимів освітлення для покращення контрастності окремих структурних складових.

Під час аналізу мікроструктури визначали:

- морфологію дендритів α -твердого розчину на основі алюмінію;
- форму та характер розподілу кремнієвої евтектики;
- наявність і розподіл інтерметалідних фаз;
- ознаки газової та усадкової пористості;
- зміни структури після термічної обробки;
- ступінь сфероїдизації частинок кремнію.

Особливу увагу приділяли аналізу евтектичного кремнію, оскільки саме його форма та дисперсність значною мірою визначають механічні властивості сплавів системи Al-Si-Mg . Порівнювали структуру матеріалу в литому стані, після старіння T5 та після термічної обробки Blister-Free T6.

Для оцінювання механічних властивостей проводили вимірювання твердості за методом Брінелля. Випробування виконували на підготовлених зразках відповідно до вимог чинних стандартів. Результати вимірювань використовували для встановлення впливу термічної обробки на зміцнення сплаву.

На підставі результатів металографічних досліджень і вимірювання твердості виконували порівняльний аналіз структури та властивостей сплаву EN AC-42100 у різних структурних станах. Отримані результати стали

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основою для розроблення рекомендацій щодо вдосконалення технології виготовлення дверної ручки методом лиття під тиском.

2.2. Особливості формування структури сплаву EN AC-42100 при литті під тиском

Структура та властивості ливарних алюмінієвих сплавів значною мірою визначаються умовами кристалізації розплаву. Для сплаву EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3) особливе значення мають швидкість охолодження, характер теплообміну між металом і формою, а також параметри процесу лиття. Саме ці фактори визначають розмір зерна, морфологію евтектики, розподіл фазових складових та рівень механічних властивостей готового виробу.

При литті під тиском розплавлений метал заповнює порожнину прес-форми з великою швидкістю та під дією високого тиску. Завдяки інтенсивному контакту металу з холодними поверхнями форми відбувається прискорене відведення тепла, що забезпечує високу швидкість кристалізації порівняно з литтям у піщані форми або кокіль.

Кристалізація сплаву EN AC-42100 починається з утворення первинних дендритів α -твердого розчину на основі алюмінію. У міру зниження температури дендрити ростуть, а залишок рідкої фази збагачується кремнієм та іншими легувальними елементами. Подальше затвердіння відбувається шляхом утворення евтектики Al-Si, яка розміщується переважно в міждендритних областях.

Для доевтектичного сплаву AlSi7Mg0.3 характерною є дендритно-евтектична структура. Світлі ділянки представлені дендритами α -Al, тоді як темні міждендритні області складаються з евтектичної суміші алюмінію та кремнію. Морфологія кремнієвої складової суттєво залежить від швидкості охолодження та умов модифікування розплаву.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висока швидкість охолодження при литті під тиском сприяє формуванню дрібнодисперсної структури та зменшенню розміру дендритної комірки. Подрібнення структури позитивно впливає на механічні властивості сплаву, оскільки забезпечує більш рівномірний розподіл напружень у матеріалі та підвищує його опір пластичній деформації.

Разом із позитивними ефектами лиття під тиском має певні особливості, які можуть негативно впливати на якість виливків. Через високу швидкість руху розплаву можливе захоплення повітря та утворення газової пористості. Крім того, турбулентне заповнення форми може призводити до формування оксидних плівок та неметалевих включень.

Газова пористість є одним із найбільш поширених дефектів виливків із алюмінієвих сплавів. Джерелом її утворення є як повітря, захоплене під час заповнення форми, так і водень, розчинений у розплаві. У процесі кристалізації розчинність водню в алюмінії різко зменшується, що сприяє виділенню газу та формуванню пор.

У структурі литих сплавів можуть також утворюватися інтерметалідні фази на основі заліза. Найчастіше вони представлені сполуками типу Al_5FeSi та Al_8Fe_2Si . Їх кількість залежить від вмісту заліза у вихідному сплаві та умов кристалізації. Надмірний вміст таких фаз може призводити до зниження пластичності та погіршення експлуатаційних характеристик матеріалу.

Особливу роль у формуванні властивостей сплаву відіграє магній. Частина магнію розчиняється в α -твердому розчині, а частина бере участь в утворенні фази Mg_2Si . Саме ця фаза забезпечує можливість ефективного зміцнення сплаву шляхом термічної обробки. У литому стані частинки Mg_2Si мають відносно великі розміри та нерівномірний розподіл, тому їх внесок у зміцнення матеріалу є обмеженим.

Важливим параметром структури є форма евтектичного кремнію. У литому стані кремній зазвичай має пластинчасту або голчасту морфологію. Такі виділення є концентраторами напружень і можуть сприяти зародженню

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікротріщин під час навантаження. Саме тому одним із основних напрямків покращення властивостей силумінів є зміна морфології кремнієвої евтектики шляхом модифікування та подальшої термічної обробки.

Отже, структура сплаву EN AC-42100 після лиття під тиском формується в умовах інтенсивного охолодження та характеризується дрібнодисперсною дендритно-евтектичною будовою. Основними структурними складовими є дендрити α -твердого розчину на основі алюмінію, евтектика Al-Si, інтерметалідні фази та поодинокі пори газового походження. Особливості такої структури визначають механічні властивості матеріалу та створюють передумови для їх подальшого покращення шляхом застосування термічної обробки.

2.3. Мікроструктура сплаву EN AC-42100 у литому стані

На рисунках 2.1 та 2.2 наведено мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після лиття під тиском при збільшеннях $\times 100$ та $\times 500$ відповідно.

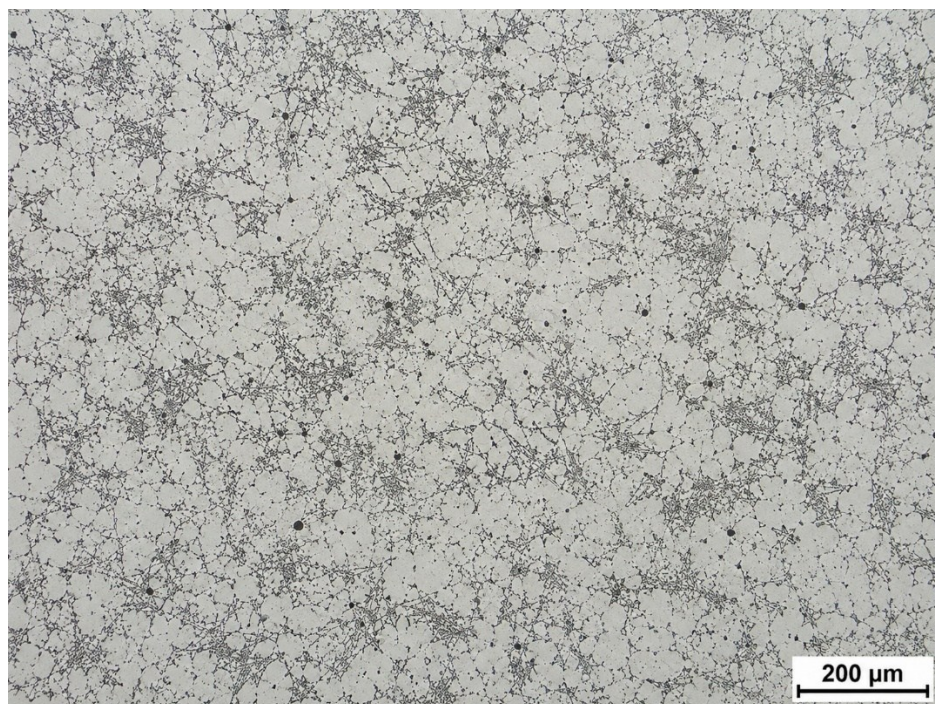


Рисунок 2.1 – Литий стан сплаву EN AC-42100. $\times 100$

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

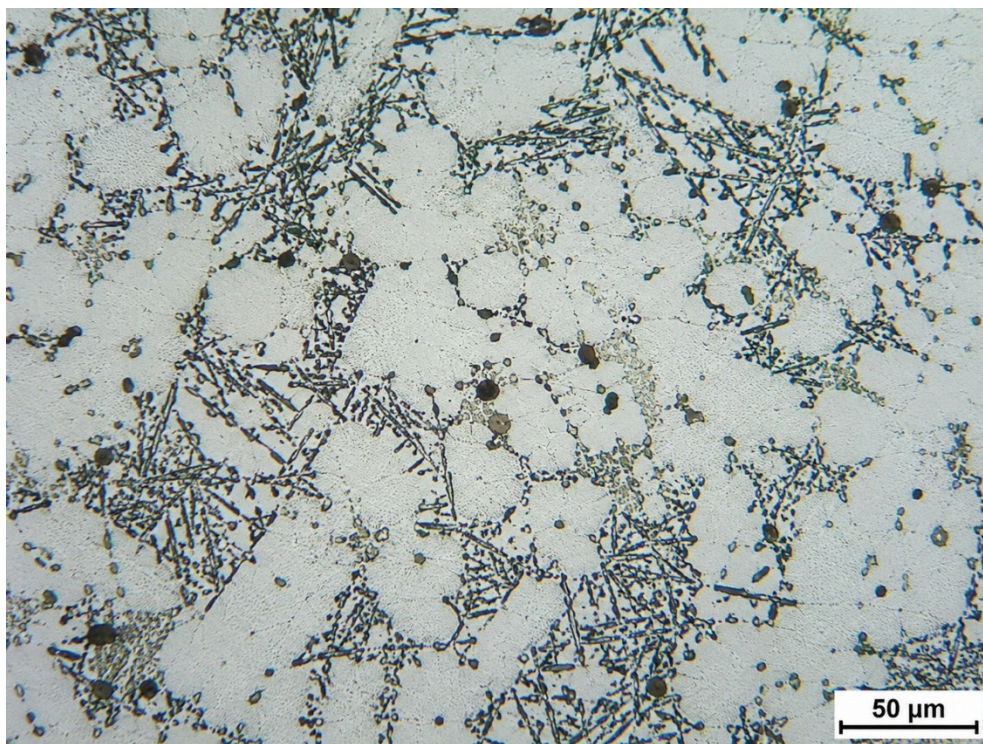


Рисунок 2.2 – Литий стан сплаву EN AC-42100. $\times 500$

У структурі чітко спостерігаються світлі ділянки α -твердого розчину на основі алюмінію, які сформувалися в процесі первинної кристалізації розплаву. Внаслідок високої швидкості охолодження, характерної для лиття під тиском, дендритна структура є відносно дрібною та рівномірно розподіленою по всьому об'єму матеріалу.

Між дендритними комірками розташована евтектична складова Al-Si, представлена темними пластинчастими та голчастими виділеннями кремнію. При збільшенні $\times 500$ добре видно, що кремнієва евтектика має розгалужену морфологію та утворює скупчення вздовж міждендритних областей. Окремі частинки кремнію мають витягнуту форму з гострими кінцями, що є характерною ознакою литого стану доевтектичних силумінів.

У структурі також спостерігаються окремі округлі темні включення невеликого розміру, які можуть відповідати газовій пористості або інтерметалідним фазам на основі заліза. Їх кількість є незначною, що свідчить про достатньо якісне проведення процесу лиття та підготовки розплаву.

Пластинчаста форма кремнію створює локальні концентратори напружень і є однією з причин обмеженої пластичності литого сплаву. Саме тому подальше покращення властивостей матеріалу доцільно здійснювати шляхом термічної обробки.

