

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, факультету)

фізичного матеріалознавства

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Карбідотворення при відпуску цементованої сталі 13ХЗНВМ2ФА
та його вплив на властивості шару»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ІФ-218м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство
Палубінський О.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник Лазечний І.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Шмирко В.І.
(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2019 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний
 Кафедра фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 132 Матеріалознавство
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ФМ
Ольшанецький В.Ю.
 « 17 » 12 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Палубінського Олександра Євгенійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Карбідоутворення при відпуску цементованої сталі 13Х3НВМ2ФА
та його вплив на властивості шару

керівник проекту (роботи) Лазечний Іван Миколайович, к.т.н., доц.,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 13 » листопада 20 року № 388

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

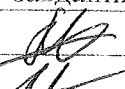
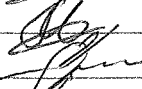
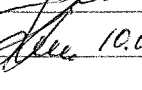
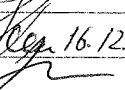
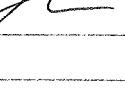
3. Вихідні дані до проекту (роботи) умови експлуатації зубчастих коліс ГТД, вимоги до
матеріалів цих виробів, сучасний стан в забезпеченні цих вимог. Хімічний склад сталі
13Х3НВМ2ФА, режим хіміко-термічної обробки. Задача – дослідити вплив вхідної перед
відпуском структури на процеси карбідоутворення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Науково-дослідна частина (сучасний стан досліджуваної задачі: описання використаних
методів дослідження, їх результатів та їх аналіз). Конструкторська частина (розрахунки та
модернізація печі серії СШЦМ з метою підвищення її температури експлуатації). Економічна
частина (техніко-економічне обґрунтування доцільності дослідження). Охорона праці (розробка
заходів з техніки безпеки).

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

1. Графік ХТО та хімічний склад зразків із сталі 13Х3НВМ2ФА. 2. Розподіл легувальних елементів в карбідній фазі
цементованої сталі 13Х3НВМ2ФА. 3. Дилатограми відпуску цементованих зразків із сталі 13Х3НВМ2ФА. 4. Зміна
твердості цементованих поверхонь по відпускам із сталей 13Х3НВМ2ФА, 16Х3НВФМБ, 30Р6М5. 5. Реконструйована
під СШЦМ-6.12/(9,5;10,5). 6. Висновки і рекомендації.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1	Лазечний І.М., к.т.н., доц.		
2	Лазечний І.М., к.т.н., доц.		
3	Нестеров О.В., к.т.н., доц.		
4	Круглікова В.В., к.е.н., доц.		
Нормо-контроль	Ткач Д.В., к.т.н.		

7. Дата видачі завдання « 08 » 10 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Відпуск та карбідотворення, а також вплив легування на ці процеси	14.10.19	
2	Матеріал та методика дослідження	16.10.19	
3	Результати експериментів та їх аналіз	21.10.19	
4	Заміна матеріалу муфелю	22.10.19	
5	Розрахунок теплових потоків через футеровку	25.10.19	
6	Розрахунок нагрівачів	28.10.19	
7	Аналіз потенційних небезпек	30.10.19	
8	Заходи забезпечення безпеки	04.11.19	
9	Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці	06.11.19	
10	Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	08.11.19	
11	Ринок теплостійких цементацийних сталей	12.11.19	
12	Техніко-економічні розрахунки	15.11.19	
13	Графічна частина	22.11.19	

Студент(ка)


(підпис)

Палубінський О.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Лазечний І.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ:71с., 12 таблиць, 6 рисунків, 27 джерел, 1 додаток

Об'єкт дослідження — цементовна сталь 13ХЗНВМ2ФА для виготовлення високонавантажених зубчатих коліс газотурбінних двигунів.

Мета роботи — встановити вплив вхідної перед відпуском структури цементованої та загартованої сталі 13ХЗНВМ2ФА при її відпуску на вторинну твердість на процеси утворення карбідів.

Методи дослідження — дилатометричний, металографічний, рентгеноструктурний, дюрOMETричний методи, диференційний фазовий аналіз та електронна мікроскопія.

Встановлено, що вхідна структура цементованої та обробленої на вторинну твердість сталі 13ХЗНВМ2ФА чинить суттєвий вплив на процеси карбідоутворення (температури початку виділення карбідів та які саме карбіди виділяються). Цей вплив притаманний також іншим сталям, що можуть оброблюватися на вторинну твердість.

ЦЕМЕНТАЦІЯ, ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ, СТАЛЬ 13ХЗНВМ2ФА, ВТОРИННА ТВЕРДІСТЬ, КАРБІДИ, КАРБІДОУТВОРЕННЯ, ЗАЛИШКОВИЙ АУСТЕНИТ, ЗУБЧАТІ КОЛЕСА ГТД

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Науково-дослідна частина	7
1.1 Відпуск та карбідоутворення, а також вплив легування на ці процеси	7
1.1.1 Вплив легувальних елементів	10
1.1.2 Залишковий аустеніт	16
1.1.3 Вплив залишкового аустеніту на властивості сталей	17
1.1.4 Вплив хрому на інтенсивність карбідоутворення при відпуску	19
1.1.5 Вплив відпуску на дисперсійне твердіння	19
1.1.6 Модифікація режиму відпуску швидкорізальних сталей	20
1.2 Матеріал та методика дослідження	20
1.3 Результати експериментів та їх аналіз	22
1.4 Висновки	29
2 Конструкторська частина	30
2.1 Заміна матеріалу муфелю	30
2.2 Розрахунок теплових потоків через футеровку	30
2.2.1 Прибуткові статті	30
2.2.2 Витратні статті	31
2.3 Розрахунок нагрівачів	35
2.4 Висновки	37
3 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	38
3.1 Аналіз потенційних небезпек	38
3.2 Заходи забезпечення безпеки	39
3.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці	49
3.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	51
4 Економічна частина	53
4.1 Ринок теплостійких цементацийних сталей	53
4.2 Техніко-економічні розрахунки	55
4.2.1 Характеристика продукції	55
4.2.2 Економічна ефективність	59
4.3 Висновки	61
Висновки	62
Перелік використаних посилань	63
Додаток А Ілюстративний матеріал	66

ВСТУП

Цементация та наступна обробка цементованих сталей на первинну твердість досить добре досліджена. Значний вплив в її вивчення внесли наступні вчені: Алексеєнко М. Ф., Попов В. С., Белякова В. І., Шопов І. І., Банас І. П., Натапов Б. С. та інші.

Значно менше уваги приділено ХТО конструкційних цементованих сталей на вторинну твердість. До таких сталей можна віднести 16ХЗНВФМБ, 13ХЗНВМ2ФА.

Сталь 13ХЗНВМ2ФА [1] було розроблено як конструкційну цементовану сталь з високою теплостійкістю призначену для виготовлення важко навантажених зубчатих коліс (ЗК ГТД). Відомо, що вироби із неї можна піддавати двом режимам хіміко-термічної обробки (ХТО) [2]:

1) На первинну твердість; в цьому випадку цементация здійснюється за класичною технологією, а саме цементация при 930°C, високотемпературний відпуск, гартування, обробка холодом та наступний відпуск при 350°C. Оброблені подібним чином деталі допускають максимальну температуру експлуатації 300°C.

2) На вторинну твердість; в цьому випадку цементация відбувається при 1030°C, а наступний відпуск при 530°C. Зубчаті колеса оброблені за таким режимом можуть експлуатуватись при температурах до 480°C.

До особливостей обробки сталі 13ХЗНВМ2ФА на вторинну твердість необхідно віднести:

1) газова цементация виконується при температурах 1030°C, при цьому зберігається дрібне аустенітне зерно 8...9 номерів (завдяки л.е. та важкорозчинним карбїдам);

2) середня швидкість цементации складає приблизно 0,4 мм/год;

3) загартування виконується безпосередньо від 1030°C без попереднього зменшення температури виробів в печі, що зберігає високу легованість аустеніту;

4) під загальним впливом температури гартування, вмісту л.е. та вуглецю після швидкого охолодження до кімнатної температури в цементованому шарі сумарною глибиною 1,0 мм аустенітна структура зберігається до 0,40...0,45 мм, а твердість поверхні складає HRC 35...40.

Оскільки при остаточній механічній обробці ЗК ГТД вилучається шар товщиною до 0,15 мм, то властивості сталі утворюються при п'яти відпусках 530° С із вхідного аустенітного стану.

1. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

1.1 Відпуск та карбідоутворення, а також вплив легування на ці процеси

Структура загартованої сталі може складатися із мартенситу, залишкового аустеніту та карбідів, що не розчинилися.

Мартенситна структура характеризується високою густиною дислокацій, наявністю двійників, малою величиною блоків, значними пружними викривленнями. Розподіл атомів вуглецю в ґратці може не відповідати найбільш вигідному їх положенню. Таким чином, загартована сталь є термодинамічно нестійкою і в ній можуть самочинно протікати процеси, що прагнуть забезпечити стабільність. Можливість переходу до більш стабільного стану визначається рухомістю атомів вуглецю та матриці. Чим вище температура нагріву загартованої сталі, тим більш рухомими є атоми вуглецю та матриці, тим більша імовірність переходу до більш стабільного стану. В процесі відпуску загартованої сталі може відбуватися перерозподіл атомів вуглецю, передвиділення, виділення проміжних метастабільних карбідів, зниження внутрішніх напружень, утворення та коагуляція цементиту, утворення спеціальних карбідів, розпад залишкового аустеніту, зміна тонкої структури та процес рекристалізації α -заліза [3].

Характер структурних змін при відпуску визначається температурою та тривалістю відпуску. Витримка при кімнатній температурі може спричинити перерозподіл атомів вуглецю в ґратці. Найбільш стійкому положенню вуглецю в ґратці заліза відповідає впорядкований розподіл атомів вуглецю в одній підрешітці октаедричного міжвузля. Перерозподіл атомів вуглецю в одній підґратці відбувається повільніше ніж перерозподіл по підґраткам, оскільки є необхідною дифузія на декілька міжатомних відстаней. Це відбувається протягом декількох хвилин. Процес переміщення атомів вуглецю при кімнатній температурі завершується через 1...2 години. При кімнатній температурі атоми вуглецю можуть утворювати в мартенситі кластери вздовж площин [100] або [112]. Нагрів загартованої сталі підвищує дифузійну рухомість атомів, тому спричиняє різні структурні зміни. До них відносять наступні:

1) Розпад мартенситу, що полягає у виділенні вуглецю із α -решітки та відповідна зміна періоду ґратки. У вуглецевій сталі з вмістом вуглецю 0,8% цей процес найбільш інтенсивно відбувається при температурі 100...200°C з

утворенням метастабільних ε -карбідів та супроводжується зменшенням об'єму.

