

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему «Вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів у
виробництві автомобільних двигунів»

Виконав(ла): студент(ка) курсу, групи ІФ-212м

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

БРАГІН Дмитро Станіславович
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТКАЧ Дар'я Володимирівна
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ГОНЧАР Наталя Вікторівна
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
Кафедра Фізичне матеріалознавство
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Фізичне матеріалознавство»

Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

БРАГІН Дмитро Станіславович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів у виробництві автомобільних двигунів

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент ТКАЧ Дар'я Володимирівна,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) зразки стандартного алюмінієвого сплаву АЛ9 (АК7 або 356)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Літературний огляд;
2. Матеріали та методики досліджень;
3. Експериментальний розділ;
4. Охорона праці;
5. Економічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	ТКАЧ Д.В., к.т.н., доцент		
4	КРУГЛІКОВА В.М., к.е.н., доцент		
5	НЕСТЕРОВ О.В., к.т.н., доцент		
н/к	ДЖУС А.В., асистент		

7. Дата видачі завдання «_____» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення із темою дипломного проєкту. Вивчення відповідної літератури		
2	Розробка вступу та розділу «Літературний огляд»		
3	Розробка розділу «Матеріали та методи досліджень»		
4	Розробка розділу «Експериментальний розділ»		
5	Розробка розділу «Охорона праці»		
6	Розробка розділу «Економічний розділ»		
7	Написання висновків та переліку посилань		

Студент(ка)

(підпис)

Дмитро БРАГІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

Дар'я ТКАЧ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 98 с., 19 табл., 17 рис., 11 дод., 38 джерел.

АЛЮМІНІЙ, АК7, АЛ9, ДВИГУН, ДВЗ, ГОЛОВКА ЦИЛІНДРІВ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, МІКРОСТРУКТУРА, ЕВТЕКТИКА

Об'єкт розробки – деталі двигуна внутрішнього згорання з алюмінієвих сплавів.

Мета роботи – Вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів у виробництві автомобільних двигунів.

Результати роботи – Під час експлуатації автомобілів робочі поверхні більшості деталей піддаються зношенню через тертя, корозію та інші чинники, а також значним динамічним навантаженням, викликаним згоранням газів у камері згорання, інерційними силами, частотними коливаннями та порушенням співвісності агрегатів. Для підвищення ККД та зменшення ваги використовуються ливарні алюмінієві сплави замість чавуну. У даній роботі розглянуто вдосконалений режим термічної обробки головки циліндрів зі сплаву АК7, який включає об'єднану гомогенізацію і гартування при 540 °С та подальше старіння при 175°С, що підвищує міцність литого сплаву на 10-12 % та забезпечує високі механічні властивості.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	7
1 Літературний огляд	8
1.1 Матеріали, що використовуються для виготовлення деталей двигунів внутрішнього згорання.....	9
1.2 Алюміній та сплави алюмінію.....	12
1.2.1 Загальна характеристика.....	12
1.2.1 Ливарні алюмінієві сплави. Загальна характеристика, вплив легувальних елементів.....	14
1.3 Термічна обробка і структура сплавів системи AL-Si-Mg.....	23
1.3.1 Зміцнювальна термічна обробка сплаву АЛ9.....	24
1.3.2 Стабілізуюча термічна обробка сплаву АЛ9 (АК7 або 356). ..	27
1.3.3 Структура сплаву АЛ9 (АК7 або 356).....	31
2 Матеріали та методи досліджень.....	33
2.1 Сплав АК7 (АЛ9).....	33
2.2 Макроскопічний аналіз.....	33
2.3 Мікроскопічний аналіз.....	35
2.4 Методика випробувань на розтяг.....	38
3 Вдосконалення режиму термічної обробки сплаву АК7 (АЛ9, 356), для виготовлення головки циліндрів ДВЗ.....	41
3.1 Розробка режиму термічної обробки головки циліндрів та її вплив на властивості сплаву АК7.....	41
3.2 Технологічне обладнання процесів термічної обробки головки циліндрів зі сплаву АК7.....	46
3.3 Дефекти, що можуть виникнути в головці циліндрів зі сплаву АК7 та методи їх усунення.....	49

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	54
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	54
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	56
4.3 Заходи з виробничої санітарії.....	59
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	61
4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	62
5 Економіко-організаційна частина.....	67
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	67
5.2 Послідовний аналіз.....	68
5.3 Техніко-економічні розрахунки.....	72
Висновки.....	81
Перелік джерел посилань.....	82
Додаток А	87

ВСТУП

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена постійним зростанням вимог до ефективності, надійності та екологічності автомобільних двигунів, що стимулює пошук нових рішень у галузі матеріалознавства та технологій обробки матеріалів. В умовах сучасного автомобілебудування алюмінієві сплави набувають особливої важливості завдяки своїм унікальним властивостям, таким як мала густина, висока міцність та корозійна стійкість. Ці матеріали стають незамінними у виробництві деталей двигунів, що дозволяє значно знизити загальну вагу автомобіля та підвищити його паливну ефективність.

Проте, для максимального використання потенціалу алюмінієвих сплавів, необхідно вдосконалювати методи їх термічної обробки. Традиційні методи обробки не завжди забезпечують необхідний рівень механічних та експлуатаційних властивостей, що обмежує їх застосування у високонавантажених компонентах автомобільних двигунів [1]. Вдосконалення технологій гомогенізації, гартування та старіння дозволяє суттєво підвищити міцність, зносостійкість та термостійкість алюмінієвих сплавів, що, в свою чергу, сприяє підвищенню надійності та довговічності двигунів.

Метою даної роботи є дослідження та розробка вдосконалених режимів термічної обробки алюмінієвих сплавів, зокрема сплаву АК7, для використання у виробництві автомобільних двигунів. Основна увага приділяється гомогенізації, гартуванню та старінню, які забезпечують оптимальні зміни мікроструктури та покращені механічні властивості. Запропоновані режими термічної обробки мають на меті підвищення міцності литих сплавів на 10-12% порівняно з традиційними методами, а також забезпечення високого рівня відносного видовження, що відповідає вимогам до деталей головок циліндрів двигунів автомобілів. Результати даної роботи можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів та підвищення конкурентоспроможності продукції на ринку автомобільних компонентів.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Деталі двигунів внутрішнього згоряння працюють у надзвичайно складних умовах, що вимагають високих механічних і термостійких властивостей. Перш за все, вони піддаються значним термічним навантаженням у результаті високих температур, що виникають під час згоряння палива у камері згоряння. Температурні піки можуть досягати кількох сотень градусів Цельсія, що створює додаткові вимоги до термостабільності матеріалу.

Крім того, деталі двигунів зазнають постійних механічних навантажень, зокрема циклічних навантажень від тиску газів, інерційних сил рухомих частин, а також вібраційних впливів. Ці навантаження можуть призводити до втоми матеріалу і виникнення мікротріщин, що згодом можуть призвести до серйозних пошкоджень.

Деталі, крім цього, піддаються впливу агресивних середовищ, таких як охолоджуючі рідини та масла, що можуть спричинити корозійне зношування. Тому, корозійна стійкість є важливою характеристикою для забезпечення довговічності деталей [1, 2].

Також варто зазначити, що деталі двигунів внутрішнього згоряння працюють у умовах високих швидкостей і частот обертання, що викликає значні динамічні навантаження. Це вимагає від матеріалу високої зносостійкості, щоб забезпечити тривалий термін експлуатації без необхідності частого технічного обслуговування чи заміни.

Отже, матеріали, що використовуються для виготовлення деталей двигунів внутрішнього згоряння, повинні мати високу міцність, термостійкість, корозійну стійкість та зносостійкість, щоб витримувати складні експлуатаційні умови і забезпечувати надійну і тривалу роботу двигунів. До таких матеріалів можна віднести алюмінієві сплави.

1.1 Матеріали, що використовуються для виготовлення деталей двигунів внутрішнього згорання

Під час експлуатації автомобілів робочі поверхні більшості їхніх деталей піддаються зношенню під впливом сил тертя, корозійних процесів та інших чинників. Крім того, багато деталей зазнають значних динамічних навантажень, які виникають через згорання газів у камері згорання циліндрів двигунів, дію інерційних сил, порушення співвісності сполучених агрегатів, механізмів і деталей, а також через частотні коливання та інші причини.

Спряжені робочі поверхні автомобільних деталей піддаються різним видам механічного та корозійно-механічного зношення, зокрема абразивному та газоабразивному (клапани, гільзи циліндрів тощо), втомному (робочі поверхні зубчастих вінців шестерень, підшипників кочення тощо), окислювальному (поршні, головки циліндрів, поршневі кільця тощо), зношенню при фретинг-корозії (ресорні листи), а також комбінованому впливу перелічених та інших видів зношення (гільзи циліндрів, клапани тощо).

Протягом багатьох десятиліть двигуни виготовляли з найбільш широко використовуваних матеріалів — сталі, чавуну, міді, бронзи, алюмінію. Пластика використовували дуже мало, а деякі дрібні елементи, такі як корпуси карбюраторів, виготовляли з магнієвих сплавів. З розвитком тенденції до максимального полегшення конструкцій та збільшення потужності при покращенні екологічних характеристик, склад матеріалів з тих часів значно змінився [3].

Основне завдання сучасного автомобілебудування — збільшення потужності двигуна при постійному зменшенні його об'єму та маси. Секрет такого поєднання криється, зокрема, у нових матеріалах і конструктивних рішеннях. Також це досягається ретельною опрацюванням усіх елементів силового агрегату та відмовою від надмірних запасів міцності.

У серійних двигунах найдорожчими та найскладнішими матеріалами є кремній-нікелеві покриття, металокерамічний композит (наприклад, відомий як FRM у Honda), різні полімерно-вуглецеві композиції та поступово впроваджувані у серійні двигуни титані сплави, а також сплави з високим вмістом нікелю, наприклад Inconel. Проте, двигунобудування залишається дуже консервативною галуззю машинобудування, де сміливі експерименти у серійному виробництві не вітаються [4-6].

Основне завдання у вдосконаленні сплавів чавуну — збереження високої твердості поверхні при покращенні його допоміжних характеристик, інакше це може призвести до необхідності використання чавунних гільз для блоку циліндрів з більш зносостійкого сплаву. Так інколи роблять, але здебільшого у вантажних моторах, де ця технологія фінансово виправдана.

Алюміній як матеріал для блоку також застосовується дуже давно і вдосконалюється у тому ж напрямку. Зусилля спрямовані головним чином на покращення можливостей його обробки, зниження коефіцієнта розширення при збереженні необхідної пластичності матеріалу, підвищення необхідних аспектів міцності сплавів [4-7].

Також розвиваються технології використання вторинного алюмінію низької очистки. Для таких сплавів застосовуються технології, відмінні від лиття, і спостерігається тенденція до виготовлення з алюмінію блоків циліндрів для більш компактних моторів. Наприклад, двигун Volkswagen серії EA211 сьогодні має алюмінієвий блок, який виявився на 40% легшим за чавунний.

Магнієві сплави значно менш популярні. Вони легші за алюмінієві, але мають значно нижчу корозійну стійкість, не витримують контакту з гарячою охолоджувальною рідиною та сталевими кріпильними деталями підвищеної температури. Наприклад, у рядних шестициліндрових блоках двигунів BMW серій N52 і N53 магнієвий сплав використовується лише для зовнішньої частини блоку, тобто «сорочки» системи охолодження. Для порівняно довгого блоку шестициліндрового двигуна це дає вигоду у масі близько 10 кг у порівнянні з цільноалюмінієвою конструкцією. Магнієві сплави також використовуються для

блок-картерів двигунів із знімними циліндрами, головним чином у двигунах мотоциклів [6, 7].

Внаслідок досить вдалого поєднання технологічності, виготовлення, а також комплексу експлуатаційних характеристик слід звернути особливу увагу на алюмінієві сплави, як матеріал для виготовлення деталей двигунів. На рис. 1.1 наведено блок циліндрів, виготовлений із алюмінієвого сплаву.

Силовий агрегат двигуна можуть повністю виготовляти з силумінів. Такі двигуни коштують дорого, але мають значно меншу масу при підвищеній потужності. Вони використовуються в гібридах, а також для створення двигунів для болідів Формули-1 (F1). В звичайних двигунах алюміній може використовуватися в наступних деталях: гільза вставного або залитого типу, шпильки для захисту від зривів різьби, кришки підшипників, поршні, кришка, блок та інші елементи двигуна.

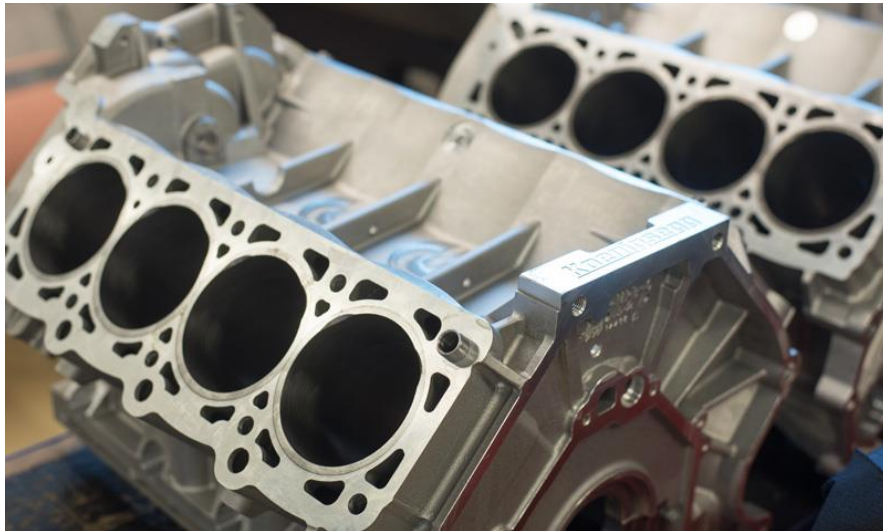


Рисунок 1.1 – Блок циліндрів ДВЗ з алюмінієвого сплаву

Масово алюмінієві двигуни використовували саме для гоночних автомобілів, тому і сьогодні застосування спрямоване саме на спортивні машини. Алюміній — м'який і легкий матеріал, тому він допомагає значно знизити масу та габарити двигуна. Мотори з алюмінієво-кремнієвих сплавів виготовляли такі компанії, як BMW, Audi, Porsche, Mercedes-Benz, Chevrolet. Такі силові агрегати

покривалися нікелевим покриттям, що дозволяє збільшити ККД мотора в декілька разів [7].

1.2 Алюміній та сплави алюмінію

1.2.1 Загальна характеристика

З моменту початку промислового виробництва алюмінію трохи більше століття тому, цей метал став другим за вживаністю після сталі. Алюмінієві сплави володіють багатьма властивостями, такими як висока міцність, відмінна корозійна стійкість, хороша оброблюваність, а також висока тепло- та електропровідність. Ці характеристики, разом з легкістю та високою питомою міцністю, роблять алюмінієві сплави надзвичайно привабливими для широкого спектру застосувань. [3-6].

Алюміній займає перше місце серед елементів, що є основою багатьох конструкційних матеріалів за поширеністю: у глинах, бокситах і польових шпатах його вміст становить близько 8%. На другій позиції розташований залізо (5,1%), а на третій – магній (2,4%).