Таким чином, мікроструктура сплаву EN AC-42100 у литому стані характеризується наявністю дендритів α -Al, міждендритної евтектики Al-Si, окремих інтерметалідних фаз та незначної кількості пор, що є типовим для силумінів, виготовлених методом лиття під тиском.

2.4. Мікроструктура сплаву після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин

На рисунках 2.3 та 2.4 наведено мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин при збільшеннях $\times 100$ та $\times 500$ відповідно.

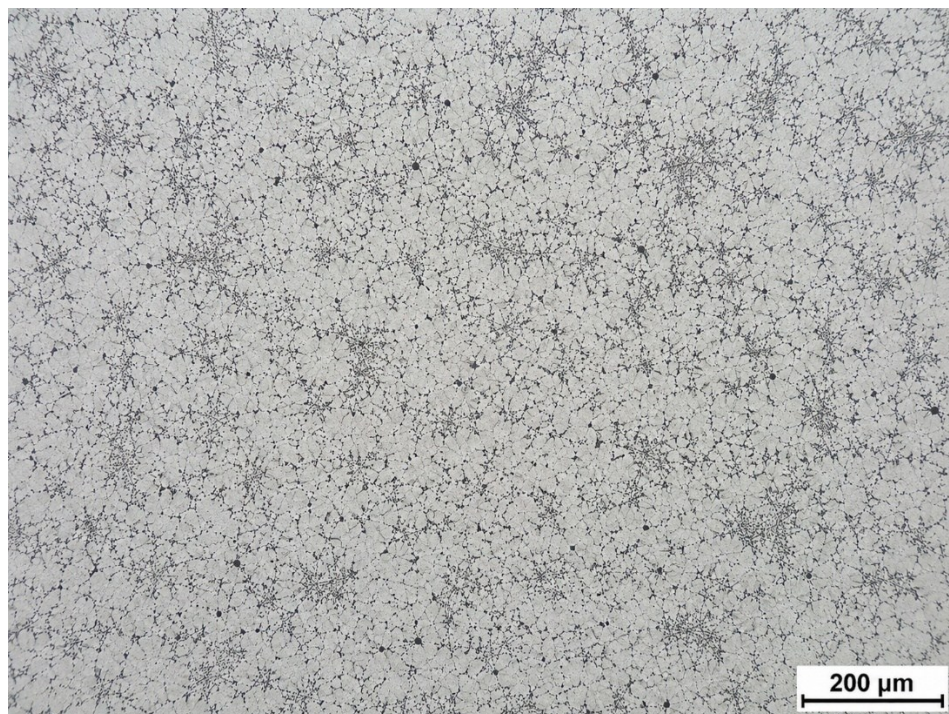


Рисунок 2.3 – Мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин. $\times 100$

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

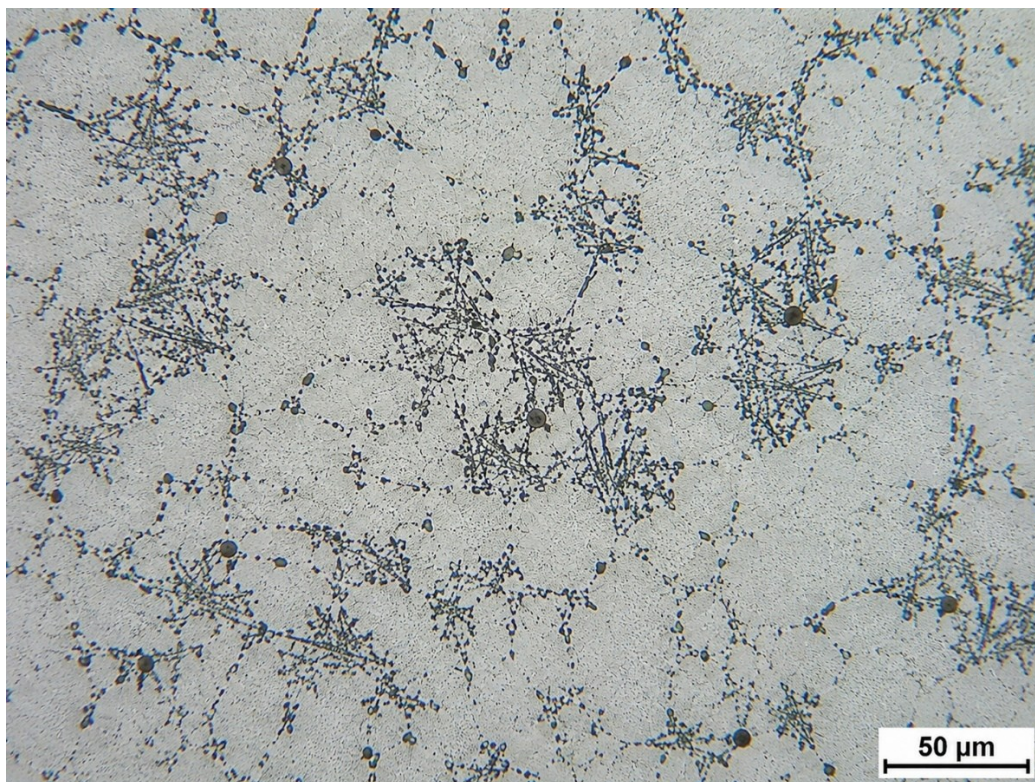


Рисунок 2.4 – Мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин. х 500

Порівняно з литим станом загальний характер структури залишається практично незмінним. Основу матеріалу, як і раніше, складають дендрити α -твердого розчину на основі алюмінію та міждендритні області евтектики Al-Si. Це пояснюється тим, що під час старіння за відносно невисокої температури істотного перерозподілу структурних складових не відбувається.

Разом із тим при збільшенні $\times 500$ спостерігається певне зменшення контрастності кремнієвої евтектики та часткове згладжування найбільш тонких пластинчастих виділень кремнію. У структурі зменшується кількість різко виражених голчастих частинок, а окремі елементи евтектики набувають більш округлої форми.

Основною причиною зміцнення сплаву після старіння є не зміна морфології кремнію, а утворення в алюмінієвій матриці дрібнодисперсних зміцнювальних виділень Mg_2Si . Через малі розміри ці фази не можуть бути

безпосередньо виявлені методами оптичної металографії, проте саме вони забезпечують підвищення твердості та межі текучості матеріалу.

Структура після старіння залишається достатньо однорідною. Ознак інтенсивного росту зерна або появи додаткової пористості не виявлено. Газові пори, наявні після лиття, зберігають свої розміри та форму.

Таким чином, штучне старіння за температури 170 °С протягом 6 годин забезпечує зміцнення сплаву переважно за рахунок дисперсійного твердіння при мінімальних змінах загальної морфології мікроструктури.

2.5. Мікроструктура сплаву після розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °С протягом 5 годин

На рисунках 2.5 та 2.6 наведено мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °С протягом 5 годин.

«Розчинний відпал» (solution treatment, solution heat treatment) означає зовсім не те саме, що відпал сталей. Для сплаву EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3) розчинний відпал – це нагрівання до температури, за якої частина фаз, що виділилися під час кристалізації, переходить назад у твердий розчин алюмінію.

Порівняно з литим станом та структурою після старіння в матеріалі спостерігаються найбільш суттєві зміни. Основною особливістю є значна зміна морфології евтектичного кремнію. Голчасті та пластинчасті виділення, характерні для литого стану, практично відсутні. Натомість кремній представлений переважно округлими або овальними частинками, рівномірно розподіленими по міждендритних ділянках.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

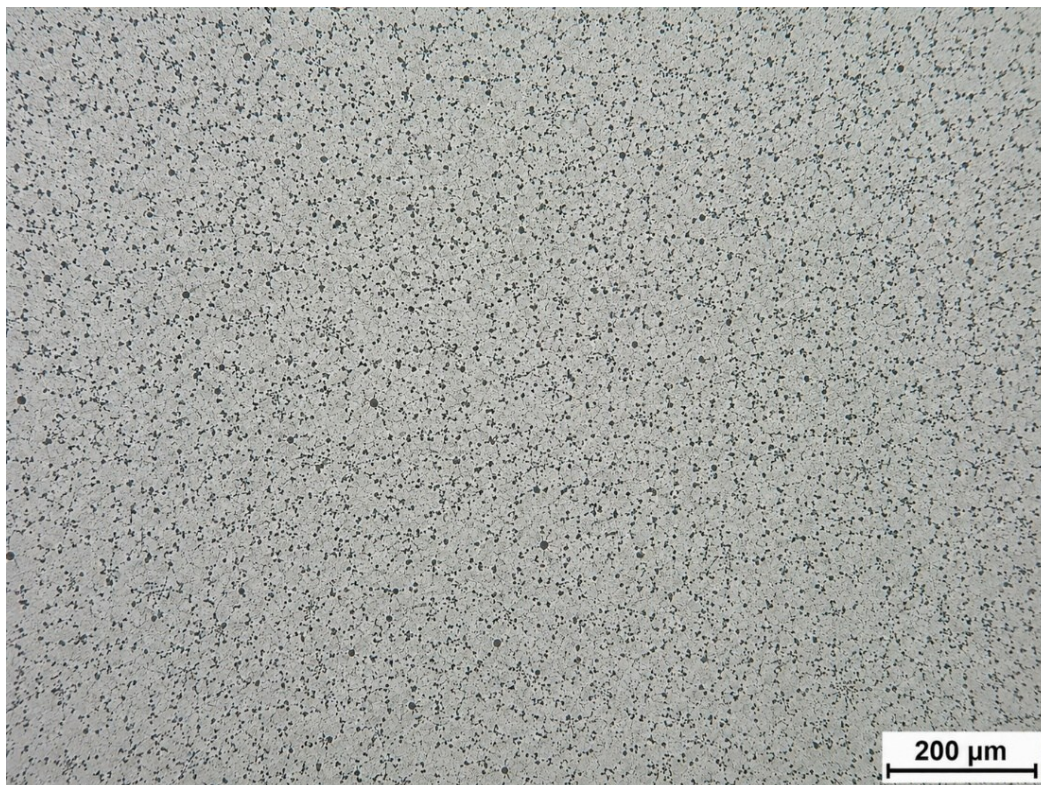


Рисунок 2.5 – Мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після розчинного відпалу за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °C протягом 5 годин. $\times 100$

Процес сфероїдизації кремнію відбувається під час розчинного відпалу внаслідок дифузійного перерозподілу атомів кремнію. Зменшення кількості гострих виступів сприяє зниженню концентрації напружень та покращенню пластичних властивостей матеріалу.

На мікроструктурі при збільшенні $\times 500$ добре спостерігається значне подрібнення та округлення евтектичних частинок. Структура стає більш рівномірною та стабільною. Одночасно відбувається розчинення частини магнієвмісних фаз під час нагрівання та подальше виділення дисперсних зміцнювальних частинок Mg_2Si під час старіння.