2) Перетворення залишкового аустеніту, яке відбувається у вуглецевих сталях при температурі 250...300°C та супроводжується збільшенням об'єму.

3) Зміна стану карбідної фази, часткова зміна форми та розмірів карбідів та їх взаємодія з матрицею.

4) Подальший процес коагуляції та сфероїдизації карбідної фази та зміна стану α -фази, що пов'язано із зменшенням об'єму.

5) Процеси звороту та рекристалізації.

В легованих сталях із значною кількістю карбідоутворювачів при відпуску можуть виділятися спеціальні карбіди. Відповідно до змін об'єму, що відбувається при відпуску вуглецевих сталей, відпуск поділяють на низький (структура – відпущений мартенсит); середній (структура – тростит відпуску); високий (структура – сорбіт відпуску).

Перше перетворення полягає в частковому розпаді мартенситу та утворенні метастабільного ε -карбіду (Fe_xC), що має гексагональну ґратку. При виділенні вказаного карбіду, мартенсит, що розташований поблизу, збіднюється вуглецем, а той, що більш віддалений, зберігає вхідну концентрацію вуглецю. Одночасно з утворенням карбідів з'являються збагачені вуглецем області передвиділень з ОЦК-решіткою, проміжною між α -мартенситом та ε -карбідом. Розпад мартенситу на першій стадії вважають двофазним. В сталях із вмістом вуглецю менше 0,2% не спостерігається виділення метастабільного карбіду.

Перше перетворення характеризується зменшенням об'єму, що добре помітно на дилатометричних кривих, зменшенні ступеню тетрагональності, зміні фізичних властивостей.

Збільшення вмісту мартенситу, що розпався, відбувається за рахунок збільшення числа частинок ε -карбіду з утворенням навколо них ділянок α -твердого розчину, що збіднені вуглецем. Ріст частинок ε -карбіду не спостерігаються через низьку швидкість дифузії. Швидкість процесу при першому перетворенні характеризується часом напіврозпаду, тобто часом, що необхідний для розпаду половини вхідного мартенситу з високою концентрацією вуглецю в мартенсит із меншим вмістом вуглецю.

Швидкість розпаду мартенситу визначається швидкістю дифузії вуглецю. Ступінь розпаду α -кристалів тим більше, чим вище температура та більше час витримки. Найбільша швидкість виділення вуглецю з α -розчину спостерігається на початку витримки при заданій температурі, а потім швидкість розпаду інтенсивно знижується. Швидкість виділення вуглецю зі збільшенням температури тим вище, чим більший вхідний вміст вуглецю в

мартенситі. При температурі 250...300°C вміст вуглецю в α -розчині однаковий (приблизно 0,2%) та практично не залежить від вхідного вмісту.

Після завершення першої стадії формується умовно стійка рівновага дуже дрібних частинок, що виділилися з навколишніми, збідненими вуглецем, ділянками α -мартенситу. При підвищенні температури, коли швидкість дифузії атомів втілення стає достатньою для росту частинок, починається ріст одних частинок та розчинення інших. Відбувається подальше виділення вуглецю з мартенситу. Його вміст після відпуску при 300°C протягом 1 години сягає 0,1%. При цьому перетворенні збільшуються розміри блоків та зменшується коерцитивна сила.

В результаті першої стадії розпаду утворюється структура відпущеного мартенситу. Розпад мартенситу при першому перетворенні виявляють появою потемніння голок мартенситу на мікроструктурі.

Друге перетворення. В загартованих сталях із залишковим аустенітом при нагріванні поряд із розпадом мартенситу відбувається перетворення залишкового аустеніту: у вуглецевих сталях при температурі 200...300°C, в легованих сталях – при більш високих температурах.

Перетворення залишкового аустеніту при температурі 200...300°C відбувається по бейнітному (проміжному) механізму. Перетворення аустеніту, при значній його кількості в загартованому стані, супроводжується підвищенням твердості та границі міцності. Паралельно з другим перетворенням відбувається розпад мартенситу.

Максимальна величина напружень другого роду зменшується в міру підвищення температури відпуску. Це зменшення обумовлюється порушенням когерентності кристалічних ґраток пересиченого α -твердого розчину та карбіду. Його швидкість тим більше, чим вище температура відпуску. Підвищення температури сприяє збільшенню імовірності сегрегації карбіду, а отже й зменшенню когерентних напружень та підвищення швидкості вирівнювання концентрації вуглецю по об'єму матриці.

Третє перетворення у вуглецевих сталях відбувається при температурі 300...400°C. На цьому етапі відбувається утворення цементиту або перетворення проміжного карбіду в цементит, або виділення пересиченого α -твердого розчину при одночасному розчиненні проміжного карбіду. Поряд з тим порушується когерентність між ϵ -карбідом та α -розчином. Зменшуються напруження першого роду. На третій стадії відпуску спостерігається сфероїдизація частинок цементиту та їх незначний ріст. Структура складається із суміші цементиту та кристалів α -розчину з малим вмістом вуглецю. Таку структуру називають троститом відпуску.

Коагуляція. Процес коагуляції цементиту починається при температурі 350...400°C та триває до критичної точки A_{c1} . З підвищенням температури відпуску швидкість коагуляції цементитних частинок збільшується. Нагрів в цьому інтервалі супроводжується зменшенням кількості малих частинок та збільшенням крупних. Додавання легувальних елементів змінює швидкість коагуляції карбідів

Коагуляція карбідів пов'язана з дифузією вуглецю в фериті, включає в себе дисоціацію поглинених карбідних частинок, самодифузію атомів заліза від границь зростаючих карбідів, що потребує притоку вакансій. Можливість дифузії вуглецю від малих частинок до крупних виникає внаслідок різної концентрації вуглецю в фериті біля дрібних та крупних частинок. Біля малих частинок карбідів концентрація вуглецю в фериті більше, ніж біля крупних. Під впливом цього градієнту концентрацій вуглець буде дифундувати від гострих кутів до тупих, від дрібних частинок до крупних.

Швидкість коагуляції визначається швидкістю розчинення карбідів, переміщенням та самодифузією атомів α -твердого розчину, а також швидкістю дифузії вуглецю в фериті, його різницею концентрацій в фериті біля малих та крупних частинок карбідів.

Зворот та рекристалізація. Процеси звороту в загартованій сталі спостерігаються при нагріванні вище 400°C, характеризуються утворенням мало кутових границь. Але переміщення дислокацій (отже й утворенню полігональної структури) затрудняється через наявність дисперсних частинок. При більш високих температурах, коли процес коагуляції забезпечує зменшення кількості карбідів, внаслідок міграції великокутових границь стає можливим процес рекристалізації. Замість мартенситу голчастої форми утворюється звичайний поліедричний ферит. Зникає мартенситна голчаста структура.

1.1.1 Вплив легувальних елементів

Хімічний склад промислових сталей окрім власне заліза та вуглецю містять велику кількість різних елементів, що додають свідомо, так і різні домішки, що потрапляють до складу сталі під час різних технологічних операцій. Оскільки відобразити фазовий стан такого багатокомпонентного сплаву неможливо, то для наближеного розуміння природи сплаву використовують подвійні діаграми залізо-легувальний елемент або залізо-домішка[4].

Залізо-марганець. Марганець є розкислювачем та десульфуратором. З цією метою його вводять майже до будь-якої сталі в кількості до 0,8%, при більшому вмісті його вважають легувальним елементом. Марганець має алотропні модифікації: Mn_{α} , Mn_{β} , Mn_{γ} , Mn_{δ} , до того ж Mn_{γ} необмежено розчиняється в Fe_{γ} . В звичайних сталях марганець повністю розчиняється в обох фазах – фериті та аустеніті.

Залізо-кремній. Кремній, як і марганець є розкислювачем, але більш сильним, тому значна його частина може бути присутньою в сталі у вигляді включень SiO_2 .

Залізо-сірка. Сірка практично не розчиняється в залізі в твердому стані, в промислових сталях присутня винятково у вигляді різних неметалічних включень – сульфідів MnS , FeS та інших. Залежно від модифікування включення сірки можуть бути пластинчастої та округлої форми, що суттєво відображається на механічних властивостях.

Залізо-фосфор. В тих кількостях, в яких фосфор зазвичай присутній в сталях він повністю розчиняється в α та γ модифікаціях. Сегрегація фосфору по границям зерен сприяє окрихченню.

Залізо-кисень. Кисень практично нерозчинний в залізі, утворює включення оксидів різної будови та складу, що негативно впливають на властивості сталі та знижують ударну в'язкість.

Залізо-азот. Азот в звичайних сталях утворює нітриди, які виділяються із збагаченого азотом фериту при охолодженні.

Залізо-водень. Водень може бути присутній в сталі в твердих розчинах (фериті та аустеніті) або накопичуватись в місцях несуцільностей. Водень сприяє утворенню флокенів, або інших несуцільностей, що знижують пластичність та в'язкість. Розчинність водню в залізі зменшується при зниженні температури і при температурах 300...200°C практично рівна нулю. Розчинність водню в α -залізі менша ніж γ -фазі. Також при зниженні температури зменшується інтенсивність виділення водню внаслідок зменшення швидкості дифузії.

Вміст домішок визначається досконалістю металургійного процесу виробництва. Чим менше домішок в сталі, тим вища її кошовність.

Залізо-нікель. Нікель має кубічну гранецентровану гратку з параметрами близькими до Fe_{γ} , що обумовлює можливість утворення між ними безперервного ряду твердих розчинів. Нікель знижує точку A_{c3} , при його вмісті понад 20%, перетворення γ в α відбувається по мартенситному механізму.

Залізо-хром. Хром має одну модифікацію, ізоморфну до α -Fe, тому між ними утворюється безперервний ряд твердих розчинів.