Алюміній є металом світло-сріблястого кольору, який відмінно піддається поліруванню. Полірована поверхня тривалий час зберігає дзеркальний блиск. Температура плавлення алюмінію становить 660 °С. Його кристалічна ґратка має гранецентровано-кубічну (ГЦК) структуру, і поліморфні модифікації відсутні. Алюміній вирізняється низькою густиною (2,7 г/см³), високою корозійною стійкістю і пластичністю, парамагнітним властивостями. Алюміній характеризується високими показниками електро- та теплопровідності. При чистоті 99,997%, електропровідність алюмінію становить 65,5% від електропровідності міді, що ставить його на четверте місце після срібла, міді та золота. Присутність домішок, зокрема марганцю, ванадію, хрому та титану, значно знижує ці характеристики.

Алюміній належить до хімічно активних металів. На відкритому повітрі він утворює тонку, щільну оксидну плівку Al_2O_3 , яка запобігає подальшій реакції металу з навколишнім середовищем. Цей шар надає алюмінію стійкість до атмосферних впливів, включаючи прісну та морську воду, а також органічні кислоти, такі як оцтова, лимонна та винна. Алюміній практично не взаємодіє з концентрованою азотною та 100% сірчаною кислотою.

На механічні властивості технічно чистого Al впливає його чистота (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Вплив ступеню чистоти алюмінію на його механічні властивості [3]

Вміст алюмінію, %	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_{10} , %	НВ, МПа
99,99%	49	22	45,5	84...112
99,5	70	28	31,5	126...175

Технічно чистий алюміній може бути зміцнений за допомогою холодної пластичної деформації, що призводить до підвищення границі міцності, границі плинності, міцності на зріз та опору втомі.

Технічно чистий алюміній демонструє відмінну здатність до деформації як у гарячому, так і в холодному стані. Наприклад, алюміній чистотою 99,995% може бути витягнутий з діаметра 80 мм до 0,1 мм. Він зварюється практично всіма методами зварювання. Однак через високу в'язкість алюміній має обмежену здатність до обробки різанням. Особлива властивість алюмінію полягає в його здатності поглинати нейтрони, що робить його корисним для застосування в атомній енергетиці.

В алюмінії часто зустрічаються такі домішки, як Fe, Si, Cu, Mn, Zn. Присутність структурновільного кремнію призводить до утворення евтектики (α -твердий розчин на основі Al + кристали Si), що збільшує інтервал кристалізації та сприяє гарячеламкості алюмінію. Залізо практично не розчиняється в кристалічній ґратці алюмінію, утворюючи хімічну сполуку FeAl_3 . Ця сполука

входить до складу евтектики, яка виділяється на межах зерен алюмінію. Фази Si і FeAl_3 мають голкоподібну форму (рис. 1.2). Ці фази є крихкими та знижують пластичність алюмінію. У технічних сортах алюмінію залізо і кремній як домішки зазвичай присутні разом, утворюючи сполуки, що кристалізуються по межах і всередині зерен алюмінію.

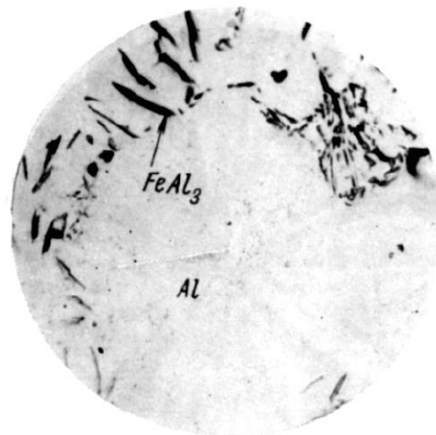


Рисунок 1.2 – Мікроструктура алюмінію (0,5% Fe, 0,2% Si), $\times 150$ [3]

1.2.2 Ливарні алюмінієві сплави. Загальна характеристика, вплив легувальних елементів

На сьогодні існує багато видів ливарних сплавів алюмінію, які зазвичай поділяють на наступні категорії [7]:

- Al технічної чистоти
- Al-Cu, Al-Cu-Mg
- Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg-Cu
- Al-Si
- Al-Mg
- Al-Zn-Mg

У кожній країні створено свою власну систему класифікації алюмінієвих сплавів, хоча вміст основних легувальних елементів у них майже однаковий. У

табл. 1.1 показані деякі марки ливарних алюмінієвих сплавів, які мають схожий хімічний склад, але різні позначення [8]. З таблиці видно, що більшість ливарних сплавів, за винятком Al-Mg та Al-Mg-Si, містять кремній (Si) у кількості від 7 до 13 мас.%.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних марок алюмінієвих сплавів [12]

Сплави серії	Країна	Марка	Вміст легувального елемента, мас. %					
			Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Al
Al-Si	Китай	YL101	9,0~10,0	<0,6	0,45-0,65	<1,0	≤0,6	решта
		YL102	10,0~13,0	<0,6	<0,05	<1,2	≤0,6	
	Японія	ADC1	11,0~13,0	<1,0	<0,30	<1,2	0,3	
	США	413	11,0~13,0	<1,0	<0,35	<2,0	0,35	
	Україна	АЛ12	10,0~13,0	<0,6	<0,10	<1,5	-	
	Німеччина	AlSi2	10,5~13,5	<0,12	<0,4	<1,2	≤0,4	
Al-Si-Mg	Китай	YL104	8,0~10,5	<0,30	0,17~0,30	<1,0	0,2~0,5	решта
	Японія	ADC3	9,0~10,0	<0,60	0,40~0,60	<1,3	0,3	
	США	360	9,0~10,0	<0,60	0,40~0,60	<2,0	0,35	
	Україна	АЛ4	8,0~10,5	<0,10	0,17~0,30	<1,0	-	
	Німеччина	AlSi10Mg	9,0~11,0	<0,10	0,20~0,50	<1,0	≤0,4	
Al-Si-Cu	Китай	YL112	7,5~9,5	3,0~4,0	<0,30	<1,2	≤0,5	решта
		YL113	9,6~12,0	1,5~3,5	<0,30	<1,2	≤0,5	
	Японія	ADC10	7,5~9,5	2,0~4,0	<0,30	<1,3	0,5	
		ADC12	9,6~12,0	1,5~3,5	<0,30	<1,3	0,5	
	США	380	7,5~9,5	3,0~4,0	<0,10	<1,3	0,5	
		383	9,5~11,5	2,0~3,0	<0,10	<1,3	0,5	
	Німеччина	AlSi9Cu3	8,0~11,0	2,0~3,5	0,1~0,5	<1,3	0,1~0,5	
Al-Mg-Si	Японія	ADC5	<0,30	<0,20	4,0~8,5	<1,8	0,3	решта
	США	518	<0,35	<0,25	7,5~8,5	<1,8	0,35	
	Німеччина	AlMg9	<2,5	<0,05	7,0~10,0	<1,0	0,2~0,5	
Al-Mg	ЄС	LM5	0,3	0,1	3,0~6,0	0,8	0,55	решта
	Японія	ADC6	<1,0	<0,1	2,6~4,0	<0,6	0,4~0,60	
	США	516	0,3~1,5	0,3	2,5~4,5	0,35~1,0	0,35	
	Китай	YL302	0,80~1,30	<0,10	4,5~5,5	<1,2	0,1~0,4	

Блоки циліндрів, головки блока та інші деталі двигунів рекомендується анодувати для підвищення корозійної стійкості. Для відливання головок блоків

застосовують сплави типу АЛ5, АЛ4, АК4М2Ц6 і АК6М2. Поршні інжекторних двигунів відливають зі сплавів типу АЛ30, АЛ25 і АКЮМ2Н, а дизельних - із заевтектичних легованих силумінів типу АК21М2, 5Н2,5 і АК18.

З алюмінієвих сплавів виготовляють і інші деталі двигунів: труби впускні, картери рульового управління, картери зчеплення та ін., що відливаються в кокіль зі сплавів типу АЛ4 або АК9; термостати, водяні насоси, що відливаються під тиском зі сплаву АЛ4. Литтям під тиском виготовляють також корпуси карбюратора, дроселя, розподільника, паливного і масляного насосів тощо. Діапазон застосовуваних сплавів також досить широкий. Використовують сплави типу АК12М2, АК9С і АК9М2а. Значну номенклатуру деталей електроапаратури відливають під тиском зі сплавів типу АЛ2 і АК12М2Р.

Чотирициліндровий блок двигуна англійської фірми «Hill-man» отримують литтям під низьким тиском зі сплаву типу АЛ4. Кришки корінних підшипників виготовляють литтям під тиском зі сплаву, що містить 9 % Si і 3 % Cu. Головку блока циліндрів відливають зі сплаву типу АЛ16 у кокіль. Методом лиття під тиском відливають передню кришку з водяним насосом, кришку клапанної коробки, секцію штовхачів і випускную трубу. Восьмициліндровий У-подібний двигун англійського автомобіля Rover цілком виготовлений з алюмінієвих сплавів. Блок циліндрів відливають зі сплаву М25 в землю, головку – під тиском.

Неавтоматичні коробки передач відливають у кокіль і під тиском зі сплаву типу АЛ4. Картери автоматичних коробок передач більш пристосовані для лиття під тиском, що зумовлює більш широке застосування алюмінієвих сплавів для цих цілей. При цьому забезпечується більш висока точність виливків і значне зниження механічної обробки. Для зменшення теплового розширення картера практикують застосування сталевих вставок.

Картер зчеплення для легкових автомобілів, як правило, відливають під тиском як одне ціле з картером коробки передач зі сплаву типу АЛ4. Картер зчеплення для вантажних автомобілів відливають у комбіновані форми або в кокіль зі сплавів типу АЛ4 і АЛ9.

Високі теплопровідність і питома теплоємність алюмінієвих сплавів сприяють застосуванню їх для відливання гальмівних барабанів. При цьому значно збільшується довговічність гальмівних накладок. Гальмівні барабани відливаються в кокіль зі сплавів типу АЛ9 і АЛ11, а іноді - під тиском. На робочих поверхнях гальмівних барабанів застосовують чавунні вставки для збільшення зносостійкості. Зокрема, на ВАЗі застосовують лиття під тиском зі сплаву АК12М2.

Легування кремнієм має на меті підвищити текучість сплаву, що дозволяє металу заповнювати найтонші перетини в ливарній формі, а також збільшити твердість і міцність на розрив. Присутність у структурі ливарних силумінів кристалів первинного кремнію, коли вміст Si перевищує евтектичний рівень (12,7 мас.%), забезпечує хорошу зносостійкість і низький коефіцієнт лінійного розширення сплаву. Це особливо важливо для сплавів, з яких виготовляють поршні двигунів внутрішнього згорання. Коли вміст кремнію наближається до евтектичного рівня (12,7 мас.%) [9], сплав має фактично нульовий інтервал кристалізації, кращу текучість, малу усадкову пористість і найнижчу схильність до утворення гарячих тріщин. Якщо вміст кремнію продовжує збільшуватися, плавильний тигель піддається ерозії або з'являються тверді плями, що погіршує технологічність, тому вміст Si у промислових сплавах не перевищує 14-15 мас.%. Для деталей з особливими вимогами, таких як поршневі циліндри, зазвичай використовують високоміцні сплави [10, 11], де вміст кремнію може бути дещо вищим.

Оскільки основними ливарними алюмінієвими сплавами, які застосовують в автомобільних двигунах є переважно сплави серії 300 (Al-Si-Cu або Al-Si-Mg), такі як: сплав 319 (АК5М2) для впускного колектора, головки циліндра і корпусу трансмісії; сплав 383 (АК12ММгН) для блоку циліндрів; сплав 356 (АК7) для головки циліндрів, то доцільним є більш детально розглянути дані системи.

Сплави Al-Si використовуються переважно для фасонного лиття, хоча для зварювання та паяння виготовляють листи та дріт. Сплави без міді використовують для виробництва низько- та середньоміцних відливок, які мають

хорошу корозійну стійкість, а мідьвмісні сплави – для отримання середньо- та високоміцних відливок, для яких корозійна стійкість не є вирішальним фактором. Завдяки високим ливарним характеристикам можна отримувати міцні відливки складної конфігурації, причому мінімальні властивості важко живлених зон цих відливок будуть вищими, ніж у відливків з високоміцних сплавів з незадовільними ливарними властивостями. Склад сплавів цієї групи має такі межі, %: 5-25 Si; 0-5 Cu; до 3 Fe; 0-2 Mg; 0-3 Zn; до 3 Mn, Cr, Co, Mo, Ni, Be, Zr; <0,02 Na, Sr; <0,01 P. Повідомляється також про додавання карбїду кремнію та сурми [12]. Кремній – основний легувальний компонент, який надає сплавам високу текучість і забезпечує незначну лінійну усадку, а отже, хороші ливарні характеристики та зварюваність. Для поршневих сплавів важливими є низький температурний коефіцієнт лінійного розширення і висока зносостійкість, забезпечена присутністю твердих частинок кремнію. Максимальний вміст кремнію в ливарних сплавах становить 22-24%, однак поршневі сплави можуть містити 40-50% Si.

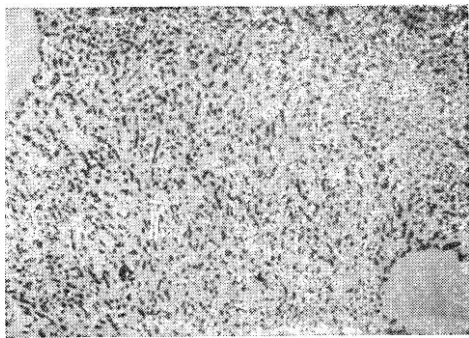
Натрій і стронцій мають модифікуючу дію, стримуючи ріст зерен при кристалізації, фосфор подрібнює первинні кристали. Залізо – основна домішка, і в більшості сплавів його підтримують на найнижчому рівні через шкідливий вплив на пластичність і корозійну стійкість. У відливках, отриманих литтям у піщані форми та кокіль, максимальна концентрація заліза зазвичай становить 0,6-0,7%. У деякі поршневі сплави залізо додають спеціально, а у відливках, отриманих під тиском, допускається до 3% Fe.

Кобальт, хром, марганець, молібден і нікель іноді вводять для нейтралізації негативного впливу заліза. Ці добавки також підвищують жаростійкість. Мідь додають для зміцнення та підвищення стійкості до втоми без зниження ливарних властивостей, але вона погіршує корозійну стійкість.

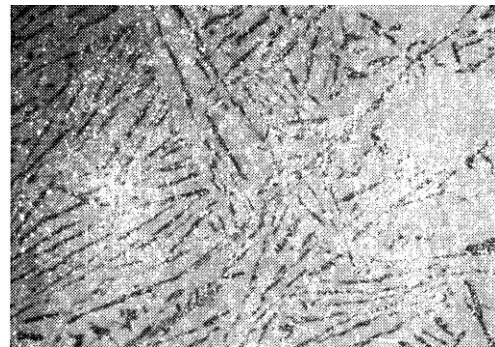
Магній значно підвищує міцність (знижуючи пластичність), особливо після термічної обробки. Цинк є допустимою домішкою в багатьох сплавах (часто до 1,5–12,0%), оскільки він незначно впливає на властивості при кімнатній температурі. Титан і бор іноді додають для подрібнення зерна, хоча розмір зерна

для таких сплавів не дуже важливий, оскільки їхні властивості визначаються головним чином кількістю і структурою кремнію, а також модифікуючим впливом добавок натрію або фосфору.

Іноді розрізняють евтектичний і «графітоутворюючий» кремній за допомогою травлення [13]. Тривалі або повторювані нагрівання викликають сфероїдизацію кремнію. Сфероїдизація відбувається швидше у модифікованих сплавах і приводить до збільшення частинок кремнію до розмірів, дуже близьких до його розмірів у немодифікованому матеріалі. За відсутності міді залізо зазвичай входить до складу евтектики $\text{Al} - \text{FeSiAl}_5 - \text{Si}$ у вигляді тонких пластинок, розподілених серед голок і стержнів кремнію (рис. 1.3, а). Якщо кількість заліза перевищує 0,8%, з'являються первинні кристали FeSiAl_5 [13] (рис. 1.3, б).