Після гартування формується пересичений твердий розчин, а наступне старіння забезпечує утворення великої кількості дрібнодисперсних зміцнювальних фаз, які сприяють збільшенню міцності сплаву.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

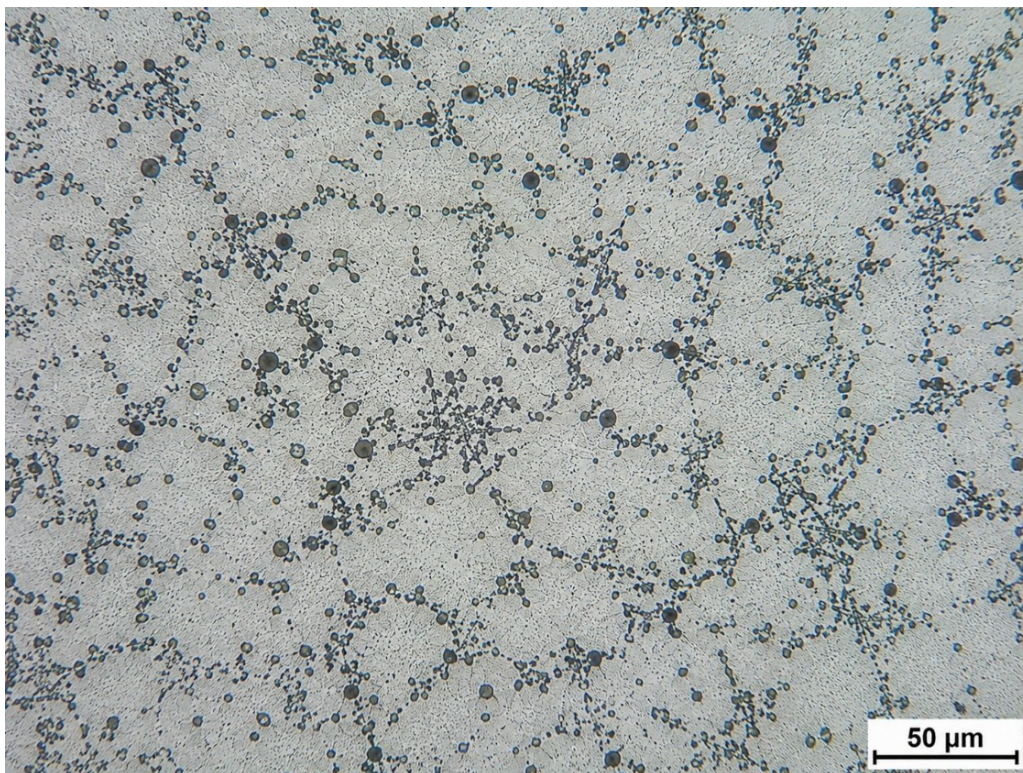


Рисунок 2.6 – Мікроструктуру сплаву EN AC-42100 після розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °С протягом 5 годин. x500

Отримана структура характеризується найвищим ступенем структурної однорідності серед досліджених станів. Саме така морфологія евтектичного кремнію є найбільш сприятливою для забезпечення високого комплексу механічних властивостей.

Таким чином, застосування розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °С протягом 5 годин забезпечує формування дрібнодисперсної структури зі сфероїдизованим кремнієм та створює передумови для досягнення максимальних показників міцності й твердості сплаву EN AC-42100.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Порівняльний аналіз структури сплаву після різних режимів термічної обробки

Проведені металографічні дослідження дозволили оцінити вплив різних режимів термічної обробки на структуру сплаву EN AC-42100 та встановити закономірності її зміни.

У литому стані структура сплаву характеризується наявністю дендритів α -твердого розчину на основі алюмінію та міждендритних ділянок евтектики Al-Si. Кремнієва складова має переважно пластинчасту та голчасту форму, що є характерним для доевтектичних силумінів після кристалізації. У структурі також присутні окремі пори та інтерметалідні включення.

Після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин загальний характер структури суттєво не змінюється. Дендритна будова та розташування евтектики залишаються практично незмінними. Водночас спостерігається певне згладжування найбільш тонких кремнієвих пластин та підвищення структурної однорідності. Основні зміни відбуваються на субмікроскопічному рівні внаслідок виділення дрібнодисперсних частинок Mg_2Si , які не виявляються засобами оптичної металографії.

Найбільш суттєві структурні зміни спостерігаються після розчинного відпалу за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °C протягом 5 годин. У результаті термічної обробки відбувається сфероїдизація евтектичного кремнію та його перехід від пластинчастої до переважно округлої форми. Структура стає більш рівномірною, зменшується кількість гострих виступів та локальних концентраторів напружень.

Порівняння мікроструктур показує, що найбільш сприятливий структурний стан формується після комплексної термічної обробки, яка включає розчинний відпал, гартування та старіння. Саме в цьому випадку

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягається найбільш рівномірний розподіл структурних складових і створюються передумови для отримання максимальних механічних властивостей.

Результати металографічних досліджень свідчать, що термічна обробка є ефективним засобом керування структурою сплаву EN AC-42100 та дозволяє суттєво покращити експлуатаційні характеристики виробів, виготовлених методом лиття під тиском.

2.7. Дослідження впливу термічної обробки на твердість сплаву

Твердість є однією з найважливіших характеристик конструкційних матеріалів, оскільки безпосередньо пов'язана з їх міцністю, зносостійкістю та опором пластичній деформації. Для деталей дверної фурнітури підвищення твердості сприяє покращенню довговічності виробів, зменшенню інтенсивності зношування та збереженню якості поверхні протягом тривалого терміну експлуатації.

Для оцінки ефективності досліджуваних режимів термічної обробки було виконано порівняння твердості сплаву EN AC-42100 у литому стані, після штучного старіння за температури 170 °C протягом 6 годин та після розчинного відпалу за температури 490 °C протягом 30 хвилин з наступним гартуванням у воді та штучним старінням за температури 170 °C протягом 5 годин.

Результати вимірювання твердості наведені в таблиці 2.1.

Аналіз отриманих результатів показує, що найнижча твердість характерна для сплаву у литому стані. Після кристалізації структура складається з дендритів α -Al та евтектики Al-Si з пластинчастими виділеннями кремнію. У такому стані зміцнювальні фази розподілені нерівномірно, а їх вплив на механічні властивості є обмеженим.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після штучного старіння за температури 170 °С протягом 6 годин твердість збільшується приблизно на 13 %. Підвищення твердості пояснюється виділенням дрібнодисперсних частинок Mg_2Si із пересиченого твердого розчину. Ці виділення створюють додаткові перешкоди для руху дислокацій та підвищують опір пластичній деформації матеріалу.

Таблиця 2.1 – Твердість сплаву EN AC-42100 після різних режимів термічної обробки

Стан матеріалу	Твердість, НВ
Лиття під тиском	75
Штучне старіння 170 °С, 6 год	85
Розчинний відпал 490 °С, 30 хв + гартування у воді + старіння 170 °С, 5 год	102

Найбільше збільшення твердості спостерігається після комплексної термічної обробки, яка включає розчинний відпал, гартування та штучне старіння. У цьому випадку твердість зростає до 102 НВ, що приблизно на 36 % перевищує значення для литого стану (рисунок 2.7).

Значне зміцнення матеріалу обумовлене комплексом структурних змін. Під час розчинного відпалу відбувається розчинення магнієвмісних фаз та формування пересиченого твердого розчину. Наступне гартування фіксує цей стан, а під час старіння формується велика кількість дрібнодисперсних зміцнювальних виділень Mg_2Si . Одночасно відбувається сфероїдизація евтектичного кремнію, що сприяє більш рівномірному розподілу напружень у структурі.

Для наочного порівняння результатів доцільно побудувати діаграму зміни твердості залежно від режиму термічної обробки (рисунок 2.7).

Отримані результати свідчать, що застосування лише штучного старіння дозволяє забезпечити помірне підвищення твердості при мінімальних енергетичних витратах. Водночас максимальний ефект досягається після

проведення розчинного відпалу, гартування та старіння, коли реалізується повний потенціал дисперсійного зміцнення сплаву EN AC-42100.

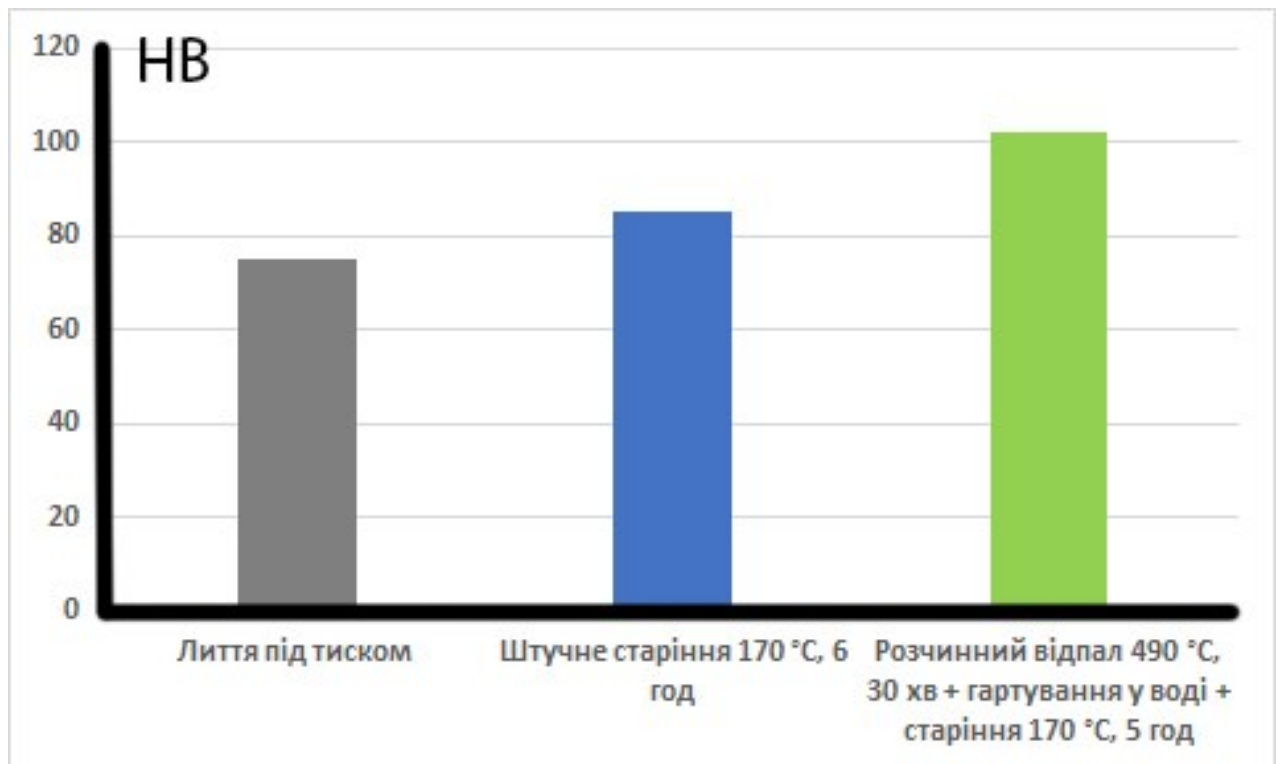


Рисунок 2.7 – Залежність твердості від режиму обробки сплаву EN AC-42100

Таким чином, проведені дослідження підтверджують високу ефективність комплексної термічної обробки для підвищення твердості виробів зі сплаву EN AC-42100, виготовлених методом лиття під тиском. Отримані результати можуть бути використані при вдосконаленні технології виготовлення дверних ручок з метою підвищення їх експлуатаційних характеристик.

2.8. Механічні властивості сплаву після різних режимів термічної обробки

Механічні властивості є основними показниками, які визначають працездатність та довговічність виробів під час експлуатації. Для дверних

ручок особливе значення мають межа міцності, межа текучості, пластичність та твердість, оскільки саме вони характеризують здатність матеріалу сприймати експлуатаційні навантаження без руйнування та залишкових деформацій.