Залізо-молібден. Молібден утворює широку область гомогенності з Fe_α . Гранична розчинність зменшується із зниженням температури; γ -область існує в сплавах із вмістом до 3% Мо.

Залізо-вольфрам. В сплавах Fe-W з високим вмістом вольфраму можливе утворення інтерметалідів Fe_2W та Fe_3W_2 .

Залізо-ванадій. Дані елементи утворюють безперервний ряд твердих розчинів від Fe_α до V. При вмісті 1,5%V замикається γ -область. Також є можливим утворення нестійкої сполуки FeV.

Легувальні елементи суттєво впливають на процеси, що відбуваються при відпуску загартованої сталі. Вони мають малу дифузійну рухомість, а також зменшують дифузійну рухомість атомів заліза, вуглецю та дефектів кристалічної ґратки. Легувальні елементи суттєво змінюють фізичні та механічні властивості, підвищують температуру при якій відбувається знеміцнення. В загартованому стані атоми вуглецю можуть розміщуватись по різному, залежно від схеми легування тієї чи іншої сталі. При відпуску можуть відбуватись наступні процеси: перерозподіл вуглецю, зміна ступеню викривлення ґратки та міцності міжатомних зв'язків в ґратці. Легувальні елементи суттєво не впливають на процеси утворення проміжних карбідів та на збіднення навколо них ділянок α -мартенситу, тобто на процеси двофазного розпаду. Лише значний вміст нікелю може суттєво знизити час напіврозпаду. При низьких температурах карбіди містять незначну кількість легувальних елементів (на рівні середнього їх вмісту в сталі).

На першій стадії дифузія атомів легувальних елементів на процес утворення зародків карбідів впливає незначно, так як їх утворення відбувається раніше, ніж перерозподіл легувальних елементів.

На другу стадію розпаду мартенситу легувальні елементи можуть чинити суттєвий вплив, зберігаючи пересиченість α -мартенситу та затримуючи ріст частинок карбідів.

У вуглецевих сталях після відпуску при температурі 300°C тетрагональність α -мартенситу майже повністю зникає. При вмісті в сталі в α -розчині 2,0% молібдену температура розпаду підвищується на 100°C; при легуванні 1,9% ванадію та 1,4% титану – на 150°C; при сумісному легуванні хромом та вольфрамом – на 200°C. Кремній та кобальт значно затримують розпад α -розчину.

Легувальні елементи здійснюють значний вплив на процес коагуляції при температурах вище 450°C. В сталях з карбідоутворювачами при низьких та середніх температурах спочатку утворюється цементит, потім при високих температурах відбувається перерозподіл легувальних елементів між

цементитом та феритом. Карбідоутворювачі дифундують в карбіди, а некарбідоутворювачі – в ферит.

Для протікання процесу коагуляції необхідно, щоб розчинилися дрібні частинки. Але для цього є необхідним одночасне розчинення та дифузія легувальних елементів до частинок, що зростають. Саме це є одним із факторів, що затримують процес коагуляції.

При значному легуванні сталі карбідоутворювачами (Cr, W, V, Mo) можливим є утворення спеціальних карбідів (MC , M_7C_3 , M_2C , $M_{23}C_6$). Спеціальні карбіди можуть утворюватися як перебудовою легованого цементиту, так і виділятися безпосередньо з α -твердого розчину. Спеціальні карбіди більш дисперсні, ніж цементит, тому їх виділення є головною причиною явища вторинної твердості при відпуску.

Більшість легувальних елементів підвищують температурну область розпаду залишкового аустеніту до $500...600^\circ C$. При цьому можна спостерігати дві температурні області розпаду залишкового аустеніту: перлітна та бейнітна. У високолегованих сталях (швидкорізальних, високохромистих) розпад залишкового аустеніту відбувається не при температурі відпуску, а під час охолодження. Це пояснюється тим, що під час витримки при температурі відпуску відбувається виділення карбідів, в результаті знижується стійкість переохолодженого аустеніту та температура мартенситного перетворення. Тому при охолодженні розпад залишкового аустеніту відбувається під час охолодження до кімнатної температури. Продуктом розпаду є невідпущений мартенсит.

Для дослідження фазових рівноваг легованих сталей варто використовувати потрібні (Fe-C-л.е.) та більш складні системи, що містять два та більше легувальних елементів.

Легувальні елементи знижують евтектоїдну концентрацію (точка S рис.1.1) та змінюють температуру евтектоїдного перетворення в залежності від того, розширюють вони чи звужують γ -область в подвійних системах Fe-л.е. Легувальні елементи, що вносять до складу сталі, залежно від їх взаємодії з вуглецем поділяють на карбідоутворювачі та некарбідоутворювачі. До перших можна віднести елементи розташовані в періодичній системі лівіше заліза (рис.1.2). Правіше заліза розташовуються елементи, що не утворюють карбідів. І ті і інші легувальні елементи розчиняються в α - та γ -фазах, але вміст карбідоутворювачів в цих фазах менше, ніж середній їх вміст в сталі, бо певна їх кількість зв'язана з вуглецем.

Карбіди в легованих сталях є твердими розчинами на основі тієї чи іншої сполуки: Fe_3C , Mn_3C , Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, Mo_2C , W_2C , WC , TiC , VC , NbC , TaC , ZrC , TaC .

В легованих сталях можна виділити дві групи карбідів. Група 1: M_3C , M_{23}C_6 , M_7C_3 , M_6C ; група 2: MC , M_2C .

Карбіди першої групи мають складну кристалічну ґратку та при відповідному нагріванні досить добре розчиняються в аустеніті. Карбіди другої групи мають просту кристалічну ґратку, але розчиняються в аустеніті лише частково при дуже високих температурах.

Нагрівання легованих сталей призводить, при відповідній температурі (вище A_{c1}) до утворення аустеніту. Але в легованих сталях, що містять карбідоутворювачі, при достатньому вмісті вуглецю, є карбідна фаза, яка залежно від її природи частково або повністю переходить в γ -твердий розчин при більш високих температурах. Наявність одночасно з аустенітом карбідної фази (а також нітридів, карбонітридів, оксидів) затримує ріст зерна аустеніту.

Легувальні елементи суттєво змінюють кінетику та характер перетворення переохолодженого аустеніту, оскільки при легуванні можуть утворюватися нові фази, кінетика перетворення стає залежною від дифузійної рухомості атомів легувальних елементів, яка зазвичай менше ніж у заліза.

В більшості випадків легувальні елементи зсувають область мінімальної стійкості аустеніту в зоні перлітного перетворення вправо, тому зменшується критична швидкість охолодження при гартуванні, а також збільшується прогартовуваність. В багатьох легованих сталях області перлітного та бейнітного перетворень розділені. Легувальні елементи, як правило, прискорюють бейнітне перетворення. Такий різний вплив легувальних елементів на перлітне та бейнітне перетворення обумовлений тим, що для першого необхідна дифузія легувальних елементів для утворення відповідних карбідів, тоді як для бейнітного перетворення немає необхідності в дифузії, а також в бейніті вміст легувальних елементів в карбідах та матриці майже однаковий (на відміну від перліту).

Додавання легувальних елементів в сталь (за винятком кобальту) знижує температуру початку та кінця мартенситного перетворення, що відображається на кінетиці мартенситного перетворення та кількості залишкового аустеніту.

При зниженні мартенситної точки до 0°C та нижче в сталі не відбувається мартенситного перетворення, а гартування фіксує аустенітну структуру. Подібну сталь відносять до аустенітного класу.

Для розвитку перетворення при відпуску є необхідним дифузійне переміщення атомів легувальних елементів. Внаслідок цього легувальні елементи відповідно підвищують температурну границю вище наведених перетворень, але не чинять суттєвого впливу на перше перетворення, для розвитку якого необхідна лише дифузія атомів вуглецю.

При значному вмісті карбідоутворювачів, наприклад в швидкорізальних сталях, при відпуску утворюються спеціальні карбіди, але при температурах вище $500\dots 550^{\circ}\text{C}$.

При низькому відпуску, що відповідає перетворенню мартенситу, тетрагональність його ґратки зменшується за рахунок виділення ε -карбіду, який містить легувальні елементи в тій же кількості, що і у вхідному мартенситі. Друге перетворення, що пов'язане з утворенням бейніту та залишкового аустеніту, відсутнє, а третє – виражене слабо. Починаючи з температури 500°C , раніше утворений карбід цементитного типу розчиняється, а з α -твердого розчину виділяються леговані або спеціальні карбіди. Можливий також і інший спосіб утворення спеціальних карбідів, коли під впливом дифузії легувальних елементів в цементит, відбувається перебудова його ґратки. Структура такої сталі після відпуску при $500\dots 550^{\circ}\text{C}$ складається із α - та γ -твердих розчинів та спеціальних карбідів. Виділення карбідів з γ -фази починається дещо пізніше (вище 550°C), тоді збіднена вуглецем та легувальними елементами γ -фаза, хоч і зберігає при температурах $550\dots 650^{\circ}\text{C}$ високу стійкість, але при охолодженні перетворюється по мартенситному механізму (явище вторинного твердіння).

1.1.2 Залишковий аустеніт

Залишковий аустеніт зберігається в структурі загартованих сталей, що містять понад $0,4\dots 0,5\%\text{C}$, оскільки мартенситне перетворення в них не завершується при 20°C .

Кількість аустеніту залежить від структурного складу, отриманого при попередній аустенізації, тобто від температури гартування, умов охолодження та меншою мірою від величини зерна.

Стійкість залишкового аустеніту при відпуску залежить від його хімічного складу. Він майже повністю перетворюється в не теплостійких та

напівтеплостійких (містять 6...12%Cr) сталях в результаті нагрівання їх до 200...350°C та до 450...500°C, відповідно, а в теплостійких до 500...560°C [5].

Із вище сказаного слідує, що температури нагрівання при яких відбуваються перетворення аустеніту, розташовані вище температур інтенсивного розпаду мартенситу та зниження твердості в не теплостійких та більшості напівтеплостійких сталей, і навпаки, нижче цих температур у теплостійких сталей.

Отже, залишковий аустеніт: 1) зберігається майже повністю в структурі не теплостійких сталей та багатьох напівтеплостійких сталей, відпущених (з метою збереження високої твердості) при 150...200°C та може значно впливати на їх властивості; 2) майже не зберігається в теплостійких сталях, що оброблені на вторинну твердість.