а)

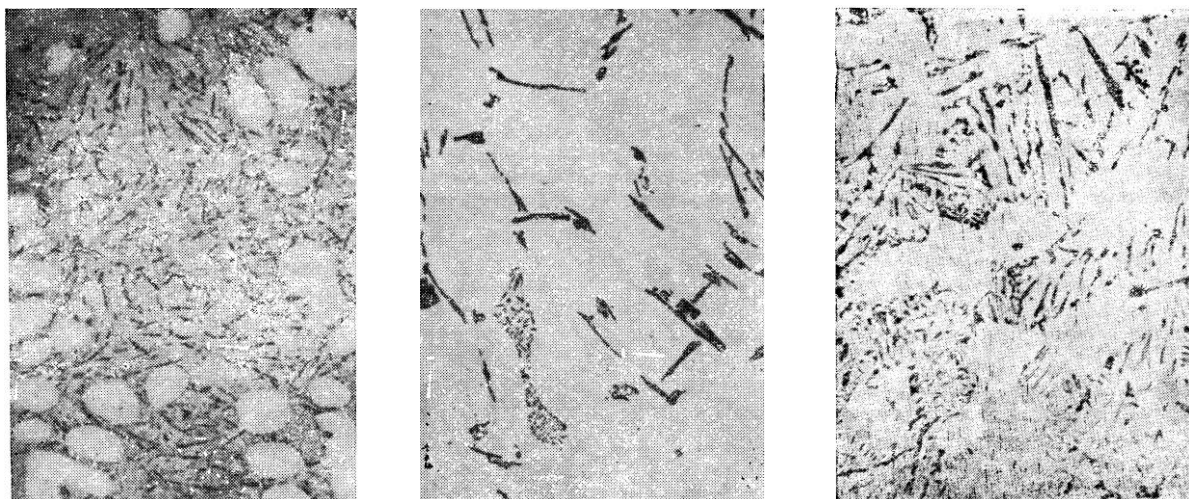


б)

а – Модифікований сплав із 12% Si; 0,3% Fe; б – Сплав із 10% Si, 0,09% Fe

Рисунок 1.3 – Структура сплавів без травлення, лиття в піщану форму, $\times 250$

Швидке охолодження зміщує евтектику в область вищих концентрацій заліза і подрібнює кристали FeSiAl_5 (рис. 1.4, а). Іноді, особливо в сплавах з низьким вмістом кремнію або в сплавах, що містять магній, мідь, цинк, утворюється фаза Fe_2SiAl_5 у вигляді китайських ієрогліфів [13] (рис. 1.4, б, в). За наявності міді залізо вступає з нею у взаємодію, утворюючи, імовірно, сполуку Cu_2FeAl_7 [13].



а)

б)

в)

а – Сплав із 10% Si; 1,5% Fe. Лиття під тиском. Травник H_2SO_4 , $\times 500$; б – Сплав з 5% Si; 0,2% Fe і з добавками фосфору. Без травлення, $\times 250$; в – Сплав із 10% Si; 0,9% Si; 0,6% Fe. Лиття в металеву форму. Травник H_2SO_4 , $\times 250$

Рисунок 1.4 – Структури алюмінієвих сплавів

У присутності магнію виникає сполука $FeMg_3Si_6Al_8$ (рис. 1.5, а) у формі китайських письмен (коли вона входить в евтектику), а також у вигляді глобулярних первинних кристалів світло-блакитного кольору. Залізо зв'язується з марганцем у фазу $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$, яка часто має форму китайських письменностей (рис. 1.5, б), і в такий спосіб послаблюється ефект крихкості, зумовлений фазою $FeSiAl_5$ [14]. Однак, якщо сумарний вміст марганцю і заліза перевищує 0,8%, можуть з'явитися первинні кристали $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$ у вигляді гексагональних глобул (хоча сама сполука належить до кубічного типу). Ці глобули не спричиняють крихкості сплаву, але помітно погіршують оброблюваність різанням, тому вміст марганцю регулюють таким чином, щоб обмежити і шкідливий ефект від заліза, і запобігти виникненню первинних кристалів [15].

Хром і нікель також використовують для нейтралізації дії заліза, але сполуки $(CrFe)_4Si_4Al_{13}$ або $(CrFe)_5Si_8Al_2$ і $FeNiAl_9$ вирізняються подовженою формою (рис. 1.5, в) та призводять до певного крихкоутворення [15]. Найкращим

чином шкідливу дію заліза нейтралізує кобальт, який не з'єднується з кремнієм і таким чином зменшує кількість непотрібних сполук [13-15].

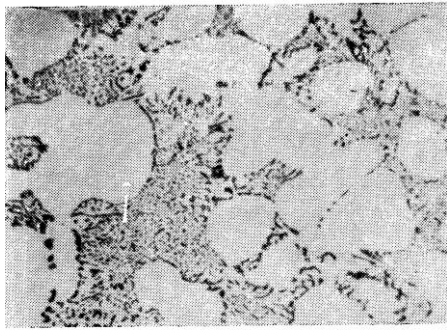
Структурні складові нікелю з кобальтом і залізом точно не встановлені. Передбачається існування четверної сполуки AlCuFeNi , а також розчинення нікелю в Cu_2FeAl_7 і частково в $(\text{CuFe})\text{Al}_6$; є дані про розчинення заліза і міді в Ni_2Al_3 . Таким чином, нікель може бути присутнім у вигляді однієї або більше таких сполук: NiAl_3 , $(\text{CuNi})_2\text{FeAl}_7$, $(\text{CuFeNi})\text{Al}_6$, $(\text{CuFeNi})_2\text{Al}_3$, Cu_4NiAl_7 , $(\text{FeNi})\text{Al}_9$ [16].

У присутності марганцю сполука FeMnNi ускладнює ідентифікацію інших сполук. Ефект від молібдену аналогічний ефекту від кобальту [13].

Якщо мідь не розчиняється у твердому алюмінії, вона присутня у вигляді CuAl_2 (рис. 1.5, г) у сплавах, які не містять магній або містять його в занадто малих кількостях, щоб зв'язати мідь у сполуку $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$. Кількість розчиненої міді скорочується в разі добавок нікелю або марганцю, які виводять її у вигляді сполук Cu-Ni і Cu-Mn [17].

Магній, якщо він не входить у твердий розчин, утворює сполуку Mg_2Si (рис. 1.5, д) або $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ (рис. 1.5, е) у разі присутності міді. У нерівноважних умовах фаза Mg_2Si може бути присутньою поряд із CuAl_2 і Si (рис. 1.5, є). За відсутності міді, кобальту, хрому, марганцю, молібдену або нікелю за високого вмісту заліза і магнію утворюється сполука $\text{FeMg}_3\text{Si}_6\text{Al}_8$.

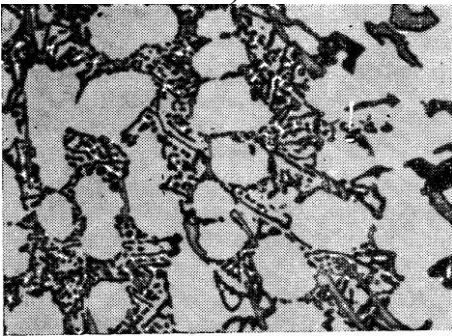
Цинк у кількості до 1 % входить у твердий розчин і не утворює будь-яких помітних складових (рис. 1.5, ж). При підвищеному вмісті цинку і магнію може з'явитися фаза MgZn_2 [13]. Титан і бор вводяться в кількостях, менших за граничну розчинність у твердому стані, і не утворюють самостійних фаз. Залізо зменшує розчинність цих елементів, і таким чином для модифікування потрібна їх менша кількість; згідно з роботою [12], для подрібнення сполук FeMn використовують присадки ванадію в кількості 0,1-0,2%.



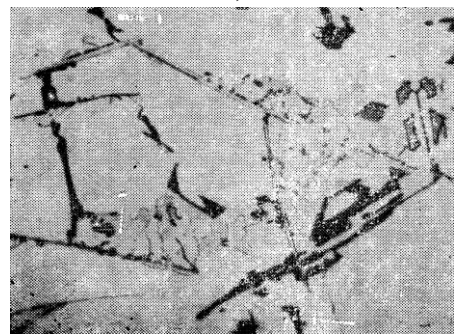
а)



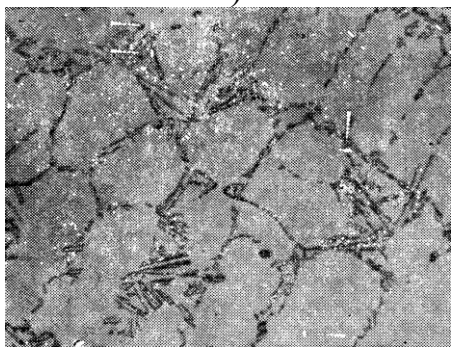
б)



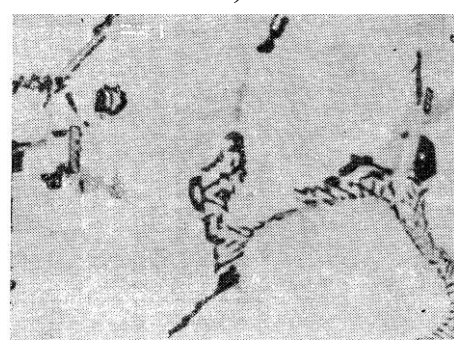
в)



г)



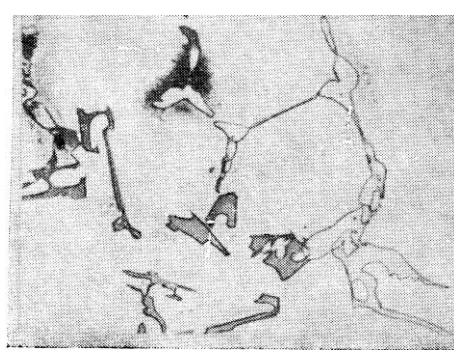
д)



е)



є)



ж)

а – Сплав із 7% Si; 0,5% Fe; 0,6% Mg, модифікований натрієм, $\times 250$;
 б – Сплав з 5% Si; 0,7% Fe; 0,35% Mn; 1,5% Si; 1% Mg, $\times 250$; в – Сплав із 9% Si;
 0,5% Fe; 1% Ni, $\times 500$; г – Сплав із 5,5% Si; 4,5% Cu; 0,6% Fe, $\times 250$; д – Сплав із
 7% Si; 0,5% Mg; 0,2% Fe, $\times 250$; е – Сплав з 5% Si; 0,5% Mg; 1,5% Cu; 0,2% Fe,
 $\times 250$; є – Сплав з 5% Si; 0,5% Mg; 1,5% Cu; 0,2% Fe, $\times 250$; ж – Сплав із 5% Si; 3%
 Cu; 4% Zn; 0,6% Fe; 0,25% Mg, $\times 250$

Рисунок 1.5 – Зображення мікроструктур алюмінієвих сплавів.

Олово і свинець у присутності магнію прагнуть розчинитися у фазі Mg_2Si [14-17]. Усі фази, що виникають, концентруються по межах зерен у вигляді складних евтектик.

Отже, найкращий рівень експлуатаційних властивостей, необхідних для литих деталей двигунів автомобілів, таких як головка циліндра, мають алюмінієві сплави системи Al - Si – Mg (силуміни).

1.3 Термічна обробка і структура сплавів системи Al-Si-Mg

Діаграму стану системи Al - Si - Mg розроблено Хансеном і Гейлером [18]. Квазібінарний розріз Al - Mg_2Si ділить алюмінієвий кут цієї діаграми на дві вторинні системи (Al-Si- Mg_2Si та Al- Mg_2Si - Al_3Mg_2) евтектичного типу з обмеженою та змінною розчинністю компонентів у твердому розчині. У системі Al - Si - Mg_2Si , в якій розташовані сплави АЛ9, АЛ34 (ВАЛ5), АЛ4, утворюється потрібна евтектика $\alpha + Mg_2Si + Si$ з температурою плавлення 550 °С, що обмежує температуру нагріву для гартування. Ці сплави значно зміцнюються під час термічної обробки завдяки утворенню під час нагрівання для гартування пересичених твердих розчинів магнію і кремнію в алюмінії і подальшого розпаду під час охолодження і старіння з виділенням дрібнодисперсних частинок фази Mg_2Si .

Сплав АЛ9 здебільшого призначено для лиття тонкостінних і складних за конфігурацією деталей, які несуть середні за величиною навантаження (деталі карбюраторів, корпуси насосів і різної апаратури).

До переваг сплаву АЛ9 слід віднести:

а) хороші ливарні властивості (висока рідкотекучість, мінімальна лінійна усадка), близькі до властивостей сплаву АЛ2, що дає змогу одержувати тонкостінні виливки складної конфігурації;

б) низьку схильність до утворення гарячих тріщин;

в) порівняно високу міцність і задовільну пластичність;

г) порівняно зі сплавом АЛ4 менш складну технологію лиття деталей: не потрібне застосування автоклава для кристалізації під тиском; модифікування зазвичай здійснюють потрійним стандартним модифікатором, що економічніше.

До недоліків сплаву АЛ9 належать:

а) знижена оброблюваність різанням;

б) хоча зі збільшенням вмісту магнію міцність сплаву підвищується і оброблюваність різанням поліпшується, але пластичність сплаву при цьому знижується;

в) знижена корозійна стійкість до азотної кислоти;

г) знижена жароміцність, яку можна підвищити, збільшуючи вміст кремнію і магнію, а також додатково легуючи сплав міддю.

Отже, для виготовлення головки циліндрів доцільно використовувати сплав АК7 (АЛ9).

Основна зміцнювальна фаза потрійних сплавів - фаза Mg_2Si . Ця фаза має елементарну кубічну ґратку і не утворює твердих розчинів зі своїми компонентами, що характерно для іонних сполук, на відміну від фаз типу Al_3Mg .