На основі проведених доліджень сплаву EN AC-42100 та результатів вимірювання твердості було встановлено механічні властивості після різних режимів термічної обробки. Результати наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сплаву EN AC-42100 після різних режимів термічної обробки

Стан матеріалу	Межа міцності Rm, МПа	Межа текучості Rp0,2, МПа	Відносне видовження A, %	Твердість HB
Лиття під тиском	220	115	4,0	75
Штучне старіння за температури 170 °C протягом 6 годин	255	170	3,8	85
Розчинний відпал за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучне старіння за температури 170 °C протягом 5 годин	310	245	5,5	102

З наведених даних видно, що найнижчі показники міцності характерні для сплаву в литому стані. Це пояснюється наявністю пластинчастої кремнієвої евтектики, нерівномірним розподілом фаз та відсутністю ефекту дисперсійного зміцнення. Межа міцності становить близько 220 МПа, а межа текучості не перевищує 115 МПа.

Після проведення штучного старіння за температури 170 °С протягом 6 годин спостерігається помітне зростання міцності. Межа міцності збільшується до 255 МПа, а межа текучості досягає 170 МПа. Таке покращення пояснюється виділенням дрібнодисперсних частинок Mg_2Si , які створюють перешкоди для руху дислокацій та підвищують опір пластичній деформації.

При цьому пластичність дещо знижується порівняно з литим станом, що є характерним для процесів дисперсійного твердіння. Незважаючи на це, матеріал зберігає достатній рівень пластичності для використання у виробництві дверної фурнітури.

Найкращий комплекс механічних властивостей формується після розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин з наступним гартуванням у воді та штучним старінням за температури 170 °С протягом 5 годин. Межа міцності в цьому випадку досягає 310 МПа, а межа текучості – 245 МПа. Порівняно з литим станом міцність зростає приблизно на 41 %, а межа текучості – більш ніж удвічі.

Покращення властивостей пояснюється комплексною дією кількох механізмів зміцнення. Під час розчинного відпалу відбувається вирівнювання хімічної неоднорідності структури та часткове розчинення магнієвмісних фаз. Після гартування формується пересичений твердий розчин, а в процесі старіння відбувається інтенсивне виділення зміцнювальних частинок Mg_2Si .

Додатковим фактором підвищення механічних властивостей є сфероїдизація евтектичного кремнію. Зменшення кількості пластинчастих і голчастих частинок призводить до зниження концентрації напружень та

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покращення умов роботи матеріалу під навантаженням. Саме цим пояснюється одночасне зростання міцності та пластичності після комплексної термічної обробки.

Порівняння отриманих результатів свідчить про високу ефективність застосування термічної обробки для виробів зі сплаву EN AC-42100. Найбільш перспективним режимом є розчинний відпал за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучне старіння за температури 170 °C протягом 5 годин, який забезпечує формування оптимальної структури та найкращого комплексу механічних властивостей.

Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшого вдосконалення технології виготовлення дверних ручок методом лиття під тиском та вибору раціональних режимів термічної обробки залежно від вимог до експлуатаційних характеристик готових виробів.

2.9. Висновки

У розділі проведено дослідження структури та властивостей сплаву EN AC-42100, призначеного для виготовлення дверних ручок методом лиття під тиском. Виконаний аналіз дозволив встановити особливості формування мікроструктури матеріалу в литому стані та оцінити вплив різних режимів термічної обробки на його властивості.

Встановлено, що після лиття під тиском структура сплаву має дендритно-евтектичну будову та складається з дендритів α -твердого розчину на основі алюмінію, міждендритної евтектики Al-Si, окремих інтерметалідних фаз і незначної кількості пор газового походження. Кремнієва складова евтектики характеризується переважно пластинчастою та голчастою морфологією, що негативно впливає на пластичність матеріалу та створює локальні концентратори напружень.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження структури після штучного старіння за температури 170 °С протягом 6 годин показало, що загальна морфологія структурних складових суттєво не змінюється. Підвищення твердості та міцності в даному випадку забезпечується переважно за рахунок виділення дрібнодисперсних зміцнювальних фаз Mg_2Si .

Найбільш значні структурні зміни спостерігаються після проведення розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °С протягом 5 годин. Внаслідок термічної обробки відбувається сфероїдизація кремнієвої евтектики, підвищується структурна однорідність матеріалу та створюються сприятливі умови для дисперсійного зміцнення сплаву.

Встановлено, що твердість сплаву збільшується від 75 НВ у литому стані до 85 НВ після штучного старіння та до 102 НВ після комплексної термічної обробки. Одночасно прогнозовані значення межі міцності зростають від 220 до 310 МПа, а межі текучості – від 115 до 245 МПа.

Отримані результати свідчать про високу ефективність застосування термічної обробки для сплаву EN AC-42100. Найкращий комплекс механічних властивостей забезпечує режим, що включає розчинний відпал за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучне старіння за температури 170 °С протягом 5 годин.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили доцільність використання зазначеного режиму термічної обробки як одного з основних напрямків удосконалення технологічного процесу виготовлення дверних ручок зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз конструкції деталі

Об'єктом розробки є дверна ручка натискного типу, призначена для встановлення на міжкімнатні та входні двері житлових, громадських та адміністративних будівель. Ручка встановлюється на круглій декоративній розетці та забезпечує передачу зусилля від користувача до замкового механізму через квадратний шпindel.

Відповідно до креслення загальна довжина ручки становить 149 мм, відстань від осі обертання до крайньої точки рукоятки – 121 мм, максимальна висота виробу – 65 мм, ширина рукоятки – 18 мм. Діаметр декоративної розетки складає 53,5 мм, а її товщина – 12 мм.

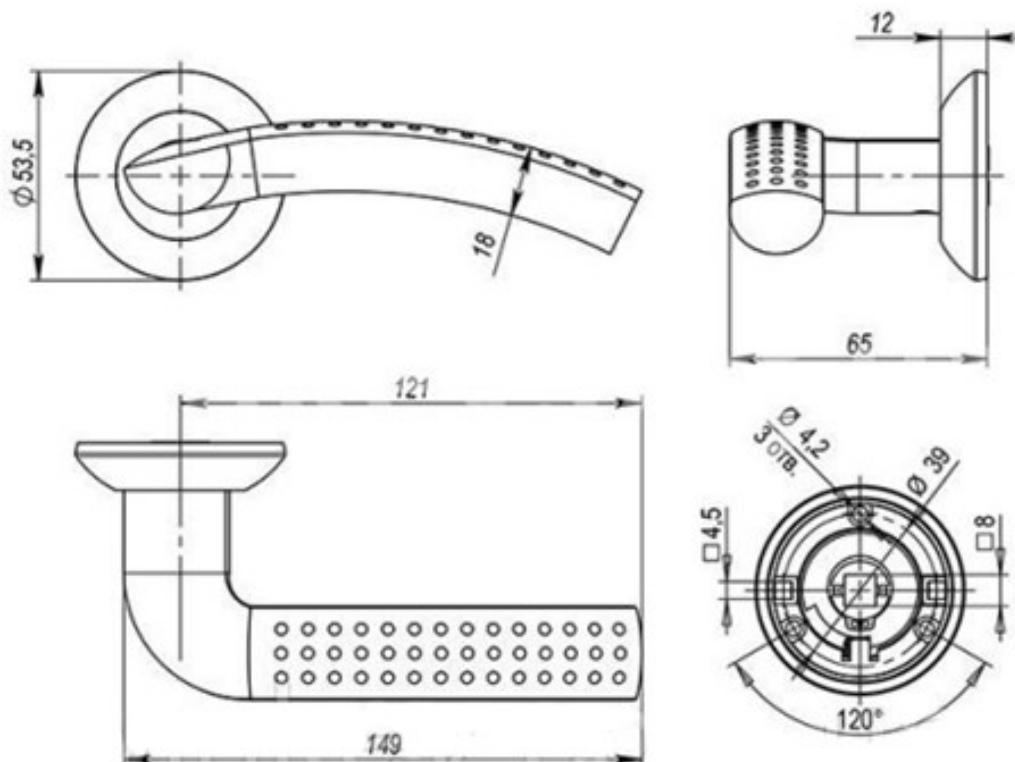


Рисунок 3.1 – Ескіз ручки дверної в зборі

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Конструкція виробу характеризується плавними переходами між окремими елементами, відсутністю гострих кутів та наявністю радіусних спряжень, що позитивно впливає як на міцність виробу, так і на технологічність його виготовлення. Робоча поверхня рукоятки містить декоративне рифлення у вигляді системи заглиблень, які покращують ергономічні властивості ручки та підвищують зручність користування.

Передача крутного моменту від ручки до механізму замка здійснюється через квадратний отвір, розташований у центральній частині розети. Формування даного отвору передбачається виконувати безпосередньо під час лиття за допомогою стрижневого пуансона прес-форми. Таке конструктивне рішення дозволяє виключити додаткові операції свердління та протягування квадратного отвору, що зменшує трудомісткість виготовлення виробу.

З точки зору умов експлуатації дверна ручка працює переважно на згин та кручення. Найбільші навантаження виникають у зоні переходу від рукоятки до шийки ручки, розташованої біля розети. Саме ця ділянка є найбільш відповідальною з точки зору міцності конструкції та потребує забезпечення високої якості металу без усадкових і газових дефектів.

Особливістю конструкції є поєднання відносно тонкостінної рукоятки з більш масивною центральною частиною біля розети. У процесі кристалізації це може спричиняти нерівномірне охолодження металу та локальне накопичення усадкових явищ у зоні переходу. Тому під час проєктування технологічного процесу необхідно забезпечити раціональне підведення металу та ефективне охолодження найбільш масивних ділянок виливка.

Аналіз геометрії виробу показує, що деталь практично не містить піднутрень і може бути виготовлена у двоплитній прес-формі без застосування складних бічних повзунів. Основна площина роз'єму може проходити через поздовжню вісь симетрії ручки, що спрощує конструкцію прес-форми та полегшує видалення виливка після кристалізації.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Невеликі габаритні розміри, складна просторова форма, підвищені вимоги до зовнішнього вигляду та необхідність забезпечення високої продуктивності виробництва роблять лиття під тиском найбільш раціональним способом виготовлення даної деталі. Використання цього методу дозволяє отримувати готові вироби з високою точністю геометричних розмірів, малою шорсткістю поверхні та мінімальними припусками на подальшу механічну обробку.

Таким чином, проведений аналіз конструкції показав, що дверна ручка є технологічною для виготовлення методом лиття під тиском зі сплаву EN AC-42100. Геометрія виробу дозволяє використовувати відносно просту конструкцію прес-форми, а сам процес лиття забезпечує отримання необхідних експлуатаційних та декоративних характеристик готової продукції.

3.2. Вибір способу виготовлення

Одним із найважливіших етапів розробки технологічного процесу є вибір способу виготовлення деталі. Від правильності вибору технології залежать якість виробу, продуктивність виробництва, собівартість продукції та можливість забезпечення необхідних механічних і декоративних властивостей.

Дверна ручка належить до деталей складної просторової форми, які мають підвищені вимоги до точності геометричних розмірів та якості поверхні. Конструкція виробу містить плавні криволінійні поверхні, декоративні елементи та внутрішню порожнину під квадратний шпindel замкового механізму. Виріб призначений для серійного виробництва, тому обрана технологія повинна забезпечувати високу продуктивність та стабільність якості.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 можуть бути використані різні способи лиття: лиття в піщані форми, лиття в кокіль, лиття під низьким тиском та лиття під тиском.