1.1.3 Вплив залишкового аустеніту на властивості сталей

Аустеніт в загартованій (та меншою мірою у відпущеній) сталі не є повністю стабільним, а перетворюється з неоднаковою інтенсивністю з причин, що наведені нижче.

В результаті тривалої витримки при кімнатній температурі навіть при відсутності навантажень по всьому об'єму перетворюється дуже незначна частина (2...5%) аустеніту. В цих межах частка аустеніту, що перетворюється, тим більше, чим більше аустеніту в структурі. Окрім того вона залежить від складу аустеніту, наприклад, перетворення уповільнюється при підвищенні вмісту марганцю.

При охолодженні до температур нижче 0°C частка аустеніту, що перетворюється, значно більша, що в свою чергу створює умови для окрихчення сталей. Температури розвитку перетворення залежать від хімічного складу сталей. Так, при охолодженні до -60°C в інструментальних сталях перетворюється більшість залишкового аустеніту (до 80...90%). Витримка загартованої сталі при 20°C протягом 1 години та більше відпуск супроводжуються стабілізацією, що полягає в тому, що при наступному охолодженні до низьких температур перетворюється вже менша частка аустеніту. Деяка кількість перетворюється при повторному (багатократному) охолодженні нижче 0°C.

Роль залишкового аустеніту досить складна, а саме:

1) знижується твердість (на 0,5 HRC при його вмісті 6...8% та на 1...2 HRC – при 10...18%);

2) знижується стабільність розмірів, оскільки в процесі тривалої експлуатації відбувається самочинне перетворення аустеніту, особливо, якщо виріб при експлуатації нагрівається та охолоджується (навіть до температур, що не викликають зниження твердості);

3) знижується теплопровідність – в загартованій сталі аустеніт та мартенсит мають майже однаковий хімічний склад та майже однакову теплопровідність. Але у відпущеній сталі теплопровідність мартенситу (в результаті його часткового розпаду) суттєво вище ніж аустеніту;

4) знижується здатність до шліфування (при вмісті понад 10...12% аустеніту зростає імовірність утворення шліфувальних тріщин, а при вмісті понад 20...25% – чистота шліфованої поверхні значно погіршується);

5) дуже сильно знижується опір пластичній деформації; границі плинності та пружності знижуються пропорційно зростанню кількості залишкового аустеніту.

Наявність аустеніту в структурі підвищує в'язкість: аустеніт, що знаходиться в області зародження тріщини, як більш в'язка складова структури, запобігає її подальшому розвитку та підвищує роботу, необхідну для поширення тріщини. Цей вплив аустеніту пропорційний збільшенню його кількості (якщо при цьому не збільшується розмір зерна, що неминуче при підвищенні температури гартування).

Наявність аустеніту в структурі сприяє зниженню напружень, що виникають при гартуванні (оскільки менша частка аустеніту перетворюється), а також зменшує об'ємні перетворення (а отже й деформацію виробу при гартуванні).

Вплив залишкового аустеніту на зносостійкість досить різносторонній. Підвищення в'язкості при збільшенні кількості аустеніту знижує небезпеку викришування та сколювання робочої поверхні. Але підвищення кількості аустеніту супроводжується зниження опору пластичній деформації. Окрім того, перетворення деякої кількості аустеніту в поверхневому шарі під дією мікродеформації підвищує зносостійкість. Тому при оцінці впливу залишкового аустеніту на зносостійкість слід зважати на величину напружень, що виникають при експлуатації.

Вплив залишкового аустеніту в теплостійких сталях обмежується зміною технологічних властивостей. При підвищенні кількості аустеніту, якщо це не супроводжується ростом зерна, зменшуються термічні напруження та деформації при гартуванні.

Кількість аустеніту визначається температурою гартування та умовами охолодження. При збереженні постійної температури гартування залишкового аустеніту дещо більше у випадку витримки сталі вище $M_{\text{П}}$, ніж

при безперервному охолодженні. Ця витримка зумовлює стабілізацію, яка полягає у зменшенні частки аустеніту, що перетворюється при продовженні охолодження до кімнатної температури.

Подібна стабілізація не підвищує стійкість аустеніту проти наступного відпуску (наприклад, для швидкоріжучих сталей при 560°C); його перетворення протікає тією ж мірою, як і сталі, що гартувалася безперервно та мала менше аустеніту.

1.1.4 Вплив хрому на інтенсивність карбідоутворення при відпуску

В роботі [6] вивчалася питання прискорення процесів утворення спеціальних карбідів при збільшенні кількості карбідів в сталі.

На дослідних зразках сталей з різним вмістом хрому (0,67%, 1,37%, 4,6%) було встановлено, що в результаті карбідного перетворення $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_7\text{C}_3$ розміри цементитних частинок зменшуються, а в структурі сталі спостерігаються карбіди хрому. Ці карбіди з'являються тим пізніше, чим більший вміст хрому в сталі. Тобто, збільшення вмісту хрому затримує процес карбідоутворення при відпуску (розпад мартенситу, виділення цементиту та карбідну реакцію $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_7\text{C}_3$). В той же час при підвищенні вмісту хрому карбідна реакція $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_7\text{C}_3$ протікає більш повно; повністю зникає цементит та виділяється M_7C_3 . В сталі з 1,37%Cr при $\text{M}_3\text{C} \rightarrow \text{M}_7\text{C}_3$ частинки цементиту лише зменшуються в розмірах і в подальшому знову починають зростати одночасно з ростом M_7C_3 .

Також було встановлено, що якщо в структурі сталі після гартування присутні частинки карбідів хрому, що не розчинилися, то спеціальні карбіди виділяються тим інтенсивніше, чим більший вміст хрому в сталі. В той же час пригнічується перетворення цементиту в спеціальні карбіди хрому, оскільки ріст їх зародків є більш енергетично вигідним, ніж перетворення цементиту.

1.1.5 Вплив відпуску на дисперсійне твердіння

В роботі [7] вивчалася питання впливу відпуску на дисперсійне твердіння швидкорізальних сталей. Були досліджені зразки із сталі P18:

перша частина зразків відпускались при 560°C , друга – при $250\ldots 350^{\circ}\text{C}$, третя – при $580\ldots 610^{\circ}\text{C}$.

В цій роботі було встановлено, що відпуск при 350°C сприяє вирівнюванню кристалів цементиту, що виділилися, за розмірами та хімічним складом. При подальшому високотемпературному відпуску вони знову розчиняються та стають джерелами вуглецю для утворення карбідів легувальних елементів. Їх виділення зумовлює дисперсійне твердіння сталі, одночасно зменшується її ударна в'язкість. При відпуску 350°C розміри та склад кристалів цементиту вирівнюються а метастабільна рівновага зміщується до більш високих температур. Цим пояснюється підвищена теплостійкість та ударна в'язкість швидкорізальних сталей, що попередньо відпущені при низьких температурах. Найбільш чутливою до режиму відпуску є ударна в'язкість. Границя міцності на згин майже не відрізняється.

Також на основі вище сказано можна зробити висновок, що для сталей, які експлуатуються тривалий час при високих температурах, перший відпуск варто проводити при $300\ldots 350^{\circ}\text{C}$.

1.1.6 Модифікація режиму відпуску швидкорізальних сталей

В роботі [8] вивчалось питання щодо заміни звичайного режиму відпуску (3-кратний при 560°C) інструментів із швидкорізальних сталей на 2-кратний відпуск.

Після випробування на зразках із сталей Р9, Р12, Р18 та Р6М3 було встановлено, що твердість та червоностійкість при 3-кратному та 2-кратному відпуску практично однакові. В той же час 2-кратний відпуск (580°C та 560°C) забезпечує більш високі показники ударної в'язкості також дещо вище границя міцності на згин.

Тому для економії енергоресурсів та часу варто використовувати 2-кратний відпуск замість 3-кратного.

1.2 Матеріал та методика дослідження

Метою цієї роботи є отримання інформації про вплив вхідної перед відпуском структури попередньо цементованої та загартованої сталі

13X3HBM2ФА при її відпуску на вторинну твердість на процеси карбідоутворення[2].

Задачі дослідження: 1) здійснити хімічний фазовий аналіз карбідів, що утворюються при відпуску зразків із вхідною аустенітною та вхідною мартенситною структурами.;2) провести дилатометричні дослідження, щоб отримати дані, щодо температурного інтервалу інтенсивного карбідоутворення при відпуску; 3) провести рентгеноструктурний аналіз карбідної фази і визначити типи карбідів, котрі виділились при відпуску; 4) дослідити зміну твердості при відпуску цементованої сталі 13X3HBM2ФА при температурі 530°C.

Дослідження виконувалось на зразках із сталі 13X3HBM2ФА з хімічним складом, відсотків (масових): 0,13% C; 3,04% Cг; 1,10% Ni; 0,89% W; 0,23% V; 1,84% Mo; 0,36% Mn; 0,64% Si; Fe — решта.

Фазовий та хімічний аналіз карбідів виконувався на зразках діаметром 12 та довжиною 60 мм. Анодні осад карбідів виділялися у 5-ти відсотковому водному розчині HCl та густині струму 0,05 А/см² та середня швидкість розчинення зразків становила 0,075 мм/год. Осад із карбідів затримувався в чохлі, а матриця розчинялася в електроліті. Одна частина карбідного осаду досліджувалася методом хімічного аналізу, а інша — рентгеноструктурним методом. Для підвищення концентрації спеціальних карбідів в осаді друга частина осаду оброблялася водному розчині HCl(25%). При цьому спостерігалось часткове розчинення карбідів цементитного типу.

Для встановлення того, як саме змінюється карбідна фаза за глибиною на кожному зразку було розчинено по три підшари товщиною 0,15 мм кожний, із загальною глибиною шару 0,45 мм.

Дилатометричні дослідження при відпуску цементованої сталі 13X3HBM2ФА здійснювались на дилатометрі типу Шевенардіз використанням диференційних головок HV та HS танаскрізно цементованих зразків із розмірами 3x3x50 мм. Для вивчення процесів, що відбуваються при ізотермічній витримці, записи дилатограм виконувалися із використанням приставки, яка забезпечувала пересування реєстраційної плівки із швидкістю 18 мм/год.