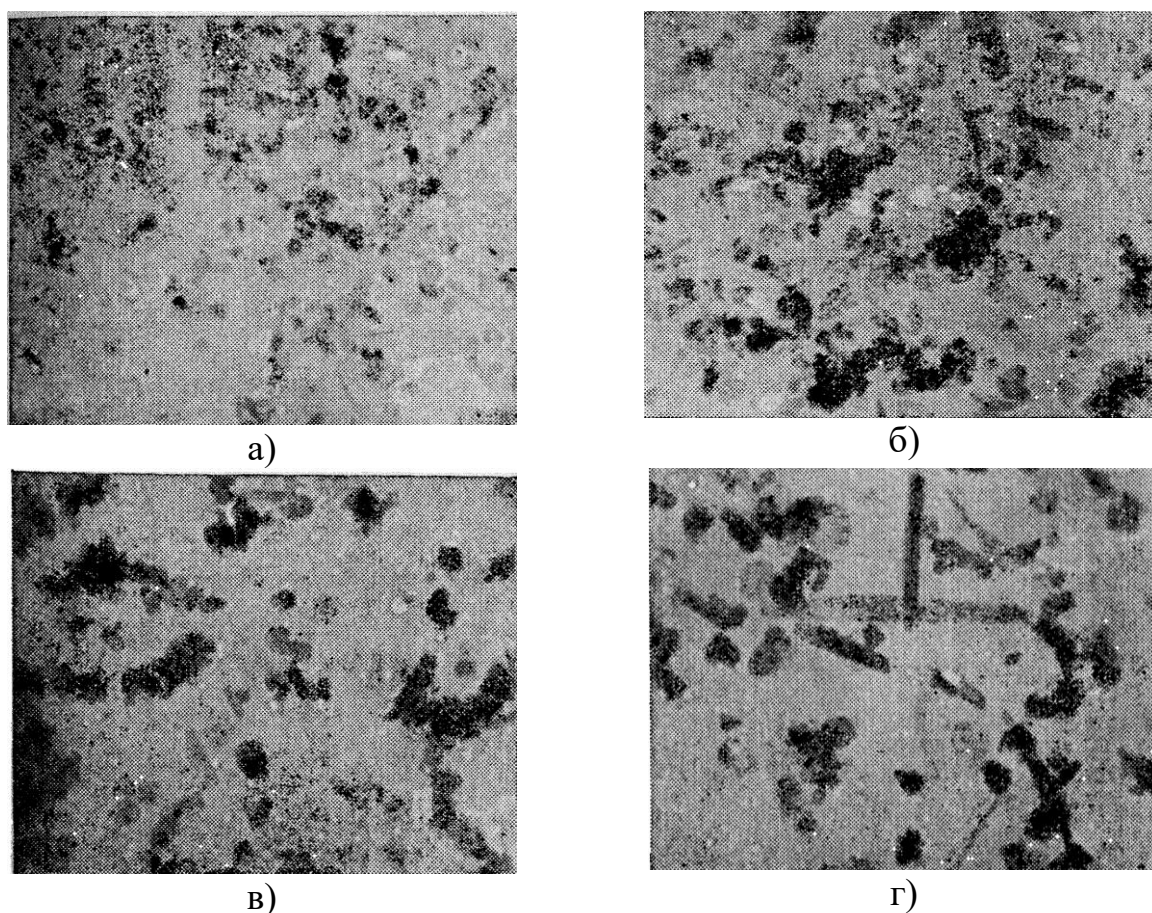
Розчинність Mg_2Si і Si у твердому розчині алюмінію практично однакова, але утворення і виділення ультрадисперсних частинок фази Mg_2Si відбувається дуже повільно, у кілька стадій [19]. Кожна стадія розпаду твердого розчину характеризується певними фізико-механічними властивостями, тому для сплаву АЛ9 рекомендується кілька режимів зміцнювальної та стабілізуювальної термічної обробки.

1.3.1 Зміцнювальна термічна обробка сплаву АЛ9

Нагрівання сплаву АЛ9 під гартування рекомендується проводити за температури $535 \pm 5^\circ C$ протягом 2-6 год залежно від розмірів, перерізу і величини

зерна виливки. Оскільки швидкість розчинення фази Mg_2Si при температурі нагріву під гартування велика, збільшувати час витримки недоцільно, тим паче, що це може призвести до небажаної коагуляції частинок кремнію. Охолодження при гартуванні проводиться у воді за $20^{\circ}C$. У загартованому стані (режим Т4) сплав АЛ9 має високу пластичність ($\delta=44-6\%$) за міцності 180-200 МПа. Старіння за $150\pm 5^{\circ}C$ протягом 1-3 год (режим Т5) забезпечує значне збільшення границі міцності ($\sigma_b=200-260$ МПа), плинності, твердості та призводить до зниження відносного видовження до 2-3%.

Електронно-мікроскопічне дослідження виявляє при цьому розпад твердого розчину з виділенням кремнію, утворенням зон Гін'є-Престона (ЗГП) і метастабільної β' -фази найбільшої густини (рис. 1.6,а) [20].



а – гартування і старіння впродовж 3 год, при температурі $150^{\circ}C$; б, в, г – гартування і старіння впродовж 5 год, при температурі 200, 225 і $250^{\circ}C$

відповідно

Рисунок 1.6 – Структура сплаву АЛ9, $\times 35000$

Після старіння сплаву АЛ9 за температури 200°C протягом 5 год (режим Т6) спостерігається значний розпад у зерні твердого розчину зі збільшенням густини скупчень ЗГП у поєднанні з орієнтованими дрібнодисперсними виділеннями метастабільної β' фази та різними за формою сірими частками кремнію (рис. 1.6, б). Це обумовлює отримання високих значень механічних властивостей.

Дані зміни механічних властивостей свідчать про те, що при послідовному збільшенні температури старіння (табл. 1.2), для досягнення оптимальних властивостей потрібен менший час. Старіння здійснювалося після гартування з 535°C (нагрів 6 год) у воду при 20°C.

Таблиця 1.2 – Зміна механічних властивостей сплаву АЛ9 (АК7) залежно від режиму старіння

№ режиму	Режим старіння		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
	t, °C	τ , год			
1	150	3	217	169	4,3
2	150	5	223	189	4,1
3	175	3	225	196	2,7
4	175	5	227	197	2,9
5	200	0,5	230	191	4,5
6	200	1	230	188	4,5
7	200	5	236	194	4,5
8	150	1*	239	190	4,1
9	200	1**	237	192	4,5
Примітка					
* – плюс 200°C, 1 год.					
** – плюс 150°C, 1 год.					

Застосування двоступеневого режиму старіння (режими 8 і 9) забезпечує краще поєднання значень σ_B , $\sigma_{0,2}$ та δ за короткий час [20].

1.3.2 Стабілізуюча термічна обробка сплаву АЛ9 (АК7 або 356)

Термічна обробка супроводжується нерівномірним нагріванням і охолодженням за перерізом виливки. Що різкіше проводиться нагрівання або охолодження, що більша різниця температури між тонкою і товстою частинами виливки, між її поверхневими і внутрішніми шарами, що складніша конфігурація, то більш неоднорідно й неодночасно відбуваються об'ємні зміни, що можуть спричинити значні залишкові напруження.

Залишкові напруження можуть бути зумовлені такими причинами:

1) тепловими, спричиненими температурним градієнтом унаслідок нерівномірного охолодження по перерізу. Значення напружень залежить від швидкості нагріву й охолодження, розміру деталей і природи сплавів (коефіцієнт лінійного розширення, теплопровідність та інші властивості).

2) фазовими, спричиненими змінами періоду кристалічної решітки і відмінністю коефіцієнтів термічного розширення других фаз і основи сплаву.

Гартівні напруження найзначніші, за величиною вони можуть перевищувати ливарні напруження у виливках із силуміну в 5-10 разів, а напруження від механічного наклепу – в 20-25 разів [21].

Гартівні напруження знижуються в міру зменшення швидкості охолодження, особливо в інтервалі критичних температур. За інтенсивністю зменшення впливу охолоджувального середовища на величину внутрішніх напружень, що виникають у деталі, ці середовища розташовуються в такому порядку: вода за температури 20-60°C, потім вода за 100°C, масло, повітря, нагріте масло, розплавлені солі. Як охолоджувальне середовище під час гартування тонких листів з алюмінієвих сплавів застосовується також рідкий азот [22].

У роботах [22] відзначається різниця в механізмі охолодження в азоті та у воді. Під час гартування у воді спостерігаються три стадії охолодження. На першій стадії (охолодження в паровій сорочці) навколо деталі утворюється тонка

парова сорочка й охолодження через цю газоподібну оболонку здійснюється повільно. Після закінчення першої стадії і на початку другої (бульбашкове охолодження) має місце помітне змочування поверхні деталі. Пар у вигляді бульбашок переноситься конвекційними потоками, конденсується в холоднішій навколишній рідині, забезпечуючи більш швидке охолодження.

У третій стадії (рідинне охолодження) рідина перебуває в повному контакті зі сплавом, що гартується, і тепло переноситься за допомогою порівняно повільного процесу конвекції. Під час гартування у воді механізм перенесення тепла різний в окремих частинах деталі. Рідкий азот має значно нижче значення теплоти випаровування (47,0 кал/г) порівняно з водою (539 кал/г), тому в процесі гартування зберігається пароподібна фаза, що забезпечує однорідність охолодження і знижує залишкове напруження.

Крім гартівних напружень, зумовлених наявністю температурного перепаду під час охолодження після нагрівання під гартування, виникають напруження, спричинені структурними перетвореннями під час розпаду пересиченого твердого розчину сплаву, що може також призвести до об'ємних змін. Тому під час призначення режиму термічної обробки (температура і час нагріву, спосіб охолодження під час гартування, температура і час старіння) необхідно, разом із забезпеченням механічних властивостей, враховувати вимоги, які висуваються до стабільності геометричних розмірів деталі.

У низці випадків, коли не потрібна підвищена міцність виливки, достатнім для стабілізації є застосування високотемпературного відпалу (режим Т2): нагрівання за $300 \pm 10^\circ\text{C}$ протягом 2-4 год, охолодження на повітрі або разом із піччю. При цьому $\sigma_{\text{в}} = 160\text{-}170 \text{ МПа}$, $\delta = 2\%$, НВ 60.

За необхідності поєднання підвищеної міцності та достатньої стабільності геометричних розмірів охолодження під час гартування рекомендується проводити в киплячій воді з подальшим старінням за температур 225 (режим Т7) і 250°C (режим Т8), що супроводжується посиленням розпаду твердого розчину, зниженням величини залишкової деформації та питомого електроопору за зниженням межі міцності та підвищенням пластичності [23].

Ці зміни відповідають послідовності в стадіях розпаду пересиченого α -твердого розчину від зонної стадії (150-200°C) до виділення метастабільної β' -фази (225°C) і стабільної β -фази (Mg_2Si) (250°C).

Таблиця 1.3 – Схеми типових технологічних процесів для високоточних деталей з ливарних сплавів

Послідовність операцій	Схема процесу для деталей категорії		
	1	2	3
4	Отримання відливки		
2	Термічна обробка за режимом 1		
3	Механічне оброблення із залишенням припуску до 0,5 мм на бік для найбільш точних розмірів	Попередня механічна обробка із збереженням припуску до 2,0 мм	
4	Оздоблювальна операція (гальванічне або лакофарбове покриття)	Термічна обробка за режимом 2	
5	Завершальна механічна обробка	Механічна обробка із залишенням припуску до 0,5 мм на бік для найбільш точних розмірів	
6	—	Оздоблювальна операція (гальванічне або лакофарбове покриття)	Термічна обробка за режимом 3
7	—	Завершальна механічна обробка	Оздоблювальна операція (гальванічне або лакофарбове покриття)
8	—	—	Завершальна механічна обробка
9	—	—	Термічна обробка за режимом 4

Електронно-мікроскопічне дослідження [20] показало, що старіння сплаву за 225°C упродовж 5 год призводить до укрупнення частинок кремнію та збільшення кількості утворених частинок метастабільної β' -фази, які спостерігають у вигляді потовщених голок, пластин або окремих крапок, коли частки виділення перпендикулярні до площини шліфа (див. рис. 1.6, в). Після старіння за 250°C протягом 5 год (див. рис. 1.6, г) у тонкій структурі сплаву АЛ9 спостерігаються пруткоподібні виділення стабільної β -фази (Mg_2Si) і коагуляція кремнію.

Для деталей довгостроково працюючих високоточних приладів зі сплаву АЛ9 застосовують таку саму, як для сплаву АЛ2, технологічну схему виготовлення, що передбачає чергування операцій механічної та термічної обробок (див. табл. 1.3).

Режими термічної обробки, які входять до цієї технологічної схеми, наведено в табл. 1.4.

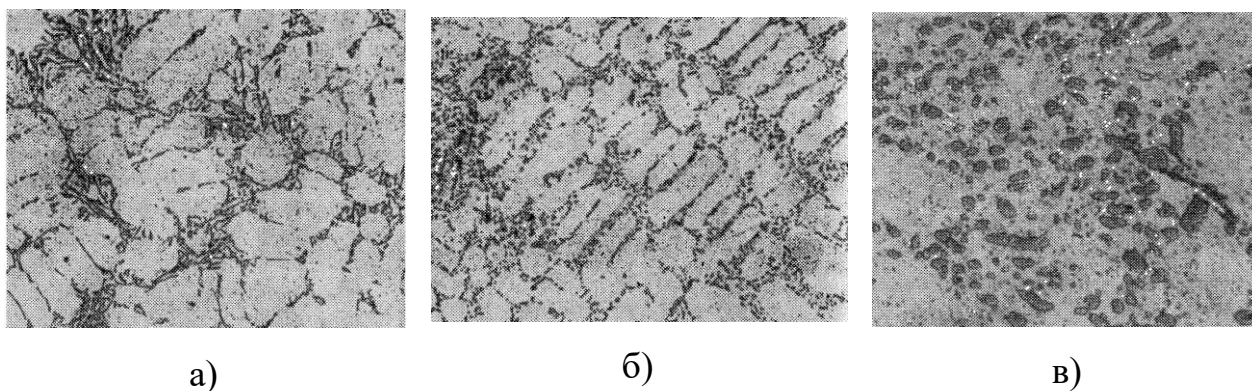
Таблиця 1.4 – Режими стабілізуючої термічної обробки сплаву АЛ 9, що застосовуються під час виготовлення високоточних деталей

Номер режиму	Назва режиму	Температура нагрівання, °C	Тривалість витримки, год	Середовище охолодження
1	Гартування Старіння	530—540 220—235	4—6 3-4	Вода (при 70 - 90°C) Повітря
2	Стабілізувальне старіння	200—220	3—6	
3	ТЦО	40—190* 80—150*	0,5—1,0** 1—2	Повітря або рідина Повітря або рідина, при третьому циклі повітря
4	Стабілізувальне старіння	115—125	3—5	Повітря
Примітка * Цикл охолодження - нагрівання повторити послідовно три рази. ** Час витримки за нижньою межею встановлюється під час обробки в рідині.				

1.3.3 Структура сплаву АЛ9 (АК7 або 356)

Мікроструктура сплаву в литому стані характеризується наявністю а-твердого розчину, частинок кремнію, а також фаз Al_3Fe , AlSiFe , AlSiFeMn , присутність яких зумовлюється вмістом домішок. Субмікроскопічні частинки фази Mg_2Si під час дослідження за допомогою оптичного мікроскопа не виявляються.

Під час дослідження мікроструктури литого сплаву необхідно звертати увагу на розмір і форму частинок кремнію, що входить до евтектики, які визначають ступінь модифікування (рис. 1.7, а, б), правильність проведення плавки. Так, значне перевищення температури розплаву може призвести до збільшення розмірів частинок кремнію і сприяти зниженню міцності та пластичності сплаву.

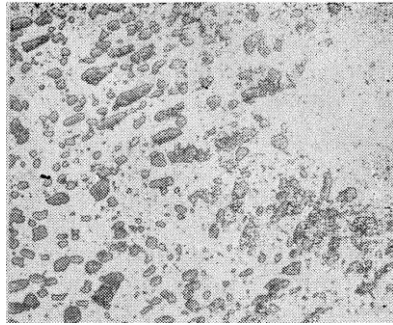


а – литий немодифікований, $\times 100$; б – литий модифікований, $\times 100$;
в – термічно оброблений за режимом Т5, фаза AlFeSi , $\times 500$

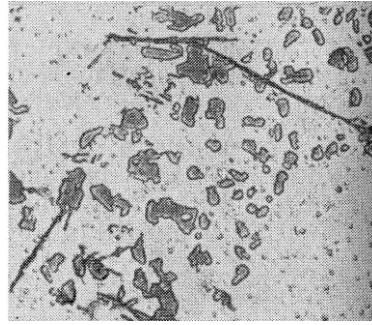
Рисунок 1.7 – Структура сплаву АЛ9

Після термічної обробки (гартування) з температури 535°C спостерігається сфероїдизація частинок кремнію в евтектиці, фаза Mg_2Si переходить у твердий розчин; у структурі термообробленого сплаву також спостерігаються фази, які містять залізо (рис. 1.7, в). Підвищення температури нагріву під гартування

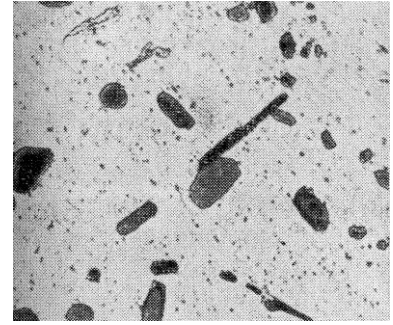
призводить до зміни розмірів і форми кремнію в евтектиці, перепал сплаву супроводжується значним їх укрупненням, а також виплавленням і перекристалізацією евтектики (рис. 1.8, а - в).