Лиття в піщані форми характеризується невисокою вартістю оснащення та можливістю виготовлення деталей складної конфігурації. Проте даний спосіб не забезпечує необхідної точності розмірів і якості поверхні. Крім того, для отримання декоративного зовнішнього вигляду необхідний значний обсяг механічної обробки, що суттєво збільшує собівартість виробу.

Лиття в кокіль дозволяє отримувати виливки з кращою якістю поверхні та вищими механічними властивостями завдяки прискореному охолодженню металу. Однак точність розмірів та продуктивність процесу залишаються нижчими порівняно з литтям під тиском. Крім того, для деталей складної форми можуть виникати труднощі із заповненням тонкостінних ділянок форми.

Лиття під низьким тиском забезпечує високу якість металу та мінімальну кількість газових дефектів. Проте застосування цього способу є економічно доцільним переважно для більш масивних та відповідальних деталей машинобудівного призначення. Для виробництва дверної фурнітури така технологія є надмірно складною та дорогою.

Найбільш раціональним способом виготовлення досліджуваної деталі є лиття під тиском. При цьому процесі розплавлений метал подається до порожнини прес-форми з великою швидкістю та під високим тиском, що забезпечує якісне заповнення тонкостінних ділянок та точне відтворення складної геометрії виробу.

Основними перевагами лиття під тиском для виготовлення дверної ручки є:

- висока точність геометричних розмірів;
- мала шорсткість поверхні виливків;

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість формування декоративних елементів без додаткової обробки;
- висока продуктивність процесу;
- мінімальні припуски на механічну обробку;
- можливість отримання тонкостінних виробів складної форми;
- стабільність якості продукції в умовах серійного виробництва.

Для лиття алюмінієвих сплавів застосовують машини з холодною камерою пресування. Це пояснюється високою температурою плавлення алюмінієвих сплавів, яка не дозволяє використовувати машини з гарячою камерою пресування через інтенсивне зношування пресувального вузла.

Для виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 доцільно використовувати холоднокамерну машину лиття під тиском із горизонтальною камерою пресування. Така схема забезпечує стабільне заповнення порожнини форми, високу якість поверхні та можливість автоматизації виробничого процесу.

Таким чином, на підставі аналізу конструкції виробу, вимог до його якості та умов серійного виробництва встановлено, що найбільш раціональним способом виготовлення дверної ручки є лиття під тиском на холоднокамерній машині із горизонтальною камерою пресування з використанням сплаву EN AC-42100.

3.3. Розробка технології плавлення сплаву EN AC-42100

Якість виливків зі сплавів на основі алюмінію значною мірою залежить від правильності проведення процесів плавлення та підготовки розплаву. Недотримання технологічних параметрів може призводити до підвищення газонасиченості металу, утворення неметалевих включень, оксидних плівок і пористості, що негативно впливає на механічні властивості та зовнішній вигляд готових виробів. Тому під час розроблення технології виготовлення

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дверної ручки особливу увагу приділено вибору плавильного обладнання та режимів підготовки розплаву.

Для виготовлення дверної ручки обрано алюмінієвий ливарний сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3), який характеризується високою рідкотекучістю, добрими ливарними властивостями та можливістю зміцнення шляхом термічної обробки.

Плавлення сплаву пропонується здійснювати в електричній тигельній плавильній печі Nabertherm T 40, призначеній для плавлення кольорових металів та їх сплавів. Використання електричного нагріву забезпечує рівномірний розподіл температури, високу точність її підтримання та відсутність продуктів згоряння палива, які можуть забруднювати розплав.

Основні характеристики плавильного обладнання наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики плавильного обладнання

Параметр	Значення
Тип печі	Електрична тигельна плавильна піч
Модель печі	Nabertherm T 40
Максимальна температура	1000 °C
Тип тигля	Карбідокремнієвий
Модель тигля	Morgan Salamander Super A30
Місткість тигля	35–40 кг Al
Тип нагріву	Електричний

У печі встановлюється карбідокремнієвий тигель Morgan Salamander Super A30, який характеризується високою термостійкістю, стійкістю до впливу алюмінієвих розплавів та тривалим терміном експлуатації. Використання карбідокремнієвого тигля сприяє рівномірному нагріванню металу та зменшує ймовірність локального перегріву розплаву.

Шихта для плавлення складається з первинного сплаву EN AC-42100 та зворотних відходів власного виробництва. Частка зворотного металу

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймається на рівні не більше 30 %, що дозволяє забезпечити стабільність хімічного складу та властивостей сплаву.

Перед завантаженням у піч шихтові матеріали очищають від забруднень, мастильних матеріалів та оксидних нашарувань. Це дозволяє знизити газонасиченість металу та зменшити кількість неметалевих включень у готовому виливці.

Плавлення здійснюється при температурі 730 ± 10 °С. Після повного розплавлення шихти проводиться витримка металу протягом 10–15 хвилин для вирівнювання температури та хімічного складу розплаву.

Під час плавлення поверхня розплаву активно взаємодіє з атмосферою, внаслідок чого утворюються оксидні плівки та шлак. Для захисту металу від окиснення застосовується покривний флюс COVERAL 11, який наноситься на поверхню розплаву після його повного плавлення.

Основні параметри підготовки розплаву наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Режими підготовки розплаву

Операція	Параметри
Температура плавлення	730 ± 10 °С
Температура перед заливанням	690–700 °С
Покривний флюс	COVERAL 11
Витрата флюсу	0,3–0,5 %
Дегазація	Аргон
Тривалість дегазації	7 хв
Витрата аргону	8–10 л/хв

Після рафінування виконують дегазацію розплаву аргonom через графітову фурму. Дана операція необхідна для видалення водню, який є основною причиною утворення газової пористості в алюмінієвих виливках. Продування аргonom здійснюють протягом 7 хвилин при витраті газу 8–10 л/хв.

Для покращення структури сплаву та підвищення його механічних властивостей перед литтям проводять модифікування та зерноподрібнення розплаву.

Модифікування кремнієвої евтектики виконується шляхом введення лігатури AlSr10. Стронцій сприяє переходу кремнію від пластинчастої форми до більш дрібної волокнистої структури, що забезпечує підвищення пластичності та міцності матеріалу.

Зерноподрібнення здійснюється за допомогою лігатури AlTi5B1, яка сприяє утворенню дрібнозернистої структури та покращує однорідність металу.

Рекомендовані параметри модифікування наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри модифікування та зерноподрібнення

Матеріал	Кількість
Лігатура AlSr10	0,015–0,020 %
Лігатура AlTi5B1	0,10–0,15 %
Час витримки після введення	10–15 хв

Після завершення всіх операцій підготовки розплав очищають від шлаку та підтримують температуру металу на рівні 690–700 °C до моменту подачі в камеру пресування машини лиття під тиском.

Таким чином, розроблена технологія плавлення сплаву EN AC-42100 передбачає використання електричної тигельної печі Nabertherm T 40 з карбідокремнієвим тиглем Morgan Salamander Super A30, застосування покривного флюсу COVERAL 11, дегазацію аргоном, модифікування лігатурою AlSr10 та зерноподрібнення лігатурою AlTi5B1. Реалізація зазначених заходів забезпечує отримання якісного розплаву з мінімальною кількістю газових і неметалевих включень та створює необхідні умови для виготовлення дверних ручок високої якості методом лиття під тиском.

3.4. Розробка технології лиття під тиском

Лиття під тиском є найбільш ефективним способом виготовлення дверних ручок зі сплаву EN AC-42100 в умовах серійного виробництва. Дана технологія забезпечує отримання виробів складної конфігурації з високою точністю розмірів, малою шорсткістю поверхні та мінімальними припусками на подальшу механічну обробку.

Особливістю конструкції досліджуваної дверної ручки є наявність тонкостінної рукоятки довжиною 149 мм, декоративної розети діаметром 53,5 мм та внутрішньої порожнини під квадратний шпindel замкового механізму. Така конфігурація потребує швидкого та рівномірного заповнення порожнини прес-форми для запобігання утворенню недоливів, холодних спаїв та газових включень.

Перед початком лиття розплавлений сплав EN AC-42100 після проведення рафінування, дегазації та модифікування подається до камери пресування машини лиття під тиском при температурі 690...700 °C. Такий температурний інтервал забезпечує необхідну рідкотекучість металу та стабільне заповнення формують порожнини.

Для даного виробу доцільно використовувати холоднокамерну машину лиття під тиском із горизонтальною камерою пресування. Використання машин із холодною камерою є стандартним рішенням для алюмінієвих сплавів через їх високу температуру плавлення.

Під час розроблення технологічного процесу особливу увагу приділено вибору положення вилівка у прес-формі. Для забезпечення рівномірного заповнення порожнини та спрощення конструкції оснащення площину роз'єму доцільно розташувати по осі симетрії виробу. У цьому випадку основна частина поверхонь формується двома напівформами без використання додаткових бічних механізмів.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формування квадратного отвору під шпindelь передбачається виконувати за допомогою центрального стрижневого пуансона. Таке рішення дозволяє отримати готовий отвір без додаткової механічної обробки та зменшує собівартість виробу.

Для заповнення порожнини прес-форми рекомендується підведення металу через литникову систему з боку розети. У цьому випадку розплав спочатку надходить до найбільш масивної частини виливка, після чого рівномірно заповнює рукоятку. Така схема сприяє зменшенню турбулентності потоку та покращує умови видалення повітря з порожнини форми.

Вентиляційні канали необхідно передбачити в кінцевій частині рукоятки, тобто в зоні, яка заповнюється останньою. Це забезпечує ефективне видалення повітря та знижує ризик утворення газової пористості.

З урахуванням геометричних розмірів виробу та властивостей сплаву EN AC-42100 рекомендовано використовувати швидкість руху металу у впускному каналі в межах 35...50 м/с. Такий режим забезпечує заповнення тонкостінних ділянок виливка та отримати дрібнозернисту структуру металу.

Основні технологічні параметри лиття наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Основні параметри лиття під тиском

Параметр	Значення
Сплав	EN AC-42100
Температура розплаву	690–700 °C
Тип машини	Холоднокамерна
Камера пресування	Горизонтальна
Швидкість металу у впускному каналі	35–50 м/с
Тиск пресування	60–80 МПа
Температура прес-форми	180–250 °C
Тип охолодження	Водяне

Для забезпечення стабільної якості виливків прес-форма повинна працювати в температурному інтервалі 180...250 °С. Попередній підігрів форми дозволяє уникнути утворення холодних спаїв та підвищує довговічність формоутворюючих елементів.

Після завершення кристалізації виливок видаляється з прес-форми за допомогою системи виштовхувачів, розташованих переважно на внутрішніх поверхнях розети. Таке розташування дозволяє уникнути слідів від виштовхувачів на видимих декоративних поверхнях виробу.

Таким чином, запропонована технологія лиття під тиском забезпечує отримання дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 з високою точністю геометричних розмірів, якісною поверхнею та мінімальною кількістю ливарних дефектів. Отримані результати є основою для подальшого вибору обладнання та проєктування прес-форми.