Електронномікроскопічні дослідження проводилися на приладі УЗМ-100 на вугільних репліках, які отримані із зразків, що були попередньо протравлені.

Для аналізу фазового складу осадів карбідів використовувався рентгеноструктурний метод. Дослідження виконувалися на дифрактометрі ДРОН-1 в Fe α -випромінюванні із монохроматизацією

дифрагованих променів. Спочатку здійснювались зйомки від отриманих анодних осадів, а потім тих, що оброблені розчином HCl.

Цементация зразків виконувалася в модернізованій печі СШЦМ-6.12/10,5 за температури 1030°C , в якості карбюризатору використовувався синтин із подачею $1\text{ см}^3/\text{хв}$. Тривалість цементації обиралася в залежності від необхідної глибини шару: циліндричні зразки $12\times 60\text{ мм}$ для фазового хімічного аналізу цементувалися на глибину $0,95\dots 1,05\text{ мм}$ впродовж $2,5\dots 3$ годин; для інших досліджень зразки вирізалися із пластин $3\times 30\times 200\text{ мм}$ цементованих наскрізь впродовж 8 год. Всі зразки загартовувалися безпосередньо від температури цементації в мінеральній олії MC20.

Відпуск за температури 530°C проводився в печі СНОЛ-1,5.2.1/7 протягом 1 години із наступним охолодженням до температури 20°C .

1.3 Результати експериментів та їх аналіз

В роботі [9] внаслідок значної кількості аустеніту в загартованому шарі (приблизно 95%) та числом відпусків (п'ять) було здійснено спробу за допомогою обробки холодом знизити сумарний час відпуску.

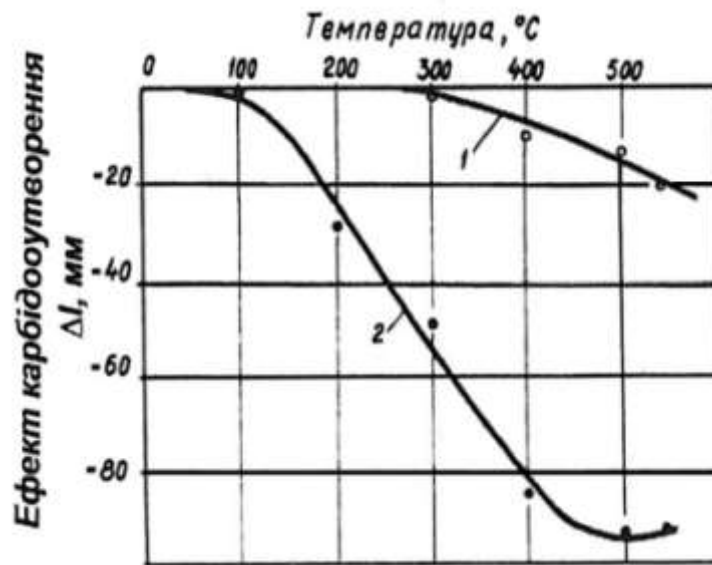
Для дослідження впливу вхідної перед відпуском структури на властивості та фазові перетворення одночасно багаторазово зразки відпускалися безпосередньо після гарту із вхідною аустенітною структурою (ВА) та після гарту і обробки холодом при -196°C із вхідною переважно мартенситною структурою (ВМ). ВА зразки перед відпуском мали твердість HRC 38, після нього — HRC 61, ВМ перед відпуском мали твердість HRC 62, після нього - HRC 56...57.

Дилатометричні дослідження карбідоутворення та збіднення γ - та α -твердих розчинів виконувалися за температур 200, 300, 400, 500 та 530°C впродовж 1 години. Як результат цих досліджень на рис.1.3 наведено залежність лінійного ефекту процесу утворення карбідів від температури відпуску ВА та ВМ зразків.

На рис.1.4 представлено серію дилатометричних кривих. Величина ΔL відображає в масштабі ступінь зменшення довжини зразків, тобто збіднення твердогорозчину під час ізотермічної витримки. Для врахування $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворення у ВМ зразках виконувалося повторне нагрівання до температур відпуску і ΔL визначалось як відстань між кривими першого та другого нагрівання з урахуванням ізотермічної витримки.

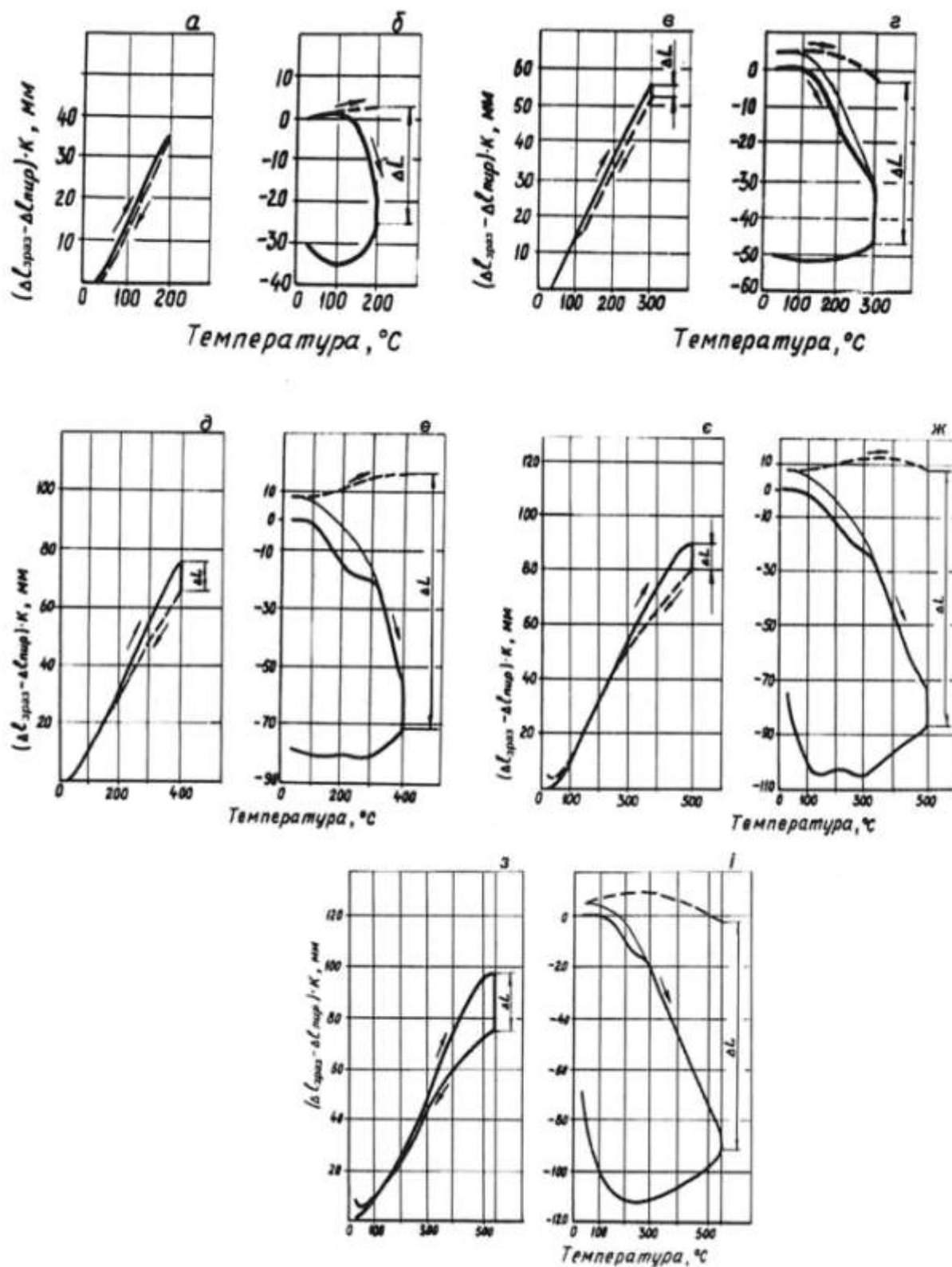
Згідно із представленими кривими лінійний ефект карбідоутворення у ВМ зразках значно більше виражений, ніж у ВА. Окрім того, інтенсивне укорочення ВМ зразків розпочинається від 200°C, в той час як при відпуску ВА зразків - лише після відпуску вище 400°C. Наведені результати непрямоговорять про можливу різницю в хімічному і фазовому складі карбідних фаз ВА та ВМ зразків.

Прямі докази цього отримано з результатів хімічного та фазового аналізу осадів карбідів після розчинення ВА та ВМ зразків в електроліті. Результати хімічного аналізу осадів приведені в табл.1.1 та табл.1.2.



1 – ВА зразки; 2 – ВМ зразки

Рисунок 1.4 – Лінійний ефект карбідоутворення зразків цементованої сталі 13ХЗНВМ2ФА в залежності від температури відпуску



а, в, д, е, з – ВА зразки; б, г, е, ж, і – ВМ зразки
Температури відпуску, °C: а, б – 200; в, г – 300; д, е – 400; е, ж – 500; з, і – 530

Рисунок 1.3 – Дилатограми відпуску зразків цементованої сталі
13X3HBM2ФА

Таблиця 1.1 – Хімічний склад карбідної фази цементованої сталі
13ХЗНВМ2ФА

Режим ХТО	Шар, що аналізувався, мм	Частка карбід. фази, %	Вміст елементів в карбідній фазі (у відсотках до сплаву)					
			Fe	Cr	Ni	V	Mo	W
Цм. 1030°C, безпосер. гарт, відпуск 530°C, 5-разово	0...0,145	10,48	8,012	0,902	0,115	0,115	1,041	0,295
	0,146...0,284	9,20	6,805	0,860	0,115	0,115	1,010	0,295
	0,285...0,434	7,68	7,680	0,802	0,100	0,100	0,972	0,290
Цм. 1030°C, безпосер. гарт, обр. хол. -196°C, відпуск 530°C, 5-разово	0...0,150	12,98	10,083	1,282	0,140	0,155	1,051	0,322
	0,151...0,316	12,64	9,640	1,305	0,150	0,115	1,106	0,330
	0,317...0,422	11,65	8,880	1,152	0,143	0,111	1,055	0,320