а)



б)



в)

а – 545°C, б – 550°C, в – 570°C

Рисунок 1.8 – Зміна структури сплаву АЛ9 при підвищенні температури гартування (гартування впродовж 4 год)

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Сплав АК7 (АЛ9)

Для виготовлення головки циліндра автомобільного двигуна було обрано сплав АК7 (інше позначення АЛ9). Його хімічний склад та механічні властивості у стані постачання (відливки) за ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) зазначено у табл. 2.1 та 2.2 відповідно.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву АК7 (АЛ9)

Вміст елементу, мас. %								
Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Mg	Zn	домішки
до 1,3	6 - 8	0,2 – 0,6	до 0,3	87,6 – 93,6	до 1,5	0,2 – 0,5	до 0,5	всього 3,3

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сплаву АК7 (АЛ9)

σ_B , МПа	δ , %	НВ, МПа
127-196	0,5-1,0	50-75

2.2 Макроскопічний аналіз

Макроскопічний аналіз включає дослідження структури металів, використовуючи огляд їх зламів або спеціально підготовлених поверхонь (макрошліфів), виконаний неозброєним оком або за допомогою оптичних приладів з невеликим збільшенням, яке не перевищує 30 разів [53]. Цей метод дозволяє оцінити загальну якість матеріалу, виявити макродефекти, визначити характер попередньої обробки матеріалу, яка може включати лиття, обробку тиском, різання, зварювання, наплавлення, термічну та хіміко-термічну обробку

та інші процеси. Також можна виявити структурну та хімічну неоднорідність, волокнистість, причини та характер руйнування матеріалу. Макроструктура, що спостерігається за цих умов, фіксується за допомогою фотографій або креслень [53].

Макроаналіз надає можливість провести оцінку стану великих поверхонь матеріалу або окремої деталі і вибрати типові ділянки для детальнішого аналізу. Процес включає дослідження зламів, макрошліфів, а також зовнішніх поверхонь заготовок і деталей [25].

Поверхневі макродефекти, що розташовуються на поверхні виробів, особливо якщо вони отримані методом лиття, включають наступні типи:

- Пригар, який утворюється як тверда, важко відокремлювана кірка на поверхні виливка через фізичну або хімічну взаємодію металу, формової суміші та шлаку;
- Усадочні пустоти (раковини, пори), що формуються внаслідок зменшення об'єму металу під час його твердіння;
- Газові раковини (бульбашки), які утворюються під час кристалізації металу через його значну газомісткість або проникнення газів з форми;
- Ужимини, порожнини, заповнені формувальним матеріалом;
- Тріщини, що з'являються в результаті високих напружень у виливках через опір форми їх усадці та різні швидкості охолодження різних частин заготовки;
- Неметалеві включення, які утворюються через взаємодію компонентів сплаву, таких як залізо, з розчиненими в ньому киснем, сіркою, азотом, та внаслідок попадання шлаку і формувальної суміші під час руйнування форми [25].

2.3 Мікроскопічний аналіз

Мікроскопічний аналіз, або мікроаналіз, є процесом вивчення мікроструктури металів та сплавів за допомогою мікроскопічних технік. Оптичні мікроскопи забезпечують збільшення від 50 до 1500 разів, тоді як електронні мікроскопи можуть досягати збільшення до 100000 разів [25]. Існує тісний зв'язок між мікроструктурою металів та їхніми властивостями. Завдяки мікроаналізу можливо визначити форму, розмір, розміщення та відносний вміст окремих зерен і фаз, виявити мікродфекти і наявність включень у матеріалі, а також оцінити властивості металів і сплавів, розглянувши їхню попередню обробку, яка може включати лиття, деформування та термічну обробку. Для мікроаналізу використовують спеціально підготовлені зразки – мікрошліфи.

Структуру металу досліджують за допомогою мікроскопа у відбитому світлі. Зразок піддають ретельній обробці на металорізальному верстаті, далі його шліфують і полірують до стану, коли він відбиває світло як дзеркало. Мікроструктура зразка досліджується та фіксується за допомогою спеціального стаціонарного металографічного мікроскопа.

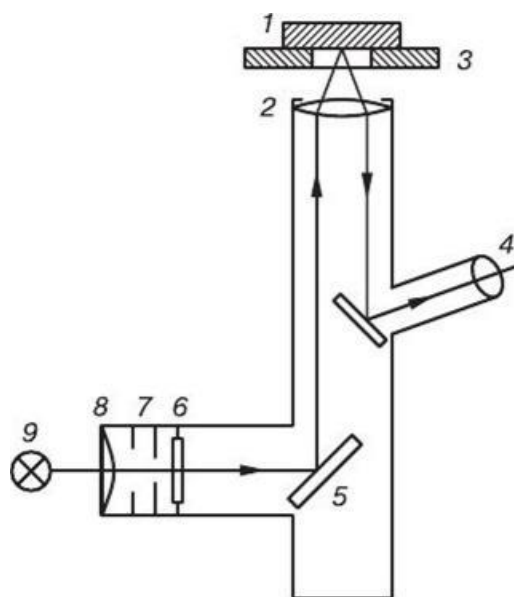


Рис. 2.1 – Структурна схема металографічного мікроскопа [24]

Світло від лампи (рис. 2.1) проходить через збиральну лінзу-колектор 8, апертурну і польову діафрагми 7 та світлофільтр 6. Відбиваючись дзеркалом 5, воно прямує через об'єктив 2 на об'єкт 1 [24]. При цьому об'єкт розміщується над об'єктивом на предметному столику 3 та відбиває світло до фронтальної лінзи об'єктива.

Коли пучок світла падає на поверхню об'єкта, змінне електромагнітне поле світлової хвилі викликає коливання електронів речовини, які випромінюють вторинні електромагнітні хвилі. Віддзеркалення і заломлення світла є результатом інтерференції цих вторинних хвиль між собою та з первинною хвилею. Інтерференція когерентних хвиль означає підсилення їх інтенсивності при накладенні хвиль, що збігаються по фазі, і ослаблення, якщо хвилі знаходяться у протифазі. Це створює чергування максимумів і мінімумів інтенсивності. У металах, завдяки металевому зв'язку, зумовленому електронним газом, вторинні хвилі, викликані коливаннями вільних електронів, дають сильну відбиту хвилю, яка досягає 95% інтенсивності первинної хвилі.

Контраст зображення визначається відмінністю яскравості об'єкта та фону. Якщо ця різниця менша за 3-4%, зображення не буде помітним ні оком, ні фотопластинкою, навіть якщо мікроскоп здатен виявити його деталі [25]. На контраст впливають не лише властивості об'єкта, які змінюють світловий потік відносно фону, але й здатність оптичної системи реагувати на ці відмінності.

Спостережна система забезпечує збільшення розмірів об'єкта, яке може бути корисним, марним або загальним. Вона включає об'єктиви, призму та окуляр монокулярної насадки. При використанні біноккулярної насадки до її складу входять призма і призмений блок.

Об'єктив мікроскопа формує зворотне (перевернуте) дійсне зображення зразка, що забезпечує корисне збільшення, дозволяючи розрізняти деталі, які не видно неозброєним оком. Призма спрямовує промені під кутом 45 градусів, що полегшує роботу з мікроскопом [25]. Для розглядання отриманого зображення використовується окуляр, який створює пряме уявне збільшення, подібно до лупи. Таке збільшення є марним («сліпим»), оскільки навіть найпотужніші

окуляри не дозволяють побачити нові деталі зображення. Загальне оптичне збільшення мікроскопа визначається як добуток збільшення об'єктива на збільшення окуляра.



Рисунок 2.2 – Приклад світлового мікроскопу та його компоненти [25]

Окрім оптичної мікроскопії, електронна мікроскопія використовується для виявлення більш дрібних структурних особливостей. Скануючий електронний мікроскоп TESCAN з приставкою для елементного аналізу поверхонь INCA Energy EDX (Oxford, Велика Британія) застосовується для проведення морфологічного аналізу поверхонь досліджуваних зразків. Також електронна мікроскопія дозволяє вивчати розміщення та склад мікродисперсних частинок у структурі.

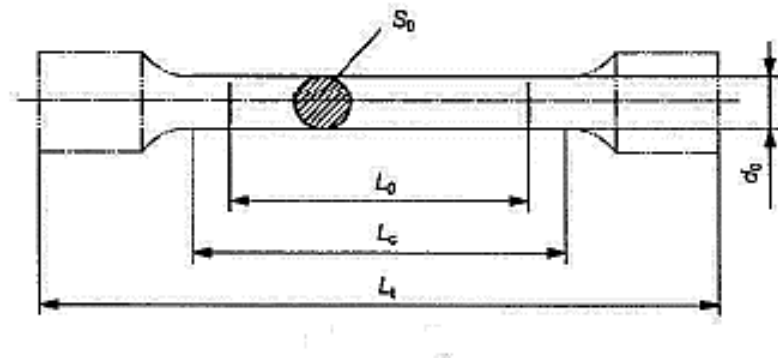
2.4 Методика випробувань на розтяг

Методика випробувань на розтяг призначена для визначення основних механічних характеристик матеріалів, таких як границя пропорційності, границя пружності, границя текучості, границя міцності, відносне видовження та відносне звуження після розриву за кімнатної температури. Виконання цих досліджень регламентується ДСТУ EN ISO 6892-1:2022, що стосується металів та їх сплавів.

Процедура підготовки зразків передбачає вирізання заготовок за допомогою різноманітних технологій, включаючи металорізальні верстати, кисневе чи анодно-механічне різання. При цьому необхідно дотримуватися встановлених норм щодо розмірів та напрямків зразків відносно заготовки, зазначених у нормативно-технічній документації. Зразки рекомендується виготовляти на металорізальних верстатах, забезпечуючи необхідні умови (охолодження, режими обробки), щоб запобігти змінам властивостей металу через нагрівання або наклеп.

Випробування на розтяг проводяться з використанням пропорційних циліндричних зразків (рис. 2.3) з діаметром робочої частини 3,0 мм та початковою розрахунковою довжиною $l_0=5,65$ мм. Зразки мають бути належним чином підготовлені та відмічені для забезпечення точності вимірювань.

Перед випробуваннями необхідно визначити початкову площу поперечного перерізу F_0 , вимірюючи розміри зразків у трьох різних точках. Величину початкової розрахункової довжини l_0 округлюють у більшу сторону. Важливо зазначити місця розриву і відносне рівномірне видовження δ_r , рекомендується наносити мітки через кожні 5 мм.



D_0 – початковий діаметр робочої частини циліндричного зразка;

L_c – довжина робочої частини;

L_0 – початкова розрахункова довжина;

L_t – загальна довжина зразка;

S_0 – початкова площа поперечного перерізу робочої частини зразка

Рисунок 2.3 – Пропорційний циліндричний зразок для проведення випробування на розтяг [25]

Фінальний етап включає створення діаграми розтягу (рис. 2.4), що дозволяє оцінити зазначені вище механічні характеристики. Розрізняють умовні нормальні напруження σ і істинні нормальні напруження S , визначаючи їх відповідно до формул, залежно від поточного навантаження і площі поперечного перерізу.

$$\sigma_i = \frac{P_i}{F_0} \quad (2.1)$$

де P_i – навантаження, МН(Н);

F_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка, м^2 (мм^2).

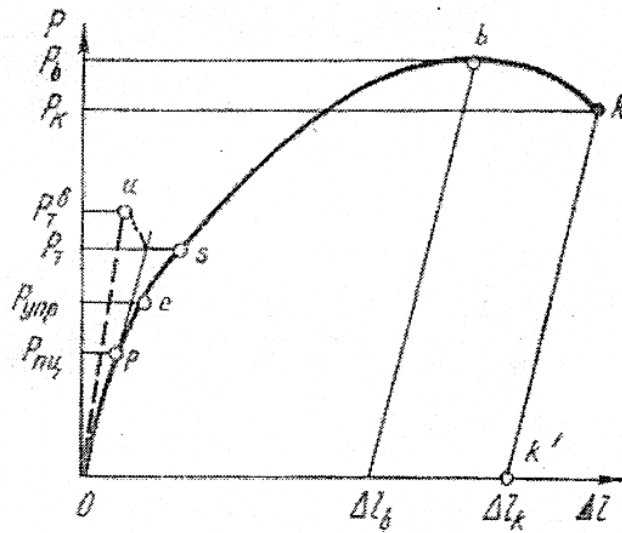


Рисунок 2.4 – Характерні точки на діаграмі розтягу, за допомогою яких розраховують характеристики міцності

Такі вимірювання надають змогу точно характеризувати властивості матеріалу під час деформації.

3 ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СПЛАВУ АК7 (АЛ9), ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГОЛОВКИ ЦИЛІНДРІВ ДВЗ

3.1 Розробка режиму термічної обробки головки циліндрів та її вплив на властивості сплаву АК7

Метою роботи стала оптимізація режиму термічної обробки литого алюмінієвого сплаву АК7, що забезпечує підвищення характеристик міцності виробів з цього сплаву на 10-12 %.

Маршрутна технологія отримання головки циліндрів ДВЗ зі сплаву АК7 наведено у табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Технологія виготовлення головки циліндрів зі сплаву АК7

Послідовність операцій	Схема процесу для деталей
1	Отримання відливки
2	Термічна обробка за рекомендованим режимом
3	Механічне оброблення із залишенням припуску до 0,5 мм на бік для найбільш точних розмірів
4	Оздоблювальна операція (гальванічне покриття)
5	Завершальна механічна обробка

Для досліджуваного силуміну режим гомогенізаційного відпалу з метою усунення наслідків нерівноважної кристалізації не призначався. Гомогенізацію поєднували із гартуванням за 540 °С з витримкою протягом 6-7 годин, що забезпечило повне розчинення фази Mg_2Si , часткове розчинення Si і гомогенізацію твердого розчину, а також призвело до подрібнення та сфероїдизації частинок евтектичного кремнію (рис. 3.1).

Старіння здійснювали за температур 150 °С, 175 °С і 200 °С з витримкою від 1 до 7 годин з кроком 1 год, після чого були проведені механічні випробування (рис. 3.2, табл. 3.2).