3.5. Аналіз можливих дефектів лиття та способів їх усунення

Якість виливків, отриманих методом лиття під тиском, залежить від великої кількості технологічних факторів, серед яких особливе значення мають якість підготовки розплаву, параметри заповнення прес-форми, температурний режим процесу та конструкція ливниково-вентиляційної системи. Недотримання оптимальних параметрів може призводити до виникнення дефектів, які погіршують механічні властивості та зовнішній вигляд готових виробів.

Для дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 найбільш імовірними дефектами є газова пористість, холодні спаї, недоливи, оксидні включення та усадкові дефекти.

Газова пористість є одним із найбільш поширених дефектів алюмінієвих виливків. Причиною її утворення є наявність розчиненого водню в розплаві, а також захоплення повітря під час заповнення прес-форми. У структурі металу

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пористість проявляється у вигляді округлих пор різного розміру, які знижують міцність і пластичність матеріалу.

Для зменшення газової пористості в технологічному процесі передбачено дегазацію розплаву аргоном та використання вентиляційних каналів у кінцевих ділянках заповнення прес-форми.

Іншим поширеним дефектом є холодні спаї. Вони виникають у випадках, коли окремі потоки металу з'єднуються після часткового затвердіння. Найчастіше такі дефекти утворюються в тонкостінних ділянках складних виливків.

Для запобігання утворенню холодних спаїв необхідно забезпечити температуру розплаву 690...700 °С, підтримувати температуру прес-форми в межах 180...250 °С та застосовувати високі швидкості заповнення порожнини форми.

Недоливи виникають у результаті недостатньої рідкотекучості металу або неповного заповнення порожнини прес-форми. Особливо небезпечними вони є для тонкостінних виробів складної форми.

Запобігання недоливам досягається шляхом підтримання необхідної температури металу, правильного вибору конструкції ливникової системи та забезпечення достатнього тиску пресування.

Оксидні включення формуються внаслідок руйнування поверхневої оксидної плівки та її потрапляння всередину виливка під час турбулентного руху металу. Такі включення можуть бути осередками зародження тріщин і суттєво погіршувати механічні властивості матеріалу.

Для зменшення кількості оксидних включень використовуються покривні флюси, своєчасне видалення шлаку та раціональна конструкція ливникової системи.

Усадкові дефекти для алюмінієвих виливків, отриманих методом лиття під тиском, менш характерні, ніж для лиття у піщані форми або кокіль. Проте

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в місцях локального потовщення перерізу можуть утворюватися дрібні усадкові порожнини.

Для досліджуваної дверної ручки найбільш відповідальною є зона переходу від розети до рукоятки. Саме тому при проектуванні прес-форми необхідно забезпечити спрямоване затвердіння металу та ефективне охолодження даної ділянки.

Основні дефекти та способи їх усунення наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Основні дефекти лиття та способи їх усунення

Дефект	Причина виникнення	Спосіб усунення
Газова пористість	Водень, захоплення повітря	Дегазація аргоном, вентиляція форми
Холодні спаї	Недостатня температура металу	Підвищення температури металу та форми
Недолив	Низька рідкотекучість	Оптимізація температури та литникової системи
Оксидні включення	Руйнування оксидної плівки	Флюсування та очищення розплаву
Усадкові дефекти	Нерівномірне затвердіння	Раціональна система охолодження

Таким чином, забезпечення високої якості дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 потребує комплексного підходу, який включає правильну підготовку розплаву, оптимізацію параметрів лиття під тиском та раціональне проектування прес-форми.

3.6. Розробка технології термічної обробки

Проведені в розділі 2 дослідження показали, що найбільш ефективним способом підвищення механічних властивостей сплаву EN AC-42100 є застосування комплексної термічної обробки, яка включає розчинний відпал, гартування та штучне старіння. Саме тому при вдосконаленні технології

виготовлення дверної ручки доцільно передбачити введення додаткової операції термічної обробки після лиття під тиском.

Особливістю деталей, отриманих методом лиття під тиском, є наявність певної кількості газової пористості, що може призводити до утворення поверхневих здуттів під час традиційної термічної обробки. Для усунення цього недоліку запропоновано використовувати режим термічної обробки, побудований за принципом технології Blister-Free Heat Treatment, яка дозволяє мінімізувати ризик утворення дефектів поверхні.

Після видалення литникової системи та очищення поверхні дверні ручки надходять на термічну обробку. Першою операцією є розчинний відпал.

Розчинний відпал проводиться при температурі 490 °C з витримкою 30 хвилин. На відміну від традиційних режимів для сплавів AlSi7Mg, де температура може досягати 530...540 °C, використання зниженої температури дозволяє суттєво зменшити розширення газів у порах та запобігти утворенню поверхневих здуттів.

Під час витримки відбувається часткове розчинення фаз Mg_2Si , зменшення хімічної неоднорідності структури та початок сфероїдизації евтектичного кремнію. Одночасно вирівнюється концентрація легувальних елементів у матриці сплаву.

Після завершення витримки здійснюється гартування у воді температурою 20...40 °C. Швидке охолодження забезпечує фіксацію пересиченого твердого розчину на основі алюмінію та створює умови для подальшого дисперсійного твердіння.

Наступною операцією є штучне старіння. Старіння проводиться при температурі 170 °C протягом 5 годин. У процесі витримки відбувається виділення дрібнодисперсних зміцнювальних частинок Mg_2Si , які суттєво підвищують опір пластичній деформації матеріалу.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення старіння деталі охолоджують на повітрі до кімнатної температури. Такий спосіб охолодження не викликає виникнення додаткових термічних напружень та не впливає на сформовану структуру матеріалу.

Схему запропонованого режиму термічної обробки наведено в таблиці 3.6.

Для проведення термічної обробки доцільно використовувати камерну електричну піч Nabertherm K 41/13, оснащену автоматичною системою регулювання температури. Використання даної печі забезпечує підтримання температури з точністю ± 3 °C, що є достатнім для отримання стабільних результатів термічної обробки.

Таблиця 3.6 – Режим термічної обробки дверної ручки зі сплаву EN AC-42100

Операція	Температура, °C	Час витримки
Розчинний відпал	490	30 хв
Гартування	Вода 20–40 °C	До повного охолодження
Штучне старіння	170	5 год
Охолодження	Повітря	До кімнатної температури

Очікувані результати застосування запропонованого режиму підтверджуються проведеними структурними дослідженнями. Після термічної обробки спостерігається сфероїдизація кремнієвої евтектики, підвищення однорідності структури та формування дисперсних зміцнювальних фаз Mg_2Si .

Згідно з результатами досліджень твердість сплаву після проведення термічної обробки збільшується від 75 до 102 НВ, межа міцності зростає від 220 до 310 МПа, а межа текучості підвищується від 115 до 245 МПа.

Таким чином, запропонований режим термічної обробки забезпечує формування оптимальної структури сплаву EN AC-42100 та створює передумови для суттєвого покращення експлуатаційних властивостей дверної ручки без зміни її конструкції або хімічного складу матеріалу.

3.7. Вдосконалення технології виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100

Проведений аналіз структури та властивостей сплаву EN AC-42100 показав, що традиційна технологія виготовлення дверних ручок методом лиття під тиском не забезпечує повної реалізації потенціалу матеріалу. У литому стані структура сплаву характеризується наявністю пластинчастої кремнієвої евтектики, окремих пор газового походження та відносно невисокими показниками міцності й твердості.

З метою підвищення експлуатаційних характеристик виробу запропоновано вдосконалений технологічний процес, який передбачає комплекс заходів на стадіях підготовки розплаву, лиття під тиском та подальшої термічної обробки.

Першим напрямком удосконалення є покращення якості розплаву перед литтям. Для цього запропоновано використання покривного флюсу COVERAL 11, дегазацію аргоном та модифікування сплаву лігатурою AlSr10. Застосування зазначених операцій дозволяє зменшити газонасиченість металу, знизити кількість неметалевих включень та покращити морфологію евтектичного кремнію.

Другим напрямком удосконалення є зерноподрібнення розплаву шляхом введення лігатури AlTi5B1. Формування дрібнозернистої структури сприяє підвищенню однорідності металу, покращенню механічних властивостей та зменшенню схильності до утворення дефектів кристалізації.

Третім напрямком удосконалення є оптимізація параметрів лиття під тиском. Для забезпечення стабільного заповнення прес-форми температура металу перед подачею в камеру пресування повинна підтримуватися в межах 690...700 °C, а температура прес-форми – в інтервалі 180...250 °C. Додатково передбачається використання вентиляційних каналів у кінцевих ділянках заповнення форми для ефективного видалення повітря з робочої порожнини.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним напрямком удосконалення технологічного процесу є впровадження термічної обробки після лиття під тиском. На відміну від традиційної технології, де після лиття виконуються лише операції очищення та декоративного оздоблення поверхні, запропонований процес передбачає проведення розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучне старіння за температури 170 °С протягом 5 годин.

Під час розчинного відпалу відбувається часткове розчинення магнієвмісних фаз та вирівнювання хімічної неоднорідності структури. Подальше гартування забезпечує формування пересиченого твердого розчину, а старіння сприяє виділенню дрібнодисперсних зміцнювальних частинок Mg_2Si .

Одночасно зі зміцненням матеріалу відбувається сфероїдизація кремнієвої евтектики. Внаслідок цього зменшується кількість гострих пластинчастих виділень кремнію, які є концентраторами напружень, а структура набуває більш однорідного характеру.

Результати проведених досліджень показали, що впровадження запропонованої термічної обробки дозволяє збільшити твердість сплаву з 75 до 102 HB, підвищити межу міцності з 220 до 310 МПа та більш ніж удвічі збільшити межу текучості.

Удосконалений технологічний процес виготовлення дверної ручки включає такі основні операції:

- підготовка шихтових матеріалів;
- плавлення сплаву EN AC-42100;
- флюсування розплаву;
- дегазація аргоном;
- модифікування лігатурою AlSr10;
- зерноподрібнення лігатурою AlTi5B1;
- лиття під тиском;
- видалення литникової системи;

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розчинний відпал за температури 490 °С протягом 30 хвилин;
- гартування у воді;
- штучне старіння за температури 170 °С протягом 5 годин;
- механічне доопрацювання та нанесення декоративного покриття;
- контроль якості готових виробів.

Таким чином, запропоноване вдосконалення технології дозволяє підвищити якість виливків, покращити структуру сплаву та забезпечити суттєве зростання механічних властивостей дверної ручки без зміни її конструкції.

3.8. Порівняння базової та вдосконаленої технології виготовлення дверної ручки

Для оцінки ефективності запропонованих технічних рішень виконано порівняння базової та вдосконаленої технологій виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100.

Базова технологія передбачає плавлення сплаву, лиття під тиском, видалення литникової системи, механічне доопрацювання та нанесення декоративного покриття. При цьому готовий виріб використовується у литому стані без проведення додаткової термічної обробки.

Вдосконалена технологія додатково включає комплекс заходів щодо підготовки розплаву, модифікування структури сплаву та проведення термічної обробки після лиття. Основною відмінністю є використання розчинного відпалу за температури 490 °С протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучного старіння за температури 170 °С протягом 5 годин.

Порівняння технологічних рішень наведено в таблиці 3.7.

Аналіз наведених результатів показує, що найбільший вплив на покращення властивостей виробу має саме термічна обробка. У результаті її

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування твердість сплаву збільшується приблизно на 36 %, межа міцності – на 41 %, а межа текучості – більш ніж у два рази.