Таблиця 1.2 – Хімічний склад карбідної фази цементованої сталі
13ХЗНВМ2ФА

Режим ХТО	Шар, що аналізувався, мм	Частка карбідної фази, %	Вміст елементів в карбідній фазі (у відсотках до карбідної фази)					
			Fe	Cr	Ni	V	Mo	W
Цм. 1030°C, безпосер. гарт, відпуск 530°C, 5-разово	0...0,145	10,48	76,43	8,59	1,10	1,10	9,92	2,81
	0,146...0,284	9,20	73,95	9,35	1,25	1,25	10,98	3,20
	0,285...0,434	7,68	70,49	10,42	1,30	1,30	12,64	3,84
Цм. 1030°C, безпосер. гарт, обр. хол. -196°C, відпуск 530°C, 5-разово	0...0,150	12,98	77,30	9,86	1,08	1,19	8,09	2,47
	0,151...0,316	12,64	76,30	10,29	1,19	0,94	8,71	2,61
	0,317...0,422	11,65	76,22	9,87	1,20	0,94	9,01	2,75

В дослідженому інтервалі глибин шару (до 0,45 мм) у ВА зразках загальна частка карбідної фази становила майже на 20% менше, ніж у ВМ зразках, але твердість ВА зразків після відпуску досягала значень HRC 60...61, а у ВМ – лише HRC 57...58. Отже, рівень вторинної твердості цементованої сталі 13ХЗНВМ2ФА залежить не тільки від частки карбідів, але і їх фазового складу та легованості α -твердого розчину. За даними табл.1.1 в карбідній фазі ВА зразків менший вміст (по відношенню до сплаву) таких легувальних елементів, як Cr, V, Mo, W. Це означає, що в α -твердому розчині після відпуску зразків із ВА станом більший вміст легувальних елементів, ніж в зразках із ВМ структурою, що забезпечує ВА дифузійному шару вищу теплостійкість.

В табл.1.2 наведено дані хімічного аналізу карбідів (у відсотках по відношенню до карбідної фази), а на рис.1.5 графічно ілюструються дані цього аналізу по глибині цементованого шару.

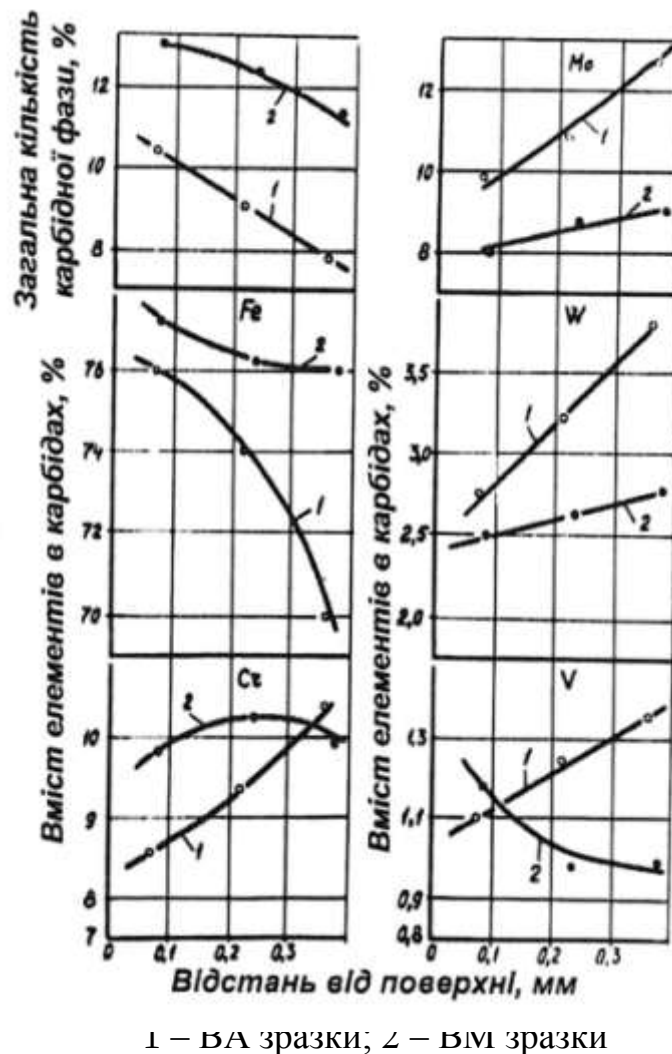


Рисунок 1.5 – Зміна частки карбідної фази, вмісту заліза та легувальних елементів в карбідній фазі по глибині цементованого шару зразків зі сталі 13ХЗНВМ2ФА

В карбідній фазі BM зразків вище вміст заліза та хрому. Це свідчення того, що в цих зразках більша частка карбідів M_3C та $M_{23}C_6$ малостійких до коагуляції. Карбідна фаза у BA зразках більш легована Mo та W — елементами, що утворюють високодисперсні спеціальні карбіди, стійкі до коагуляції, та визначають рівень вторинної твердості цементованої сталі 13ХЗНВМ2ФА.

Для визначення типів карбідів у відпущеній цементованій сталі 13ХЗНВМ2ФА здійснено рентгеноструктурний аналіз (табл.1.3 і табл.1.4) та ідентифіковано типи карбідів. У BA зразках виявлені карбіди M_3C та MC (VC, MoC, WC), а у BM — M_3C , $M_{23}C_6$ та MC (VC, MoC, WC). При

рентгеноструктурному аналізу осадів від ВА зразків не виявлено карбідів $M_{23}C_6$. Щоб перевірити це було додатково проведено електронно-мікроскопічне дослідження реплік, отриманих від зразків із ВА та ВМ структурою, які показали наявність карбідів $M_{23}C_6$ і в зразках із ВА структурою. Можливо, що їх частка у ВА зразках значно менша, ніж в зразках ВМ, що не дозволило їх виявити при рентгеноструктурному аналізі.

Таблиця 1.3 – Результати рентгеноструктурного аналізу карбідної фази цементованої сталі 13ХЗНВМ2Ф

Режим термообробки	Розрах. міжпл. відстань, $d_p, \text{\AA}$	Відносна інтенсив., $I, \%$	Табличні дані карбідів							
			M_3C		VC		WC		MoC	
			$d, \text{\AA}$	$I, \%$	$d, \text{\AA}$	$I, \%$	$d, \text{\AA}$	$I, \%$	$d, \text{\AA}$	$I, \%$
Цм. 1030°C, безпосер. гарт, відпуск 530°C, 5-разово	2,804	сл.	-	-	-	-	2,820	70	-	-
	2,530	сл.	2,540	5	-	-	-	-	2,530	60
	2,510	сл.	-	-	-	-	2,500	80	-	-
	2,480	сл.	-	-	-	-	-	-	2,474	100
	2,394	сер.	2,380	68	2,400	100	-	-	-	-
	2,265	сл.	2,260	25	-	-	-	-	-	-
	2,210	дуже сл.	2,200	25	-	-	-	-	-	-
	2,080	сер.	-	-	2,070	100	-	-	2,087	80
	2,067	с.	2,060	70	-	-	-	-	-	-
	2,019	дуже сл.	2,020	60	-	-	-	-	-	-
	2,013	с.	2,010	100	-	-	-	-	-	-
	1,973	сер.	1,970	55	-	-	-	-	-	-
	1,880	сер.	1,870	30	-	-	1,870	100	-	-
	1,850	сл.	1,850	40	-	-	-	-	1,860	80
	1,475	сл.	1,470	50	-	-	-	-	1,466	80
	1,450	сл.	-	-	-	-	1,450	60	-	-
	1,426	сл.	-	-	-	-	1,418	60	-	-
	1,256	сл.	-	-	-	-	1,255	60	1,260	50
	1,250	сл.	-	-	1,250	25	1,230	70	-	-
	1,150	сл.	-	-	-	-	1,147	70	-	-

Таблиця 1.4 – Результати рентгеноструктурного аналізу карбідної фази цементованої сталі 13ХЗНВМ2Ф

Режим термообробки	Розрах. міжпл. відстань, $d_p, \text{\AA}$	Відносна інтенсив., $I, \%$	Табличні дані карбідів							
			M_3C		WC		VC, MoC		$M_{23}C_6$	
			$d, \text{\AA}$	$I, \%$	$d, \text{\AA}$	$I, \%$	$d, \text{\AA}$	$I, \%$	$d, \text{\AA}$	$I, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Цм. 1030°C, безпосер. гарт, обр. хол. - 196°C, відпуск 530°C, 5-разово	2,810	сл.			2,82	70				
	2,730	сл.					2,740	70		
	2,540	дуже сл.	2,54	5			2,530	60		
	2,510	сл.			2,50	80				
	2,480	сл.					2,474	100		
	2,394	сер.	2,38	68			2,400	100	2,370	80
	2,265	сл.	2,26	25						

	2,190	дуже сл.	2,20	25					2,168	60
	2,093	сер.	2,10	10			2,087	80		

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2,067	сер.	2,06	70			2,070	100		
	2,041	с.					2,044	100		
	2,019	дуже сл.	2,02	60						
	2,013	с.	2,01	100						
	1,973	сер.	1,97	55						
	1,872	сер.	1,87	30	1,87	100			1,870	60
	1,850	сер.	1,85	70			1,860	80		
	1,759	дуже сл.	1,76	15					1,790	60
	1,679	сл.	1,68	15			1,660	60	1,680	10
	1,585	сл.	1,58	20						
	1,485	сл.	1,47	50	1,450	60	1,466	80		
	1,400	сл.			1,418	60				
	1,330	сер.					1,330	50		
	1,287	сл.			1,290	70	1,290	90	1,288	60
	1,250	сер.			1,255	60	1,260	50	1,250	80
	1,217	сл.			1,230	70			1,220	60
	1,190	сл.					1,200	10		
	1,155	сл.			1,147	70	1,116	60		

Як і при будь-якому фазовому перетворенні, так і при розпаді пересичених γ - та α -твердих розчинів в середньолегованих сталях, карбідоутворення залежить від низки чинників: термодинамічного; кінетичного; орієнтаційної, структурної та хімічної відповідності. Відомо, що при відпуску легованих сталей можливе протікання низки карбідних перетворень:

— часткове заміщення атомів заліза в цементиті атомами легувальних елементів;

— перетворення карбідівцементитного типу в спеціальні карбіди при досягненні межової концентрації атомів легувальних елементів в карбідах M_3C . Наприклад, за даними [10] перетворення $M_3C \rightarrow M_7C_3$ в Fe-Cr-C сплавах настає при концентрації в карбіді M_3C 25% (атомних) хрому;

— розчинення карбідів M_3C із переходом атомів металів та вуглецю в твердий розчин та наступне утворення спеціальних карбідів, при цьому постачальником атомів металів та вуглецю виступає твердий розчин.