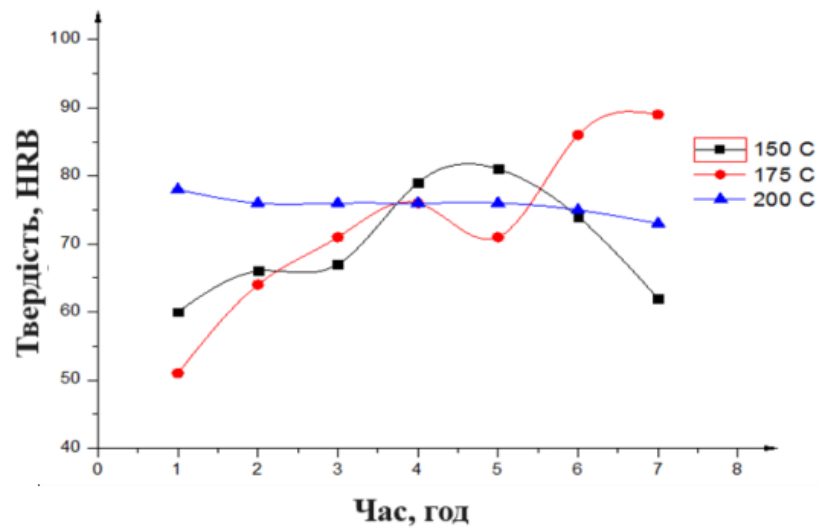
Рисунок 3.1 – Структура сплаву АК7 після гартування з температури 540°С

Таблиця 3.2 - Відносне видовження сплаву АК7ч залежно від температури та тривалості старіння

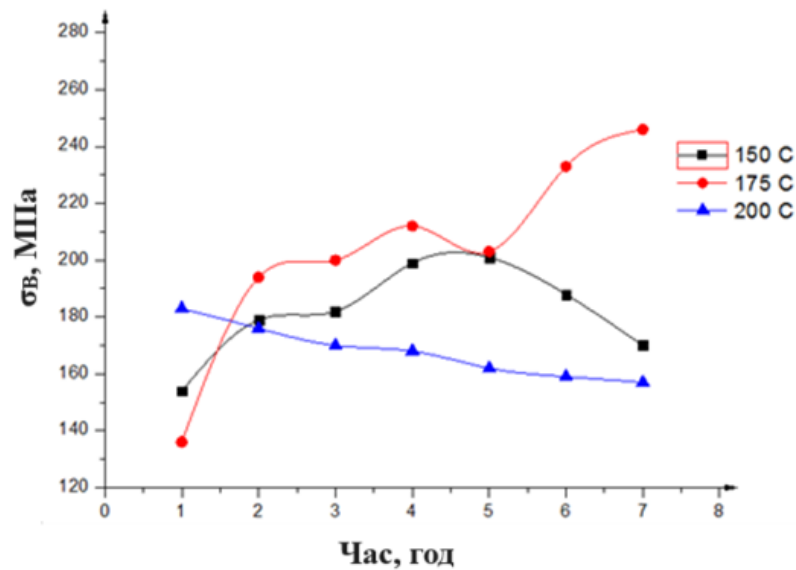
Тривалість старіння, год	Відносне видовження δ , %		
	Температура старіння, °С		
	150	175	200
1	9,6	6,7	4,7
2	11,1	6,5	5,5
3	7,6	10,4	7,2
4	12,6	4,7	8,2
5	7,2	4,0	4,8
6	5,2	4,6	7,3
7	5,6	4,8	4,5

Аналіз результатів проведених досліджень свідчить про те, що старіння за температури 175 °С і тривалістю 6-7 годин, забезпечують поєднання високих характеристик міцності (HRB 86-89 і $\sigma_B = 233-246$ МПа) і пластичності ($\delta = 4,6-4,8$ %) властивостей загартованого алюмінієвого сплаву АК7. В структурі сплаву АК7, після такої термічної обробки відбувається руйнування суцільної сітки

евтектики, значне подрібнення крем'янистої фази і більш рівномірний її розподіл по перетину зразка (рис. 3.3).



а)



б)

а) зміна твердості; б) зміна тимчасового опору розриву

Рисунок 3.2 – Зміна механічних властивостей сплаву АК7 залежно від часу та тривалості старіння

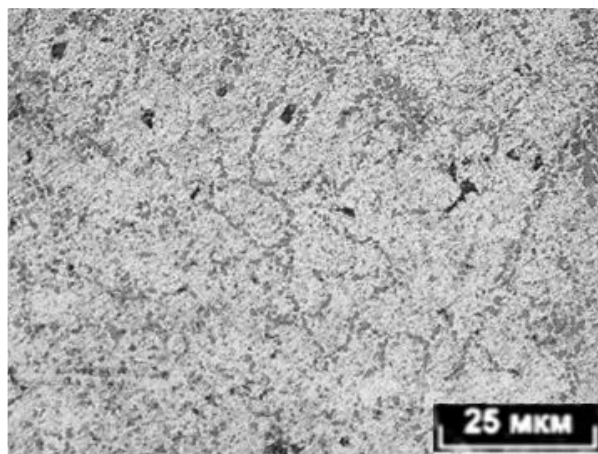


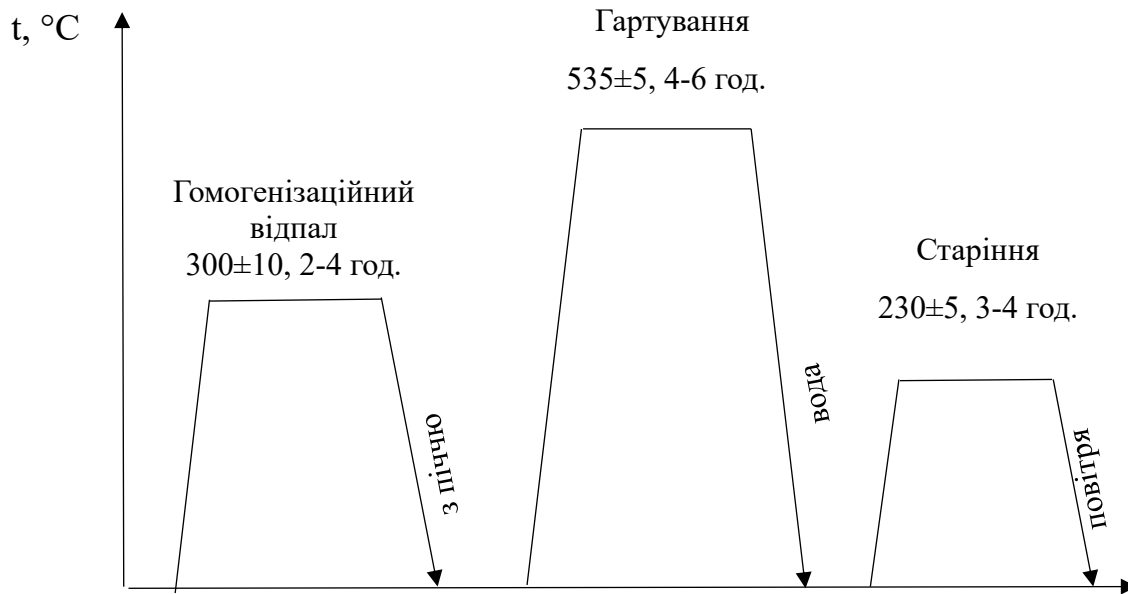
Рисунок 3.3 – Структура сплаву АК7 після гартування з температури 540°C та старіння 175°C

Важливою експлуатаційною характеристикою алюмінієвих сплавів є стійкість до міжкристалітної (МКК) і розшарувальної корозії (РСК).

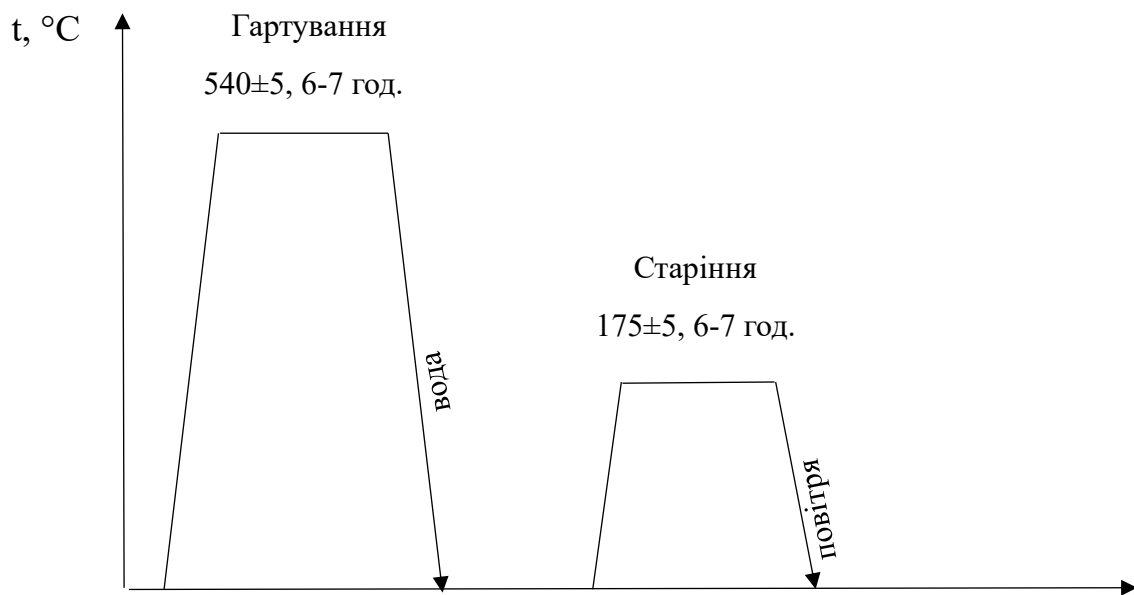
Стійкість сплаву АК7, підданого термічній обробці на максимальне зміцнення, до корозії визначали за стандартними методиками. Оцінку схильності сплаву АК7 до МКК проводили при збільшенні в 200 разів. Металографічний аналіз показав, що поширення МКК по всьому перерізу зразків не спостерігається. Відзначаються окремі ділянки, пошкоджені МКК. Характер МКК у сплаві АК7 носить інтеркристалітний характер, тріщина поширюється по межами зерен, у результаті чого між ними утворюються пухкі маломіцні продукти і піттинги. Глибина поширення МКК невелика і становить приблизно 2-4 мкм.

У таблиці 3.2 наведено порівняльну оцінку механічних характеристик на сплав АК7 після запропонованого і штатного режиму термічної обробки, а на рис. 3.4 наведено їх графіки.

Дослідження зразків, підданих випробуванню на РСК, здійснювали шляхом візуального огляду їх торцевих поверхонь. Так, після 8-11 діб випробування на поверхні зразків утворилися невеликі заглиблення (виразки) діаметром менше 1 мм. Після закінчення 12 діб випробування на поверхні крім виразок утворилася невелика тріщина довжиною близько 1,5 мм. Така пошкодженість РСК відповідає найменшому 3-4 балу.



а)



б)

а) штатний режим; б) запропонований режим

Рисунок 3.4 – Графіки режимів термічної обробки

Аналіз даних таблиці 3.3 показує, що запропонований режим термічної обробки підвищує міцність литого сплаву АК7 на 10-12 % порівняно зі штатним режимом термічної обробки, а також забезпечує відносне видовження на досить

високому рівні, що відповідає вимогам за механічними властивостями, що висуваються до деталей головок циліндра двигунів автомобілів.

Таблиця 3.3 - Порівняльна оцінка механічних характеристик сплаву АК7 після запропонованого і штатного режиму термічної обробки

Механічна характеристика	Режим термічної обробки	
	штатний	запропонований
σ_B , МПа	216-220	233-246
δ , %	4,8-7,0	4,6-4,8

3.2 Технологічне обладнання процесів термічної обробки головки циліндрів зі сплаву АК7

Для проведення термічної обробки головки циліндрів у масовому виробництві на автомобільних підприємствах використовують автоматизовані лінії або агрегати, які включають весь цикл термічної обробки. Проте такі лінії є досить коштовними і не завжди їх можна використовувати для широкої номенклатури деталей. Тому для гартування зазначених деталей доцільним буде використання електротермічного агрегату СНОА 15.15.10/6 (рис.3.5).

До складу агрегату входять: електропіч опору камерна для нагрівання під гартування; бак гартівний водяний; транспортно-завантажувальний механізм; система замкнутого повітряного охолодження води в гартівному баку; піддон; система управління та реєстрації. Розміри робочого простору печі та гартівного баку Д-1500, Ш-1500, В-1000 мм, максимальна температура нагріву 600°C.

Електропіч обладнана системою примусової циркуляції пічної атмосфери, яка забезпечує рух нагрітого повітря в робочій камері через завантаження і рівномірний розподіл температури по всьому об'єму робочої камери ($\pm 5^\circ\text{C}$). Нагрівання печі та садки здійснюється випромінюванням і конвекцією від

електронагрівальних елементів, розташованих уздовж бічних стінок і на поду печі.

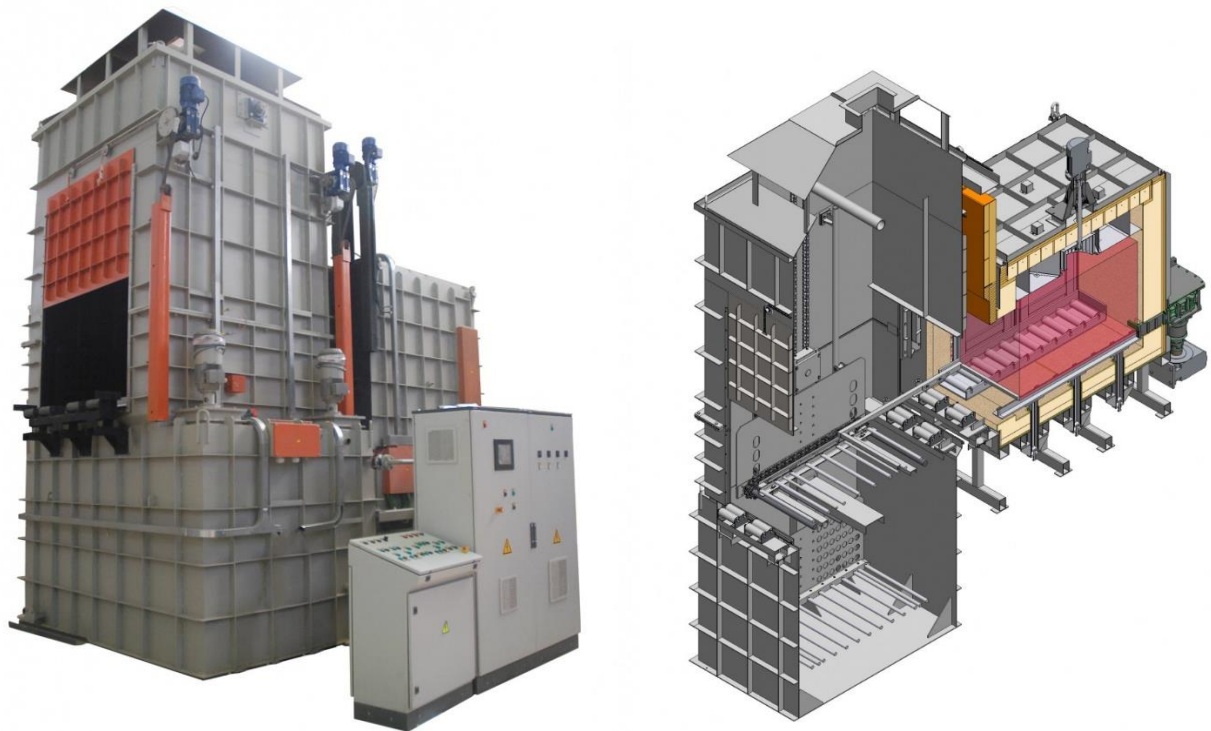


Рисунок 3.5 – Електротермічний агрегат СНОА 15.15.10/6

Гартівна ванна уявляє герметично зварену з листової та профільної сталі ємність, усередині якої встановлені вузол підігріву, охолодження і перемішування води. Вузол підігріву забезпечений ТЕНами для нагріву гартівної рідини до необхідної температури, а вузол охолодження - пластинчастим теплообмінником і насосом. Високоєфективне перемішування гартівної рідини здійснюється спеціалізованими мішалками. Внаслідок швидкого перенесення деталей з печі до гартівного баку на поверхні деталей утворюється менша кількість оксидів, та нижчий рівень напружень.