Позитивний ефект пояснюється комплексом структурних змін, які відбуваються під час термічної обробки. Розчинний відпал сприяє вирівнюванню структури та частковому розчиненню зміцнювальних фаз, гартування забезпечує формування пересиченого твердого розчину, а старіння приводить до виділення дрібнодисперсних частинок Mg_2Si . Одночасно відбувається сфероїдизація евтектичного кремнію та зменшення концентрації напружень у структурі сплаву.

Додатковим позитивним фактором є застосування дегазації та модифікування розплаву, що дозволяє знизити ймовірність утворення газової пористості та покращити морфологію кремнієвої евтектики ще до проведення термічної обробки.

Таблиця 3.7 – Порівняння базової та вдосконаленої технологій

Показник	Базова технологія	Вдосконалена технологія
Плавлення	Електрична тигельна піч	Електрична тигельна піч
Дегазація розплаву	Не виконується	Аргонова дегазація
Модифікування	Не виконується	AlSr10
Зерноподрібнення	Не виконується	AlTi5B1
Термічна обробка	Відсутня	490 °C, 30 хв + вода + 170 °C, 5 год
Структура кремнію	Пластинчаста, голчаста	Переважно сфероїдизована
Твердість, HB	75	102
Межа міцності R_m , МПа	220	310
Межа текучості $R_{p0,2}$, МПа	115	245
Відносне видовження, %	4,0	5,5
Якість структури	Задовільна	Покращена
Стабільність властивостей	Середня	Висока

Незважаючи на появу додаткових операцій у виробничому циклі, збільшення технологічних витрат компенсується покращенням якості продукції, підвищенням довговічності виробів та зменшенням ймовірності передчасного руйнування під час експлуатації.

Таким чином, запропонована вдосконалена технологія виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 забезпечує формування більш однорідної структури матеріалу та суттєве покращення механічних властивостей порівняно з базовою технологією, що підтверджує доцільність її впровадження у виробництво.

3.9. Висновки

У третьому розділі розроблено технологічний процес виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском та запропоновано шляхи його вдосконалення.

На основі аналізу конструкції виробу встановлено, що деталь є технологічною для виготовлення методом лиття під тиском. Конструкція ручки не містить складних піднутрень, а формування квадратного отвору під шпіндель може здійснюватися безпосередньо в прес-формі за допомогою стрижневого пуансона.

Обґрунтовано вибір лиття під тиском як найбільш раціонального способу виготовлення виробу. Встановлено, що застосування холоднокамерної машини лиття під тиском забезпечує отримання виливків складної форми з високою точністю геометричних розмірів та якістю поверхні.

Розроблено технологію плавлення сплаву EN AC-42100 із використанням електричної тигельної печі Nabertherm T40 та карбідокремнієвого тигля Morgan Salamander Super A30. Для підвищення якості розплаву запропоновано застосування покривного флюсу

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

COVERAL 11, дегазацію аргонном, модифікування лігатурою AlSr10 та зерноподрібнення лігатурою AlTi5B1.

Визначено основні параметри лиття під тиском, які забезпечують якісне заповнення порожнини прес-форми та мінімізацію ймовірності утворення дефектів. Проведено аналіз найбільш характерних дефектів лиття та розроблено заходи щодо їх попередження.

Запропоновано технологію термічної обробки дверної ручки, яка включає розчинний відпал за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучне старіння за температури 170 °C протягом 5 годин. Встановлено, що даний режим забезпечує сфероїдизацію кремнієвої евтектики, підвищення однорідності структури та формування дисперсних зміцнювальних фаз Mg_2Si .

Виконано порівняння базової та вдосконаленої технологій виготовлення. Показано, що впровадження комплексу заходів з підготовки розплаву та термічної обробки дозволяє підвищити твердість сплаву з 75 до 102 HB, збільшити межу міцності з 220 до 310 МПа та підвищити межу текучості з 115 до 245 МПа.

Таким чином, запропонована вдосконалена технологія виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 забезпечує формування більш якісної структури матеріалу та суттєве покращення комплексу механічних властивостей виробу порівняно з традиційною технологією.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1. Аналіз конструкції вилівка та вибір площини роз'єму

Виливок дверної ручки виготовляється зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском і характеризується складною просторовою формою, підвищеними вимогами до точності розмірів та якості поверхні (рисунок 3.1). Основними елементами конструкції є рукоятка довжиною 149 мм, декоративна розета діаметром 53,5 мм та центральний отвір під квадратний шпindel замкового механізму.

Під час проектування прес-форми одним із найважливіших етапів є вибір положення площини роз'єму. Від правильності її розташування залежать складність конструкції форми, якість вилівка, зручність видалення виробу після кристалізації та можливість використання стандартних вузлів оснащення.

Аналіз геометрії дверної ручки показав, що виріб практично не містить піднутрень, які потребували б застосування бічних повзунів або інших рухомих формоутворюючих елементів. Основна частина поверхонь може бути сформована двома напівформами, що дозволяє використовувати відносно просту двоплитну конструкцію прес-форми.

Для забезпечення симетричного формування виробу площину роз'єму доцільно розташувати по поздовжній осі ручки. У цьому випадку одна половина виробу формується нерухомою напівформою, а друга – рухомою напівформою. Таке рішення забезпечує рівномірний розподіл припусків, спрощує виготовлення формоутворюючих елементів та полегшує видалення вилівка.

Центральний квадратний отвір під шпindel замкового механізму пропонується формувати за допомогою стрижневого пуансона, розташованого

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перпендикулярно до площини роз'єму. Використання такого рішення дозволяє отримати готовий отвір без додаткової механічної обробки.

Особливу увагу необхідно приділити зоні переходу від розети до рукоятки, оскільки саме тут розташована найбільш масивна частина виливка та виникають найбільші експлуатаційні навантаження. При проектуванні прес-форми ця ділянка повинна забезпечуватися ефективним охолодженням для зменшення ймовірності утворення усадкових дефектів.

Вибране положення площини роз'єму дозволяє використовувати просту систему виштовхування, розмістивши більшість виштовхувачів на внутрішній поверхні розети, де сліди від їх роботи не впливатимуть на зовнішній вигляд виробу.

Таким чином, проведений аналіз конструкції виливка показав, що найбільш раціональним рішенням є використання двоплитної прес-форми з площиною роз'єму, розташованою по осі симетрії дверної ручки, та центральним стрижневим пуансоном для формування квадратного отвору під шпіндель.

Для підвищення якості процесу гартування запропоновано використання гартувального бака для охолодження валів після нагрівання в шахтній печі. Конструкція бака має забезпечувати швидке та рівномірне занурення деталей у гартувальне середовище, стабільну температуру оливи та достатню інтенсивність її перемішування.

4.2. Розробка конструкції прес-форми

На підставі аналізу конструкції дверної ручки та вимог до технології лиття під тиском розроблено конструкцію двоплитної прес-форми, призначеної для виготовлення виробу зі сплаву EN AC-42100.

Конструкція прес-форми (рисунки 4.1) забезпечує отримання виливка складної просторової форми з високою точністю геометричних розмірів та

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якістю поверхні. При проектуванні особливу увагу приділено забезпеченню надійного формування декоративних елементів ручки, центрального отвору під шпindelь замкового механізму та зручності видалення виливка після завершення процесу кристалізації.

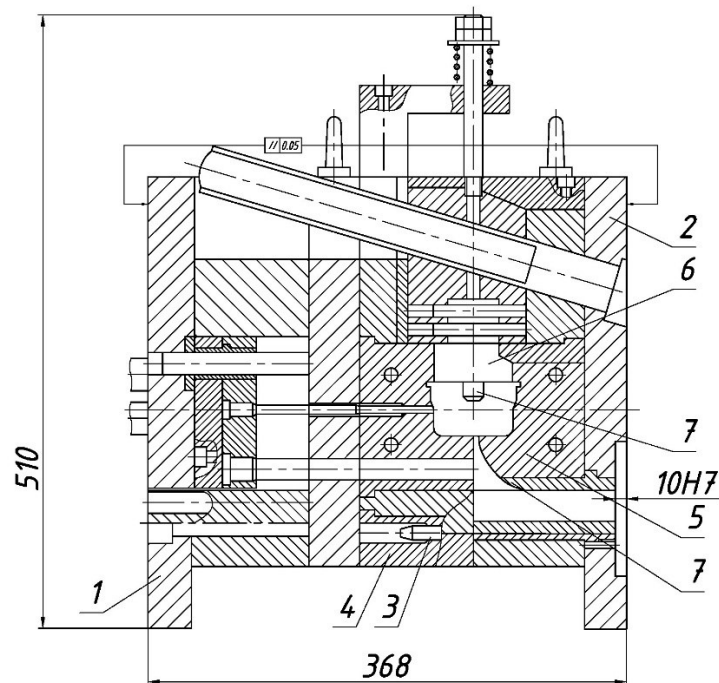


Рисунок 4.1 – Ескіз прес-форми

Прес-форма (рисунок 4.1) складається з нерухомої (1) та рухомої (2) напівформ, встановлених відповідно на нерухомій і рухомій плитах машини лиття під тиском. Центрування напівформ здійснюється за допомогою напрямних колонок (3) і втулок (4), що забезпечують точне взаємне розташування формоутворюючих елементів під час роботи.

Формування зовнішнього контуру дверної ручки здійснюється робочими поверхнями матриці (5) та пуансона (6). Площина роз'єму проходить по осі симетрії виробу, що дозволяє уникнути застосування складних рухомих механізмів та забезпечує спрощення конструкції оснащення.

Отвір під квадратний шпindelь замкового механізму формується центральним стрижневим пуансоном (7). Пуансон встановлюється у рухомій напівформі (2) та забезпечує отримання готового отвору без подальшої

механічної обробки. Така конструкція дозволяє підвищити продуктивність виготовлення та знизити собівартість виробу.

Заповнення порожнини форми здійснюється через ливникову систему (8), яка включає прес-втулку, розподільний канал та впускний канал. Підведення металу передбачено з боку розети дверної ручки, що забезпечує послідовне та рівномірне заповнення формоутворюючої порожнини. Дана схема сприяє зменшенню турбулентності потоку металу та покращує умови видалення повітря з форми.

Для видалення виливка після затвердіння металу використовується система виштовхування. Виштовхувачі розташовані переважно в зоні розети, де сліди від їх контакту не впливають на зовнішній вигляд виробу. Привід системи виштовхування здійснюється від рухомої плити машини лиття під тиском.

Для забезпечення стабільного температурного режиму роботи прес-форми передбачено систему охолодження з внутрішніми каналами циркуляції води. Найбільш інтенсивне охолодження організовано в зоні розети та переходу до рукоятки, де зосереджені найбільші об'єми металу та виникає найбільша ймовірність утворення усадкових дефектів.

простотою виготовлення, відсутністю складних бічних механізмів, високою надійністю роботи та придатністю до використання в умовах серійного виробництва дверної фурнітури.

Таким чином, розроблена конструкція прес-форми забезпечує отримання якісних виливків дверної ручки зі сплаву EN AC-42100, відповідає вимогам технології лиття під тиском та створює необхідні умови для реалізації вдосконаленого технологічного процесу.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Вибір матеріалів деталей прес-форми

Надійність роботи прес-форми, її довговічність та якість отримуваних виливків значною мірою залежать від правильного вибору матеріалів для виготовлення окремих деталей оснащення. Під час роботи прес-форми формують елементи контактують із розплавленим алюмінієвим сплавом температурою близько 700 °С, зазнають циклічного нагрівання та охолодження, а також сприймають значні механічні навантаження від тиску пресування.