Утворення спеціальних карбідів безпосередньо із твердого розчину, супроводжується максимальним зміцненням сталі, тому що спеціальні карбіди, утворені при температурах вище $400^\circ C$, здатні зберігати високу дисперсність, когерентний зв'язок із матрицею, а також сприяти подрібненню блоків мозаїчної структури.

1.4 Висновки

Таким чином, до особливостей карбідоутворення та формування властивостей цементованої сталі 13ХЗНВМ2ФА при її відпуску на вторинну твердість належать наступні:

1) хімічний та фазовий склад карбідів залежить від вхідної перед відпуском структури (аустенітної чи мартенситної);

2) після відпуску сталі із вхідною аустенітною структурою при температурі 530...540°C карбідна фаза більш легованаюна молібден, вольфрам, ванадій, що зумовлює її підвищену стійкість до коагуляції;

3) утворення карбідів у вхідних аустенітних зразках починається від температур вище 400...450°C, за яких можливим є формування спеціальних карбідів, у вхідних мартенситних зразках від 150...200°C, тобто температур характерних для утворення карбідівцементитного типу;

4) частка карбідів в цементованій сталі, відпущеній із вхідного аустенітного стану, становить 9,2...10,5%, а у вхідних мартенситних 12,6...13,0%; це свідчить, що в першому випадку для утворення спеціальних карбідів було використано менше легувальних елементів, а отже більшу легованість твердого розчину, отриманого із вхідного аустенітного стану;

5) більша легованість карбідної та α -фази зумовлює вищу на 3...4 HRC твердість цементованої сталі 13ХЗНВМ2ФА після її відпуску 530...540°C на вторинну твердість із вхідного аустенітного стану порівняно із таким же відпуском із вхідного мартенситного стану.

2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Дослідження карбідоутворення при відпуску передбачає попереднє отримання цементованих зразків. Цементация сталі 13Х3НВМ2ФА виконується за температури 1030°C. Наявна піч (СШЦМ-6.12/9,5) не дозволяє здійснити обробку за даним режимом. Тому було прийнято рішення модифікувати піч з метою підвищити температуру її експлуатації. Модифікація печі полягала у наступному:

- 1) заміна матеріалу муфелю на більш жаростійкий;
- 2) заміна матеріалів футеровки для зменшення теплових втрат;
- 3) заміна матеріалу нагрівачів на більш окалиностійкий.

2.1 Заміна матеріалу муфелю

Зважаючи на підвищення робочої температури печі було прийнято виготовити муфель із жароміцного сплаву ХН45Ю[11]. Даний сплав відзначається високою жаростійкістю, а також добре піддається зварюванню. Муфель виконується із листових (попередньо-деформованих) заготовок товщиною 8 мм зварюванням. Для попередження витоків контрольованої атмосфери особливо важливим є герметичність швів.

2.2 Розрахунок теплових потоків через футеровку

Складання балансу теплових потоків виконують з метою визначення номінальної потужності нагрівачів електричної печі. В баланс входять прибуткові і витратні статті[12].

2.2.1 Прибуткові статті

Для електричних печей до них належить тепловий потік від електричних нагрівачів P_E . Визначається за результатами складання балансу теплових потоків електричної печі (форм. 2.1):

$$P_E = P_B + P_T + P_\Phi + P_{KA} + P_{TK3} + P_{HB} \quad (2.1)$$

2.2.2 Витратні статті

Тепловий потік на нагрівання виробів:

$$P_B = A * C_M * (t_{BK} - t_{BP}) = 0,021 * 0,680 * (1030 - 20) = 14,423 \text{ кВт},$$

де $C_M = 0,680$ – середня питома теплоємність матеріалу виробів в інтервалі температур ($t_{BK} \dots t_{BP}$), кДж/(кг*К); t_{BP} , t_{BK} , – початкова та кінцева температура нагрівання виробів, °С; $A = 0,021$ – продуктивність НП, кг/с.

Примітка: продуктивність печі розрахована з урахуванням, що маса садки становить 300 кг, а тривалість нагрівання – 4 години.

Тепловий потік на нагрівання тари:

$$P_T = k * P_B = 0,2 * 14,423 = 2,885 \text{ кВт}$$

Примітка: коефіцієнт k відповідає рекомендаціям щодо відношення маси тари до маси виробів.

Тепловий потік через футеровку. Розраховується окремо для елементів: под, бокові стіни, кришка(форм 2.2):

$$P_\Phi = P_\Pi + P_{BC} + P_{KP} \quad (2.2)$$

Основні формули для розрахунку (форм. 2.3...2.6):

$$P = \frac{t_B - t_0}{R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + R_{\alpha 2}} \quad (2.3)$$

$$R_{\lambda 1} = \frac{S_1}{\lambda_1 * \bar{F}_1} \quad (2.4)$$

$$R_{\lambda 2} = \frac{S_2}{\lambda_2 * \bar{F}_2} \quad (2.5)$$

$$R_{\alpha 2} = \frac{1}{\alpha_2 * F_3} \quad (2.6)$$

де t_B – температура внутрішньої поверхні печі, 1050°С; t_0 – температура атмосфери, 20°С; S_i – товщина i -го шару, м; λ_i – середня теплопровідність матеріалу i -го шару, Вт/(м*К); $\bar{F}_i$ – середня площа поверхні i -го шару, м²; F_3 – площа зовнішньої поверхні елемента печі, м²; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні в оточуюче середовище, Вт/(м²*К), розраховують за формулою нижче (форм. 2.7):

$$\alpha_2 = A_2 \sqrt[4]{t_3 - t_0} + 4,65 * \frac{(\frac{T_3}{100})^4 - (\frac{T_0}{100})^4}{t_3 - t_0} \quad (2.7)$$

де A_2 - коефіцієнт, який залежить від розташування в просторі елементів печі. Для вертикальних стін $A_2 = 2,6$; для горизонтальних, обернених вниз – 1,6; для горизонтальних, обернених вверх – 3,3.

Характеристика матеріалів футеровки [13, 14]:

Шамот легковаговий ШЛ–0,8: $\lambda = 0,225 + 0,00022 * t$

Шамотна волокниста плита: ШВП–350: $\lambda = 0,118 + 0,00008 * t$

Розміри внутрішнього простору печі складають:

$D_B = 0,8$ м; $H_B = 1,5$ м

Под утворений двома шарами футеровки:

1) вогнетривкий: шамот легковаговий ШЛ–0,8: $S_1 = 0,115$ м

2) теплоізоляційний: шамотна волокниста плита ШВП–350: $S_2 = 0,23$ м

$D_B = 0,8$ м; $A_2 = 1,6$;

$D_{12} = D_B + 0,115 + 0,115 = 1,03$ м

$D_{30B} = D_{12} + 0,23 + 0,23 = 1,49$ м

$F_B = 0,5024$ м²; $F_{12} = 0,8328$ м²; $F_{30B} = 1,7428$ м²

$\bar{F}_1 = \sqrt{F_B * F_{12}} = 0,6468$ м²; $\bar{F}_2 = \sqrt{F_{30B} * F_{12}} = 1,2047$ м²

Приймаємо температури $t_{30B} = 56^\circ\text{C}$; $t_{12} = 803^\circ\text{C}$

$\bar{t}_1 = (t_B + t_{12}) / 2 = 926,5^\circ\text{C}$; $\bar{t}_2 = (t_{30B} + t_{12}) / 2 = 429,5^\circ\text{C}$

Тоді: $\lambda_1 = 0,42883$ Вт/(м*К); $\lambda_2 = 0,15236$ Вт/(м*К)

$\alpha_2 = 9,53285$ Вт/(м²*К)

$R_{\lambda 1} = 0,41459$ 1; $R_{\lambda 2} = 1,25304$; $R_{\alpha 2} = 0,06019$

Тоді тепловий потік через елемент кладки: $R_{\Pi} = 0,604$ кВт

Перевірка температур:

$t_{30B}^p = t_0 + R_{\Pi} * R_{\alpha 2} = 56,35$ °C

$t_{12}^p = t_B - R_{\Pi} * R_{\lambda 1} = 802,91$ °C

Бокові стіни утворені двома шарами футеровки:

1) вогнетривкий: шамот легковаговий ШЛ–0,8: $S_1 = 0,115$ м

2) теплоізоляційний: шамотна волокниста плита ШВП–350: $S_2 = 0,23$ м

$D_B = 0,8$ м; $H_B = 1,5$ м; $A_2 = 2,6$

$D_{12} = D_B + 0,115 + 0,115 = 1,03$ м; $H_{12} = H_B + 0,115 + 0,25 = 1,865$ м

$D_{30B} = D_{12} + 0,23 + 0,23 = 1,49$ м; $H_{30B} = H_{12} + 0,23 = 2,095$ м

$F_B = 3,768$ м²; $F_{12} = 6,0318$ м²; $F_{30B} = 9,8017$ м²

$\bar{F}_1 = \sqrt{F_B * F_{12}} = 4,7674$ м²; $\bar{F}_2 = \sqrt{F_{30B} * F_{12}} = 7,6891$ м²

Приймаємо температури $t_{30B} = 42^\circ\text{C}$; $t_{12} = 593^\circ\text{C}$

$\bar{t}_1 = (t_B + t_{12}) / 2 = 821,5^\circ\text{C}$; $\bar{t}_2 = (t_{30B} + t_{12}) / 2 = 317,5^\circ\text{C}$

Тоді: $\lambda_1 = 0,40573 \text{ Вт/(м*К)}$; $\lambda_2 = 0,1434 \text{ Вт/(м*К)}$