Транспортно-завантажувальний механізм складається з комплексу приводів і тяг, що забезпечують завантаження садки на піддоні з тамбура до печі та вивантаження садки на піддоні з печі на позицію над баком для її подальшого загартування. Керування механізмами завантаження-розвантаження здійснюється кнопками з шафи керування.

Система управління температурним режимом має подвійне управління: з панельного комп'ютера і з кнопок управління агрегатом. Панельний комп'ютер слугує для забезпечення візуального контролю та управління, відстежує роботу контролера й архівує дані моніторингу датчиків. Керування здійснюється натисканням піктограм на дисплеї панельного комп'ютера і підтвердженням увімкнення/вимкнення обраного пристрою, або запуском макрокоманди.

Для проведення штучного старіння було обрано конвеєр НК 17.17.18/2 ИЗ П (рис.3.6). Розміри робочого простору Д-1700, Ш-1700, В-1800 мм, максимальна температура нагріву 200°C.



Рисунок 3.6 – Електропід-конвеєр НК 17.17.18/2 ИЗ П

Відмінною особливістю печей цього типу є висока рівномірність температури по всьому об'єму робочої камери. Конструкція печі являє собою зварений каркас металевих профілів, зафутерований зсередини сучасною волокнистою теплоізоляцією.

Як нагрівальні елементи застосовуються ТЕНи, які дають змогу отримати максимальний теплообмін конвекцією з поверхні нагрівача. Робочу камеру печей, в якій відбувається нагрівання садки, утворюють металеві екрани, за якими знаходяться нагрівальні елементи.

Під склепінням робочого об'єму встановлено потужні відцентрові вентилятори, які створюють спрямовану циркуляцію повітря в робочій камері та дають змогу забезпечити високу рівномірність нагрівання по всьому робочому об'єму.

Печі оснащені двонаправленим ланцюговим транспортером, що складається з ланцюга, натяжної станції, приводної станції та платформи для завантаження садки, яка встановлюється на ланцюг транспортера. Для зручності завантаження і вивантаження можливе реверсування напрямку руху транспортера. Електропечі подібного типу можуть мати як прохідну конструкцію (по обидва боки печі встановлені механізовані двері), так і тупикову. Переміщення дверей відбувається за допомогою ланцюгової передачі.

По довжині робочої камери печі розділені на кілька типових зон. Контроль температури в кожній зоні здійснюється з шафи управління за допомогою термопар, розміщених на бічній стінці, що дає змогу забезпечити високу точність регулювання температури в робочому просторі.

У печах передбачено автоматичне вимкнення в разі перевищення максимальної температури.

3.3 Дефекти, що можуть виникнути в головці циліндрів зі сплаву АК7 та методи їх усунення

При проведенні технологічних операцій необхідним є запобігання, а у випадку виникнення – виявлення та виправлення дефектів. Дефекти, що можуть виникнути в головці циліндрів, виготовленого литтям зі сплаву АК7 наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Дефекти, що можуть виникнути в деталі зі сплаву АК7 та методи їх усунення [27]

Назва дефекту	Характеристика	Причини виникнення
1	2	3
Включення окислювального шлаку	Окислювальні шлакові включення переважно розподілені на верхній поверхні виливків, у кутах, де форма не вентилюється. Злам здебільшого сіро-білого або жовтого кольору, виявляється під час рентгенівського контролю або під час механічної обробки, а також може бути виявлений під час промивання лугом, кислотою або анодування.	Матеріали печі недостатньо чисті; надмірне використання вторинної сировини; погана конструкція системи лиття; шлак у рідині сплаву видалено не повністю; неправильна операція лиття, що призводить до включення шлаку; недостатній час витримки після рафінування і модифікаційної обробки.
Пори та бульбашки	Пори всередині стінки виливки зазвичай круглі або овальні, з гладкою поверхнею, зазвичай блискучою оксидною плівкою, іноді жовтуватою, як масло. Поверхневі пори і бульбашки можна виявити за допомогою піскоструминної обробки, а внутрішні пори і бульбашки - за допомогою рентгену або механічної обробки; на рентгенівській плівці вони мають вигляд чорних.	Нестабільне лиття сплаву, винесення газу; органічні домішки, що потрапили в формувальний (стрижневий) пісок (наприклад, вугільний пил, коріння трав тощо); погана вентиляція в цвіль та серцевині; усадочні отвори на поверхні холодного заліза; погана конструкція системи лиття.

Продовження таблиці 3.4

1	2	3
Усадкова пористість	Усадочна пористість в алюмінієвих виливках зазвичай виникає поблизу внутрішнього затвора, в кореневій частині стояка, де переріз найтовстіший, на стику товстих і тонких стінок, а також у місцях з великими тонкими стінками. У литому стані поверхня зламу виглядає сірою або світло-жовтою, а після термообробки стає світло-сірою, світло-жовтою або сіро-чорною. На рентгенівських плівках вона має вигляд хмари, а сильна усадочна пористість може бути виявлена за допомогою таких методів, як рентгенографія, флуоресцентне дослідження тріщин під малим збільшенням.	Погана подача стояка; Високий вміст газу в матеріалі печі; Перегрів у районі внутрішніх воріт; Надмірна вологість у піщаній формі, не просушений піщаний стрижень; Великі зерна сплаву; Неправильне розташування виливки у формі; Занадто висока температура заливки, занадто висока швидкість заливки.
Тріщини а) при литті	а) Розвивається по межах зерен, часто супроводжується сегрегацією, є різновидом тріщин, що утворюються за підвищених температур. Як правило, вона з'являється в сплавах зі значною об'ємною усадкою і у виливках складнішої форми.	Непродумана конструкція виливки, з гострими кутами і занадто різкими змінами товщини стінок; Погана руйнівність піщаної форми (керна); Локальний перегрів прес-форми; Занадто висока температура заливки; Занадто раннє виймання виливки з форми;

Кінець таблиці 3.4

б) при термічній обробці	б) Причина - перегрів або горіння під час термообробки, часто проявляється у вигляді трансгранулярних тріщин. Зазвичай виникає у сплавах, що створюють напруження і мають високий коефіцієнт теплового розширення при занадто швидкому охолодженні, або за наявності інших металургійних дефектів.	Перегрів або перегартування під час термообробки, занадто швидке охолодження.
--------------------------	--	---

Рішення, що можна застосувати для рішення вищенаведених дефектів:

1. Регулювання обладнання

1.1 Очистити поверхню розділу, очистити порожнину форми, очистити виштовхувальний стрижень; поліпшити покриття, поліпшити процес напилення; збільшити зусилля змикання, збільшити кількість металу, що заливається. Ці заходи можуть бути реалізовані за допомогою простих операцій.

1.2 Налаштувати параметри процесу, силу впорскування, швидкість впорскування, час заповнення, час відкриття форми, температуру заливки, температуру форми тощо.

1.3 Змінити матеріали, вибрати високоякісні злитки алюмінієвого сплаву, змінити співвідношення нових і перероблених матеріалів, покращити процес плавки.

1.4 Зміна форми, зміна системи заливки, додавання внутрішніх затворів, додавання переливних каналок, випускних каналок тощо.

2. Додавання рідкоземельних елементів у ливарні алюмінієві сплави може ефективно запобігти утворенню дефектів ливарних алюмінієвих сплавів.

2.1 Рафінуюча роль рідкісноземельних елементів в алюмінієвих сплавах (рідкісноземельні елементи можуть поліпшити морфологію включень і очистити межі зерен).

2.2 Рафінуюча дія таких металів на алюмінієві сплави (навмисне придушення зростання стовпчастих і дендритних кристалів для сприяння утворенню дрібних рівновісних кристалів – рафінуванням зерна).

2.3 Модифікуючий вплив рідкісноземельних металів на алюмінієво-кремнієві сплави (в ливарних сплавах Al-Si фаза Si в природних умовах перетворюється на блокову або лускату крихку фазу, сильно розщеплюючи матрицю, знижуючи міцність і пластичність сплаву, тому її необхідно перевести в сприятливу форму. Модифікуюча обробка перетворює евтектичний Si з грубого лускатого на дрібний волокнистий або пластинчастий, тим самим покращуючи характеристики сплаву).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі, присвяченому охороні праці, особлива увага приділяється забезпеченню безпеки на робочому місці під час вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів у виробництві автомобільних двигунів. Термічна обробка алюмінієвих сплавів є критичним процесом, що вимагає строгого дотримання технічних норм безпеки, адже вона включає використання високих температур і потенційно небезпечних матеріалів.

Цей розділ детально розглядає заходи, спрямовані на мінімізацію ризиків, пов'язаних із роботою обладнання для термічної обробки, включаючи аналіз можливих небезпечних ситуацій, які можуть виникнути під час процесу гартування, відпуску та відпалу. Обговорюються також методи захисту персоналу, включно із засобами індивідуального захисту, системами вентиляції та аварійними процедурами.

Додатково, розглядаються екологічні аспекти термічної обробки, які включають зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу та впровадження технологій очищення відходів. Врахування цих аспектів є суттєвим для створення безпечного і сталого виробничого процесу.

Таким чином, цей розділ надає комплексний огляд стратегій і технологій, що використовуються для забезпечення безпеки працівників та збереження навколишнього середовища в контексті термічної обробки алюмінієвих сплавів у автомобільній промисловості.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме [28]:

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [29].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина – 800...1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) до основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;

- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпеки), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;
- захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпеки, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту

кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блмання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову). Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

д) об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [30-32].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;

- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.

- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;

- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;

- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;

- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % 45 при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);

- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

- природне (бокове або верхнє);

- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове [33-35].

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;
- видавати повідомлення про пожежу та/або проникненні на блоці індикації;
- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;
- передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтатні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації [36, 37].

4.5 Заходи безпеки в умовах НС

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись і здійснюватись лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і т. д.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфофрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які

мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і тепlopостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з підвищеною ступенем стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерела, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напівавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини сіті.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Сіті зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається

розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогнебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогнебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготовляти склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідроспоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг) [38].

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

У сучасних умовах автомобільна промисловість стикається з необхідністю постійного вдосконалення виробничих процесів для зниження витрат та підвищення ефективності. Одним із ключових аспектів є термічна обробка алюмінієвих сплавів, що використовуються у виробництві автомобільних двигунів. Цей процес має значний вплив на кінцеву якість продукції, її міцність, довговічність та інші експлуатаційні характеристики.

Економічний розділ даної дипломної роботи присвячений аналізу та оцінці економічної ефективності вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів. У цьому розділі розглядаються питання зниження виробничих витрат, оптимізації ресурсів, підвищення продуктивності та якості продукції, а також впливу інноваційних методів на загальну рентабельність підприємства.

У ході дослідження будуть проведені економічні розрахунки, що дозволять оцінити фінансові витрати та вигоди від впровадження нових технологій. Також буде проаналізовано можливі економічні ризики та розроблено рекомендації щодо їх мінімізації. Особлива увага приділяється аналізу ринкових тенденцій, оцінці конкурентних переваг та перспектив розвитку підприємства в умовах вдосконалення технологічних процесів.

Таким чином, економічний розділ дипломної роботи надасть комплексний огляд економічної доцільності та потенційних вигод від вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів у виробництві автомобільних двигунів, що є важливим кроком до підвищення конкурентоспроможності підприємства та зміцнення його позицій на ринку.

5.2 Послідовний аналіз

Проаналізовано напрямки застосування та вигоди для споживачів (табл. 5.1), що дозволяє сформулювати повне уявлення про ідею та визначити базові потенційні ринки для пошуку груп потенційних клієнтів. Ретельно розглянуто особливості та вимоги цих ринків, що сприяє точнішій ідентифікації цільової аудиторії.

Проведено аналіз характеристик потенційного ринку (табл. 5.2), який включає детальний огляд ринкових можливостей, конкурентного середовища та специфічних потреб споживачів. Цей аналіз допомагає виявити ключові фактори, що впливають на успіх продукту або послуги, і розробити ефективні стратегії для виходу на ринок та задоволення потреб клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Вдосконалення методів термічної обробки алюмінієвих сплавів у виробництві автомобільних двигунів	1. Автомобільна промисловість, 2.Авіаційна промисловість 3. Виробництво високонавантажених компонентів.	1. Підвищення довговічності та надійності двигунів. 2. Збільшення ефективності паливної системи літаків. 3. Покращення характеристик виробів під високим навантаженням.

Виконано аналіз попередньої характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	Запорізький алюмінієвий комбінат (ЗАЛК), Криворізький алюмінієвий завод, Дніпровський металургійний завод
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільне зростання з тенденцією до інновацій та вдосконалення технологій.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вимоги до технологічного обладнання, значні капіталовкладення
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання стандартів ISO 9001, ASTM B209, EN 485

Вивчено та визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Підвищення ефективності та надійності автомобільних двигунів.	Виробники автомобілів, компанії з ремонту та технічного обслуговування автомобілів.	Виробники зосереджені на довгостроковій діяльності, сервісні компанії – на швидкому обслуговуванні.	Висока якість, надійність, довговічність матеріалів.

Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проекту. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1 Підвищення міцності алюмінієвих сплавів. 2. Зменшення ваги автомобільних двигунів, що сприяє економії пального. 3. Збільшення ресурсу двигуна завдяки покращеній термічній обробці. 4. Можливість утилізації старих двигунів з наступним перевикористанням матеріалів. 5. Зростання конкурентоспроможності на ринку автомобільних компонентів.	1. Висока вартість нового обладнання та технологій. 2. Необхідність в кваліфікованих фахівцях для управління процесами. 3. Потенційні технічні складнощі при впровадженні нових методів. 4. Залежність від постачальників високоякісної сировини. 5. Витрати на дослідження та розробку.
Можливості:	Загрози:
1 Розширення ринку за рахунок використання інноваційних технологій. 2. Створення партнерств з автомобільними виробниками. 3. Вхід на нові ринки, де висока вимога до екологічності та ефективності автотранспорту. 4. Приваблення інвестицій через демонстрацію успіхів у покращенні продукції. 5. Можливість отримати урядові субсидії та гранти на наукові дослідження.	1. Швидкі зміни у технологіях можуть зробити нові методи застарілими. 2. Висока конкуренція з боку великих автомобільних корпорацій. 3. Економічні негаразди, що можуть обмежити інвестиції в нові технології. 4. Законодавчі зміни, які можуть вплинути на виробництво або використання алюмінієвих сплавів. 5. Ризик неприйняття ринком нових технологічних рішень.