У зв'язку з цим матеріали деталей прес-форми повинні характеризуватися високою теплостійкістю, стійкістю до термічної втоми, достатньою міцністю та зносостійкістю.

Найбільш відповідальними деталями прес-форми є матриця, пуансони та формують елементи вставки, які безпосередньо контактують із розплавленим металом. Для виготовлення зазначених елементів обрано гарячоробочу інструментальну сталь X40CrMoV5-1 (1.2344, H13).

Дана сталь широко використовується для виготовлення прес-форм лиття під тиском алюмінієвих сплавів завдяки високій теплостійкості, стійкості до термічних тріщин та добрій зносостійкості. Після термічної обробки твердість сталі становить 46...50 HRC, що забезпечує тривалий ресурс роботи формують елементів.

Для матриці та основного пуансона рекомендується такий режим термічної обробки:

- гартування за температури 1020–1040 °С;
- охолодження на повітрі або в маслі;
- подвійний відпуск за температури 540–580 °С;
- кінцева твердість 46–50 HRC.

Плити прес-форми не контактують безпосередньо з розплавом та працюють переважно під дією механічних навантажень. Для їх виготовлення

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доцільно використовувати конструкційну сталь 45, яка характеризується достатньою міцністю, доброю оброблюваністю та невисокою вартістю.

Напрямні колонки та напрямні втулки працюють в умовах тертя та багаторазових циклів відкривання й закривання прес-форми. Для забезпечення високої зносостійкості ці елементи доцільно виготовляти зі сталі 40X з подальшим гартуванням до твердості 50–55 HRC.

Виштовхувачі працюють в умовах циклічного навантаження та тертя під час видалення виливка. Для їх виготовлення рекомендується застосовувати інструментальну сталь 40X або 4X5МФ1С, термічно оброблену до твердості 45...50 HRC.

Ливникова втулка є елементом, який постійно контактує з потоком розплавленого металу та зазнає інтенсивного зношування. Для її виготовлення також приймається сталь X40CrMoV5-1 (1.2344) з твердістю 46...50 HRC.

Основні матеріали деталей прес-форми наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Матеріали основних деталей прес-форми

Деталь прес-форми	Матеріал	Твердість
Матриця	X40CrMoV5-1 (1.2344, H13)	46–50 HRC
Формоутворюючі вставки	X40CrMoV5-1 (1.2344, H13)	46–50 HRC
Центральний пуансон	X40CrMoV5-1 (1.2344, H13)	46–50 HRC
Ливникова втулка	X40CrMoV5-1 (1.2344, H13)	46–50 HRC
Плити прес-форми	Сталь 45	220–260 HB
Напрямні колонки	Сталь 40X	50–55 HRC
Напрямні втулки	Сталь 40X	50–55 HRC
Виштовхувачі	40X або 4X5МФ1С	45–50 HRC

Застосування зазначених матеріалів дозволяє забезпечити необхідну міцність, зносостійкість та довговічність прес-форми в умовах серійного виробництва дверних ручок зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском.

4.4. Вибір обладнання для лиття під тиском

Одним із найважливіших етапів проектування технологічного оснащення є вибір машини лиття під тиском, яка повинна забезпечувати необхідне зусилля замикання прес-форми, продуктивність та стабільність технологічного процесу.

Для виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 прийнято використання холоднокамерної машини лиття під тиском, оскільки температура плавлення алюмінієвих сплавів не дозволяє ефективно використовувати машини з гарячою камерою пресування.

Габаритні розміри виробу становлять 149×65 мм, при цьому найбільша площа проєкції виливка на площину роз'єму не перевищує 60 см². З урахуванням площі литникової системи розрахункова площа проєкції приймається рівною 80 см².

Для алюмінієвих сплавів при литті під тиском робочий тиск пресування зазвичай становить 60...80 МПа. Враховуючи площу проєкції виливка та необхідний запас надійності, необхідне зусилля замикання прес-форми становить близько 1200...1400 кН.

На підставі виконаного аналізу для виготовлення дверної ручки обрано холоднокамерну машину лиття під тиском типорозміру 1600 кН (160 т). Як промисловий аналог може бути використана машина LK DCC160.

Основні технічні характеристики вибраного обладнання наведені в таблиці 4.2.

Застосування машини лиття під тиском із зусиллям замикання 1600 кН забезпечує надійну роботу прес-форми, якісне заповнення її порожнини та

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримання виливків дверної ручки з необхідною точністю геометричних розмірів і високою якістю поверхні.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики машини лиття під тиском

Параметр	Значення
Тип машини	Холоднокамерна
Зусилля замикання	1600 кН
Тип камери пресування	Горизонтальна
Максимальна маса вилівка (Al)	до 2,0 кг
Робочий тиск пресування	до 80 МПа
Тип приводу	Гідравлічний

Таким чином, для виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 доцільно використовувати холоднокамерну машину лиття під тиском типорозміру 1600 кН, яка повністю задовольняє вимоги розробленого технологічного процесу.

ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМДАЦІЇ

У кваліфікаційній роботі вирішено завдання вдосконалення технологічного процесу виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском з метою підвищення механічних властивостей виробу та покращення якості готової продукції.

Проведено аналіз алюмінієвих ливарних сплавів та встановлено, що сплав EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3) характеризується високими ливарними властивостями, корозійною стійкістю та можливістю зміцнення шляхом термічної обробки, що обумовило його вибір як матеріалу дослідження.

Досліджено особливості формування структури сплаву після лиття під тиском. Встановлено, що структура литого металу складається з дендритів α -твердого розчину алюмінію, евтектики Al-Si та окремих інтерметалідних фаз. Кремнієва складова має переважно пластинчасту та голчасту морфологію, яка обмежує механічні властивості матеріалу.

Вивчено вплив різних режимів термічної обробки на структуру та властивості сплаву. Встановлено, що найбільш ефективним є режим, який включає розчинний відпал за температури 490 °C протягом 30 хвилин, гартування у воді та штучне старіння за температури 170 °C протягом 5 годин. У результаті такої обробки відбувається сфероїдизація кремнієвої евтектики, підвищення структурної однорідності та формування дисперсних зміцнювальних фаз Mg_2Si .

Встановлено, що запропонований режим термічної обробки забезпечує підвищення твердості сплаву від 75 до 102 НВ, збільшення межі міцності від 220 до 310 МПа та межі текучості від 115 до 245 МПа.

На підставі аналізу конструкції виробу обґрунтовано доцільність застосування лиття під тиском як основного способу виготовлення дверної ручки. Розроблено технологію плавлення сплаву EN AC-42100 з

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанням електричної тигельної печі, дегазації аргоном, модифікування лігатурою AlSr10 та зерноподрібнення лігатурою AlTi5B1.

Розроблено технологічний процес лиття під тиском, визначено основні параметри процесу та проаналізовано найбільш характерні ливарні дефекти. Запропоновано заходи щодо зменшення газової пористості, оксидних включень, холодних спаїв та недоливів.

Запропоновано вдосконалений технологічний процес виготовлення дверної ручки, який включає комплексну підготовку розплаву, оптимізацію параметрів лиття та проведення термічної обробки після лиття. Порівняння базової та вдосконаленої технологій підтвердило суттєве покращення структури та механічних властивостей виробу.

У конструкторській частині роботи розроблено конструкцію прес-форми для лиття під тиском дверної ручки зі сплаву EN AC-42100, що забезпечує отримання якісних виливків та придатна для використання в умовах серійного виробництва.

Розроблено конструкцію прес-форми для виготовлення дверної ручки зі сплаву EN AC-42100 методом лиття під тиском. Проведено аналіз конструкції виливка та обґрунтовано вибір площини роз'єму. Виконано вибір матеріалів основних деталей прес-форми з урахуванням умов їх роботи та вимог до довговічності. Для реалізації технологічного процесу обрано холоднокамерну машину лиття під тиском LK DCC160 із зусиллям замикання 1600 кН, яка забезпечує необхідні умови формування виливка. Запропоновані конструкторські рішення дозволяють забезпечити стабільну роботу оснащення, високу якість дверних ручок та придатність прес-форми до використання в умовах серійного виробництва.

Практичне значення роботи полягає у розробленні вдосконаленого технологічного процесу виготовлення дверної ручки, який забезпечує підвищення міцності, твердості та експлуатаційної надійності виробів без зміни їх конструкції та хімічного складу матеріалу.

					БР 2326.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kaufman J. G., Rooy E. L. Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications. Materials Park, Ohio : ASM International, 2004. 640 p.
2. Totten G. E., MacKenzie D. S. Handbook of Aluminum. Vol. 2: Alloy Production and Materials Manufacturing. New York : Marcel Dekker, 2003. 720 p.
3. Davis J. R. Aluminum and Aluminum Alloys. Materials Park, Ohio : ASM International, 1993. 784 p.
4. Vinarcik E. J. High Integrity Die Casting Processes. New York : John Wiley & Sons, 2003. 576 p.
5. Andresen B. Die Casting Engineering: A Hydraulic, Thermal and Mechanical Process. New York : Marcel Dekker, 2005. 404 p.
6. Lumley R. N., O'Donnell R. G., Gunasegaram D. R., Givord M. Blister Free Heat Treatment of High Pressure Die-Casting Alloys // Materials Science Forum. 2006. Vol. 519–521. P. 351–358. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.519-521.351.
7. Lumley R. N., O'Donnell R. G., Gunasegaram D. R., Givord M. Heat Treatment of High-Pressure Die Castings // Metallurgical and Materials Transactions A. 2007. Vol. 38A. P. 2564–2574.
8. Merlin M., Timelli G., Bonollo F. Heat Treatment of the EN AC-42100 Alloy within Industrial Furnaces: Influence on Microstructure and Mechanical Properties // La Metallurgia Italiana. 2023. No. 6. P. 5–15.
9. Kantoriková E., Tillová E., Chalupová M. Heat Treatment of AlSi7Mg0.3 Aluminium Alloys with Increased Zirconium and Titanium Content // Archives of Foundry Engineering. 2021. Vol. 21, No. 2. P. 42–48.
10. Wróbel T., Szajnar J., Stawarz M. Quality Index of the AlSi7Mg0.3 Aluminium Casting Alloy Depending on the Heat Treatment Parameters // Archives of Foundry Engineering. 2016. Vol. 16. P. 135–140.
11. Forming Conditions of Blisters During Solution Heat Treatment of High Pressure Die Cast Aluminium Alloys // International Journal of Metalcasting. 2018. Vol. 12. P. 597–607.

					<i>БР 2326.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. EN 1706:2020. Aluminium and Aluminium Alloys – Castings – Chemical Composition and Mechanical Properties. Brussels : European Committee for Standardization, 2020.
13. Raffmetal S.p.A. Alloy EN AC-42100 (AlSi7Mg0.3). Technical Data Sheet. Castiglione delle Stiviere, Italy, 2022.
14. Hydro Aluminium. AlSi7Mg0.3 Alloy – Technical Data Sheet. Oslo : Hydro Aluminium, 2021.
15. Campbell J. Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design. 2nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. 1344 p.
16. Ravi B. Metal Casting: Computer-Aided Design and Analysis. New Delhi : PHI Learning, 2015. 368 p.
17. Groover M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. 8th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2024. 1024 p.