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Виробники автомобілів з високими вимогами до ефективності та екологічності двигунів	Висока	70%	Середня до високої, особливо серед виробників преміум класу.	Модератна, потрібні значні інвестиції в технології та маркетинг.
Компанії, що спеціалізуються на виробництві компонентів для спортивних та високопродуктивних автомобілів	Висока	50%		
Підприємства, які виробляють обладнання для переробки та утилізації металів.	Висока	40%		

Було проведено ідентифікацію осіб, які зацікавлені у проекті, їх пріоритетизацію, а також створено Карту стейкхолдерів. Ця карта служить для візуалізації взаємодій між різними стейкхолдерами. На карті виділені три концентричні зони, в яких представлені всі особи, що виявляють інтерес до інноваційного проекту. Кожна з цих зон демонструє рівень впливу ініціатора

проекту на зацікавлені сторони. Внутрішня зона відображає повноваження та відповідальність ініціатора. Особи з цієї зони безпосередньо підпорядковуються ініціатору, що дає змогу використовувати прості методи управління проектом (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

5.3 Техніко-економічні розрахунки

Мета даного розділу полягає в обґрунтуванні доцільності використання вдосконалених методів термічної обробки для алюмінієвих сплавів у виробництві автомобільних двигунів. У таблиці 5.6 наведені техніко-економічні дані, які детально висвітлюють характеристики виробів, включаючи якісні параметри, вартість виробництва, термін служби та інші ключові аспекти. Ці дані є основою для обґрунтування ефективності впровадження новітніх технологій

термічної обробки, що можуть позитивно впливати на якість та довговічність двигунів, а також на економічні показники виробництва.

Аналізуючи техніко-економічні дані, представлені в таблиці 5.6, можна визначити позитивний вплив застосування вдосконалених методів термічної обробки на ключові показники продукції. Наприклад, підвищення міцності та стійкості до зношування алюмінієвих компонентів двигунів може призвести до збільшення їх терміну служби, що, в свою чергу, може зменшити витрати на обслуговування та заміну.

Застосування вдосконалених технологій термічної обробки також впливає на економічні параметри виробництва, такі як витрати на енергію та загальні виробничі витрати. Детальне вивчення та аналіз цих даних дозволяє зробити висновок про доцільність та ефективність впровадження новітніх технологій для покращення якості та конкурентоспроможності автомобільних двигунів.

Таблиця 5.6 – Техніко-економічні показники виробів

Показник	Базова технологія	Нова технологія
1. Головка циліндрів	AK7 (AL9)	AK7 (AL9)
2. Технологія зміцнення	Гомогенізаційний відпал 300 ± 10 °C, 2-4 год. з піччю, гартування 535 ± 5 °C, 4-6 год. вода, старіння 230 ± 5 °C, 3-4 год. повітря.	Гартування 540 ± 5 °C, 6-7 год. вода, старіння 175 ± 5 °C, 6-7 год. повітря.
3. Програма випуску, т	40	40

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-

заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва. Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Вартість основних матеріалів при термічній обробці

Найменування операції ТО	Тривалість операції, год.	Потужність печі, кВт	Вартість, грн (за тарифом 5,58 грн/ кВт)
Базова технологія			
1.Гомогенізаційний відпал	3	4	66,96
2. Гартування	5	25	697,5
3. Старіння	3,5	21,5	419,9
Разом	11,5		1184,4
Нова технологія			
1. Гартування	6,5	25	906,75
2. Старіння	6,5	6	217,62
Разом	13		1124,37

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, п-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Базова технологія				
1.Гомогенізаційний відпал	3	4	45	135
2. Гартування	5	4	45	225
3. Старіння	3,5	3	39	136,5
Разом				496,5
Нова технологія				
1. Гартування	6,5	4	45	292,5
2. Старіння	6,5	3	39	253,5
Разом				545

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи.

Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_{\text{д}}}{100} = 496,5 \times \frac{40}{100} = 198,6 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_{\text{д}}}{100} = 545 \times \frac{40}{100} = 218,4 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де $K_{\text{д}}$ – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи є формою перерозподілу доходів, призначеною для фінансування суспільних потреб. Ці відрахування розраховуються відповідно до чинного законодавства і становлять 22% від фонду оплати праці. Премії з прибутку складають 50% від основної заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою:

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} = (496,5 + 198,6 + 248,3) \times \frac{22}{100} = 207,55 \text{ грн} \text{ —}$$

для базової технології

$$ВС = (ЗО + ЗД + ПП) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} = (545 + 218 + 273) \times \frac{22}{100} = 228 \text{ грн} \text{ — для нової}$$

технології

де ПП – премії з прибутку, грн;

$K_{\text{вс}}$ – % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати складаються з витрат на утримання та експлуатацію обладнання, цехових витрат і виробничих послуг. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання включають технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів,

заробітну плату допоміжного персоналу та інші витрати. Цехові витрати охоплюють витрати на поточний ремонт та амортизацію будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші відповідні витрати.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 496,5 \times \frac{400}{100} = 1986 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100} = 545 \times \frac{400}{100} = 2180 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де α – % загально виробничих витрат.

Вищезазначені витрати формують виробничу собівартість.

Адміністративні витрати включають витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також з утриманням і експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, заходи з охорони праці та техніки безпеки персоналу та інші витрати. Адміністративні витрати в середньому становлять 400% від основної заробітної плати основних виробничих робітників і розраховуються за формулою:

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100} = 496,5 \times \frac{400}{100} = 1986 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100} = 545 \times \frac{400}{100} = 2180 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де β – % адміністративних витрат.

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$BЗ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 4874,65 \times \frac{2}{100} = 97,5 \text{ грн} \text{ — для базової технології}$$

$$BЗ = C_{\text{в}} \cdot \frac{\gamma}{100} = 6475,77 \times \frac{2}{100} = 129,5 \text{ грн} \text{ — для нової технології}$$

де $C_{\text{в}}$ – собівартість виробнича, грн;

γ – % витрат на збут.

Калькуляція собівартості і визначення ціни термічної обробки, представлені в табл. 5.9, є ключовим етапом у формуванні економічної стратегії виробництва. Аналіз цих показників дозволяє детально зрозуміти витрати на різних етапах технологічного процесу, від використання сировини до отримання готового продукту. Ці витрати включають енергетичні затрати, трудові витрати, амортизацію обладнання та інші фактори, що впливають на собівартість.

Зазначена таблиця також слугує важливим інструментом для визначення оптимальної цінової політики як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Додатковий аналіз ціноутворення допомагає врахувати конкурентоспроможність продукції на ринку, що реагує на зміни у витратах та попиті на термічну обробку. Це також визначає стратегію позиціонування виробника на ринку послуг термічної обробки.

Таблиця 5.9 – Калькуляція собівартості і ціни термічної обробки

Статті витрат	Сума, грн (для базової технології)	Сума, грн (для нової технології)
1	2	3
1. Матеріали на термічну обробку	1184,4	1124,37
2. Основна заробітна плата основних виробничих робітників	496,5	545
3. Додаткова заробітна плата виробничих робітників	198,6	218,4
4. Відрахування на соціальні заходи	207,55	228
5. Загальновиробничі витрати	1986	2180
6. Адміністративні витрати	1986	2180
7. Собівартість виробнича	4874,65	6475,77
8. Витрати на збут	97,5	129,5

Економічний ефект від впровадження нової технології термообробки розраховується за формулою:

$$E = C_{\text{б}} \times K - C_{\text{н}} = (4874,65 \times 1,5) - 6475,77 = 836,2 \text{ грн}$$

де $C_{\text{б}}$ – собівартість базової технології;

$C_{\text{н}}$ – собівартість нової технології;

K – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу = 1,5.

Таким чином, за рахунок використання нової технології термічної обробки вдалося збільшити експлуатаційний ресурс головки циліндру у 1,5 рази в порівнянні із базовою технологією. Це пояснюється тим, що коефіцієнт експлуатаційного ресурсу залежить від міцності та стійкості, яка в свою чергу залежить від розміру зерен та розташування евтектичної складової. Для подрібнення евтектичної фази в новій технології застосовують термічну обробку, яка полягає у збільшенні часу обробки та зменшенню температур штучного старіння. Внаслідок покращення механічних властивостей алюмінієвого ливарного сплаву АК7 (АЛ9) шляхом вдосконалення технології термічної обробки було отримано економічний ефект 836,2 грн на 1т продукції.

ВИСНОВКИ

Під час експлуатації автомобілів робочі поверхні більшості їхніх деталей піддаються зношенню під впливом сил тертя, корозійних процесів та інших чинників. Крім того, багато деталей зазнають значних динамічних навантажень, які виникають через згорання газів у камері згорання циліндрів двигунів, дію інерційних сил, порушення співвісності сполучених агрегатів, механізмів і деталей, а також через частотні коливання та інші причини. Також для підвищення ККД автомобілів важливим є зменшення ваги, тому, через більш низьку густину матеріалу порівняно з чавуном, який зазвичай використовували для виробництва деталей двигуна внутрішнього згорання, використовують алюмінієві сплави. Через досить складну конфігурацію деталей для їх виготовлення використовують ливарні алюмінієві сплави.

В даній дипломній роботі було розглянуто технологію термічної обробки головки циліндрів, виготовленої зі сплаву АК7 (АЛ9, 356). Було запропоновано вдосконалений режим термічної обробки, який полягає у гомогенізації, яку поєднували із гартуванням за 540 °C з витримкою протягом 6-7 годин, що забезпечило повне розчинення фази Mg_2Si , часткове розчинення Si і гомогенізацію твердого розчину, а також призвело до подрібнення та сфероїдизації частинок евтектичного кремнію. Далі проводили старіння за температури 175 °C і тривалістю 6-7 годин. Запропонований режим термічної обробки підвищує міцність литого сплаву АК7 на 10-12 % порівняно зі штатним режимом термічної обробки, а також забезпечує відносно видовження на досить високому рівні, що відповідає вимогам за механічними властивостями, що висуваються до деталей головок циліндра двигунів автомобілів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.1. розробка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин // За ред. Проф. А.П. Марченка та засл. Діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків, Прапор, 2004. – 384 с.
2. Тимченко І.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Муждобаєв М.Р. Автомобільні двигуни // За ред. І.І. Тимченка. – Харків. Основа, 1995. – 464 с.
3. Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications. ред. Z. Ahmad // InTech. – 2012. <https://doi.org/10.5772/3354>.
4. Top 10 Uses of Aluminium in the Industry Today - Materials and Engineering Resources – Matmatch. Materials and Engineering Resources - Matmatch - Get the latest in materials science and engineering news, educational content and material use cases. <https://matmatch.com/blog/top-10-uses-of-aluminium-in-the-industry-today/>.
5. O. Securities. "High-end aluminum materials: taking the east wind of new energy, the demand has entered an explosive period," https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202108041508026499_1.pdf?1628096117000.pdf.
6. Varshney D, Kumar K. Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization // Ain Shams Engineering Journal. – 2021, 12(1). – 1143-1152.
7. Zhang J, Song B, Wei Q, et al. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends // Journal of Materials Science & Technology. – 2019, 35(2). – 270-284.
8. Hu Zuqi. Research on fatigue behavior and corrosion properties of high-strength and toughness die-casting Al-Mg-Si-Mn alloy // Huazhong University of Science and Technology. – 2014.
9. Nash P, Singleton M F, Murray J L. ASM Handbook-Volume 03-Alloy Phase Diagrams. – 1992.

10. Yamagata H, Kasprzak W, Aniolek M, et al. The effect of average cooling rates on the microstructure of the Al–20% Si high pressure die casting alloy used for monolithic cylinder blocks // *Journal of materials processing technology*. – 2008, 203(1-3). – 333-341.
11. Kasprzak W, Sokolowski J H, Yamagata H, et al. Energy efficient heat treatment for linerless hypereutectic Al-Si engine blocks made using vacuum HPDC process // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2011, 20(1). – 120-132.
12. ASTM B85-03, Standard Specification for Aluminum-Alloy Die Castings, ASTM International // West Conshohocken, PA. – 2003, www.astm.org.
13. Mondolfo L.F. Aluminum Alloys: Structure and Properties // Elsevier. – 2013. – 982 p.
14. Hsu C H. Process Performance Analysis and Improvement for the Manufacture of 6063 Aluminum Alloy // *Metals*. – 2020, 10(5). – 605.
15. Embury J.D., Lloyd D.J., and Ramachandran T.R. Strengthening mechanisms in aluminum alloys // *Treatise on Materials Science & Technology*. – 1989, Vol. 31. Elsevier. – 579-601.
16. Kostryzhev AG. Strengthening Mechanisms in Metallic Materials // *Metals*. – 2021; 11(7). – 1134. <https://doi.org/10.3390/met11071134>
17. Ning Kangqi, Peng Beishan, Sheng Zhijing, et al. Strengthening mechanism of high-strength aluminum alloys // *Journal of Shaoyang University: Natural Science Edition*. – 2012, 9(4). – Pp. 46-50.
18. Mahmoud M. Tash, Samuel F. H., Alkahtani Saleh. Machinability of Heat-Treated 356 and 319 Aluminum Alloys: Methodology for Data Processing and Calculation of Drilling Force and Moment // *Advanced Materials Research* 396. – 2012. – Pp. 1008-1022. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.396-398.1008>
19. Gebril M. A., Omar M. Z., Mohamed I. F., Othman N. K., Irfan O. M. Combining heat treatment and high-pressure torsion to enhance the hardness and

corrosion resistance of A356 alloy // Metals. – 2022. 12(5). – Pp. 853.
<https://doi.org/10.3390/met12050853>

20. Evangelia Georgantzia, Gkantou Michaela, Kamaris George S. Aluminium alloys as structural material: A review of research // Engineering Structures 227, 2021. – 111372. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111372>

21. Miller W.S., et al. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry // Materials Science and Engineering: A 280.1. 2000. Pp. 37-49.
[https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(99\)00653-X](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00653-X)

22. Hirsch Jürgen. Aluminium Alloys for Automotive Application // Materials Science Forum. 1997, Vol. 242. – Pp. 33-50.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.242.33>

23. Hirsch Jürgen, Skrotzki Birgit, Gottstein Günter. Aluminum Alloys: The Physical and Mechanical Properties // Proceedings of the 11th International Conference on Aluminum Alloys, 22-26 Sep. 2008. – Aachen, Germany. – 2425 p.

24. Конспект лекцій з дисципліни «Методи структурного аналізу матеріалів» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної і заочної форм навчання / Укл. О.А. Глотка, Л.П. Степанова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 90 с.

25. Ruska E. The Early Development of Electron Lenses and Electron Microscopy. – Hirzel, Stuttgart, 1980. – 23p.

26. ДСТУ EN ISO 6892-1:2022. Металеві матеріали. Випробування на розтягування. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (EN ISO 6892-1:2019, IDT; ISO 6892-1:2019, IDT) [Текст]. Прийнято та надано чинності 2022-12-28. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 75 с.

27. Hirsch J., Skrotzki B., Gottstein G. (Eds.). Aluminium alloys: the physical and mechanical properties (Vol. 1) // John Wiley & Sons. – 2008. – 2383 p.

28. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України,

2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

29. Про охорону праці [Електронний ресурс] – Чинний від 1992-10-14. : станом на 20.01.2018 р.–К.:ВРУ України,1998.– URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).

30. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [Текст] : ДСТУ Б В.2.5-82:2016. – На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України).

31. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

32. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

33. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми).

34. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми).

35. Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України).

36. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки).

37. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір [Текст] : ДСТУ ISO 6309:2007. – На заміну ГОСТ 12.4.026-76 в частині пунктів 1.1, 1.2, 1.4, 1.6 таблиці 5, пунктів 2.1, 2.2 таблиці 6, пунктів 4.1-4.11 таблиці 8; знаків 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.1, 2.2, 4.1-4.11 додатка 3 ; чинний від 2007-10-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 9 с. – (Державний Стандарт України).

38. Планування і забудова територій [Текст] : ДБН Б.2.2-12:2018 – На заміну ДБН 360-92** ; ДБН Б.2.4-1-94 ; ДБН Б.2.4-3-95 ; ДБН Б.2.4-4-97 ; ДБН Б.1-2-95 ; СНиП II-89-80 ; чинний від 2018-09-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 179 с. – (Державні будівельні норми).

ДОДАТОК А