$\alpha_2 = 10,8633 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$

$R_{\lambda 1} = 0,19078$; $R_{\lambda 2} = 0,22946$; $R_{\alpha 2} = 0,00939$

Тоді тепловий потік через елемент кладки: $P_{BC} = 2,397 \text{ кВт}$

Перевірка температур:

$t_{30B}^p = t_o + P_{BC} * R_{\alpha 2} = 42,52^\circ\text{C}$

$t_{12}^p = t_B - P_{BC} * R_{\lambda 1} = 592,63^\circ\text{C}$

Кришка утворена одним шаром футеровки:

1) вогнетривкий: шамот легковаговий ШЛ-0,8: $S_1 = 0,25 \text{ м}$

$D_B = 0,8 \text{ м}$; $A_2 = 3,3$

$D_{30B} = D_B + 0,23 + 0,23 + 0,115 + 0,115 = 1,49 \text{ м}$

$F_B = 0,5024 \text{ м}^2$; $F_{30B} = 1,7428 \text{ м}^2$

$\bar{F}_1 = \sqrt{F_B * F_{30B}} = 0,9357 \text{ м}^2$

Приймаємо температури $t_{30B} = 70^\circ\text{C}$

$\bar{t}_1 = (t_B + t_{30B}) / 2 = 560^\circ\text{C}$

Тоді: $\lambda_1 = 0,3482 \text{ Вт/(м*К)}$

$\alpha_2 = 14,79344 \text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$

$R_{\lambda 1} = 0,7673$; $R_{\alpha 2} = 0,03879$

Тоді тепловий потік через елемент кладки: $P_{KP} = 1,278 \text{ кВт}$

Перевірка температур:

$t_{30B}^p = t_o + P_{KP} * R_{\alpha 2} = 69,56^\circ\text{C}$

$t_{30B}^p = t_B - P_{KP} * R_{\lambda 1} = 69,56^\circ\text{C}$

Тепловий потік через футеровку:

$P_f = 0,604 + 2,397 + 1,278 = 4,279 \text{ кВт}$

Тепловий потік на нагрівання контрольованої атмосфери:

$P_{KA} = V_{KA} * t_{KA} * \sum(V_i * C_i), \text{ кВт}$

де $V_{KA} = 10 \text{ м}^3/\text{год. або } 2,778 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ – витрати контрольованої атмосфери; $t_{KA} = 1050^\circ\text{C}$ – температура нагрівання контрольованої атмосфери; V_i та C_i – об'ємна частка та питома теплоємність при t_{KA} і-того компонента контрольованої атмосфери.

В даному випадку використовується ендогаз наступного хімічного складу: $0,2 \text{ CO} + 0,4 \text{ N}_2 + 0,4 \text{ H}_2$

$C_{1050}(\text{CO}) = 1,4215 \text{ кДж/(м}^3\text{*К)}$;

$C_{1050}(\text{H}_2) = 1,3319 \text{ кДж/(м}^3\text{*К)}$;

$C_{1050}(\text{N}_2) = 1,3397 \text{ кДж/(м}^3\text{*К)}$

Підставивши необхідні значення отримуємо:

$P_{KA} = 2,778 * 10^{-3} * 1050 * (0,2 * 1,4215 + 0,4 * 1,3319 + 0,4 * 1,3397) = 4,016 \text{ кВт}$

Тепловий потік, що втрачається внаслідок теплових коротких замикань:

$$P_{TK3} = 0,15 * P_{\Phi} = 0,15 * 4,279 = 0,642 \text{ кВт}$$

Примітка: тепловими короткими замикання називається втрата тепла через металеві деталі печі, що проходять через футеровку і таким чином «з'єднують» внутрішній простір печі з атмосферним повітрям (стрижні струмовідводів, термопари). Розраховуються орієнтовно.

Невраховані втрати:

$$P_{HB} = 0,2 * P_{\Phi} = 0,2 * 4,279 = 0,856 \text{ кВт}$$

Баланс теплових потоків (табл. 2.1) має вигляд:

$$P_E = 14,423 + 2,885 + 4,279 + 4,016 + 0,642 + 0,856 = 27,101 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.1 – Баланс теплових потоків

Прибуткові статті			Витратні статті		
1	2	3	4	5	6
Назва статті	Тепловий потік, кВт	Частка, %	Назва статті	Тепловий потік, кВт	Частка, %
Тепловий потік від електричних нагрівачів, P_E	27,101	100	Тепловий потік на нагрівання виробів, P_B	14,423	53,22
			Тепловий потік на нагрівання тари, P_T	2,885	10,65
			Тепловий потік через футеровку, P_{Φ}	4,279	15,23

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
-	-	-	Тепловий потік на нагрівання контрольованої атмосфери, P_{KA}	4,016	15,35
			Тепловий потік, що втрачається внаслідок теплових коротких замикань, P_{TK3}	0,642	2,39
			Невраховані втрати, P_{HB}	0,856	3,16
Σ приб.	27,101	100	Σ витр.	27,101	100

Далі визначимо номінальну $P_{НОМ}$ та установчу $P_{УСТ}$ потужності печі:

$$P_{НОМ} = 1,016 * P_E = 1,016 * 27,101 = 27,535 \text{ кВт}$$

$$P_{УСТ} = k * P_{НОМ} = 1,45 * 27,535 = 39,925 = 40 \text{ кВт},$$

де $k=1,4...1,5$ – коефіцієнт запасу потужності для печей періодичної дії.

Тепловий коефіцієнт корисної дії електричної печі:

$$\eta_E = P_B / P_{НОМ} = 14,423 / 27,535 = 0,596$$

2.3 Розрахунок нагрівачів

Електричні нагрівальні елементи опору виготовляють з металевих і неметалевих матеріалів. В промислових печах металеві матеріали застосовують для робочих температур до 1200°C. При більш високих температурах використовують неметалеві елементи опору. Необхідно, щоб матеріали нагрівальних елементів мали високі показники жаростійкості, високий питомий електроопір, малий коефіцієнт лінійного розширення, щоб не відбувалося фазових перетворень.

В залежності від робочої температури нагрівача за довідниками обираємо матеріал для нагрівача і визначаємо його основні характеристики: питомий електроопір, максимальну допустиму робочу температуру, густину, окалиностійкість [12].

Визначимо робочу температуру нагрівачів t_H , °C:

$$t_H = t_{BK} + \Delta t = 1030 + 120 = 1150^\circ\text{C}$$

Для печі, що модернізується було обрано матеріал для виготовлення нагрівачів: 0X27Ю5А, максимальна температура його експлуатації становить 1250°C. Нагрівач уявляє собою дрововий зигзаг. Вихідні дані для розрахунку:

- 1) $\rho_t = 1,40 \cdot 10^{-6} + 5,0 \cdot 10^{-11} \cdot t$ – питомий електроопір Ом*м;
- 2) $\rho = 7190$ – густина, кг/м³;
- 3) $\varepsilon_H = 0,9$; $\varepsilon_B = 0,76$ – міра чорноти нагрівача та виробу, відповідно;
- 4) $P_{уст} = 40$ – потужність печі, кВт;
- 5) $U_M = 380$ – напруга мережі, В.

Розраховуємо питому поверхневу потужність ідеального нагрівача W_{ID} (форм. 2.8):

$$W_{ID} = \frac{C_0 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{1}{\varepsilon_H}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_{вир}}\right) - 1} * \left[\left(\frac{T_H}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{BK}}{100}\right)^4 \right] \quad (2.8)$$

$$W_{ID} = \frac{5,67 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{1}{0,9}\right) + \left(\frac{1}{0,76}\right) - 1} * \left[\left(\frac{1423}{100}\right)^4 - \left(\frac{1303}{100}\right)^4 \right] = 48,390 \text{ кВт/м}^2$$

Визначимо питому поверхневу потужність реального нагрівача в залежності від типу нагрівача, способу його розташування, кВт/м²:

$$W = \alpha * W_{ID} = 0,49 * 48,390 = 23,711 \text{ кВт/м}^2,$$

де $\alpha = 0,49$ – поправочний коефіцієнт, залежить від типу нагрівача та способу його розташування [12].

Потужність що генерується однією фазою:

$$P_{\Phi} = \frac{P_3}{3} = \frac{40}{3} = 13,333 \text{ кВт}$$

При використанні з'єднання «зірка» напруга фази U_{Φ} буде дорівнювати:

$$U_{\Phi} = \frac{U_M}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Розрахунок розмірів заготовки для нагрівача:

$$\rho t = 1,40 \cdot 10^{-6} + 5,0 \cdot 10^{-11} \cdot t = 1,40 \cdot 10^{-6} + 5,0 \cdot 10^{-11} \cdot 1000 = 1,45 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot 1,45 \cdot 10^{-6} \cdot 13,333^2}{3,14^2 \cdot 220^2 \cdot 23,711}} = 4,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$l = 0,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{13,333 \cdot 220^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,45 \cdot 10^{-6} \cdot 23,711^2}} = 39,53 \text{ м}$$

Перевірка питомої поверхневої потужності заготовки нагрівача W_p :

$$W_p = \frac{P_{\Phi}}{\pi \cdot d \cdot l} = \frac{13,333}{3,14 \cdot 4,53 \cdot 10^{-3} \cdot 39,53} = 23,712 \text{ кВт/м}^3$$

Для перевірки правильності розрахунків порівнюємо W та W_p , значення відрізняються на $0,001 \text{ кВт/м}^2$, що значно менше за допустиме відхилення ($0,2 \text{ кВт/м}^2$), тобто розрахунки виконано вірно.

Визначення терміну експлуатації нагрівачів. За довідниковими даними відомо, що на 1 мм діаметру заготовки припадає 2250 годин експлуатації [12].

Враховуючи розміри заготовки:

$$\tau_{\text{ЕКС}} = 2250 \cdot 4,53 = 10193 \text{ години}$$

Маса нагрівачів:

$$m_H = 3,14 \cdot 40,78 \cdot (4,53 \cdot 10^{-3})^2 / 4 \cdot 7190 = 4,73 \text{ кг.}$$

Нагрівач утворений трьома лініями зигзагів, тому на одну лінію припадає 13,18 м заготовки. Враховуючи зазори між лініями, нагрівачем і футеровкою було прийнято, що висота кожного зигзагу становить 200 мм, відстань між зигзагами становить 200 мм. Тоді на 1 зигзаг припадає 425 мм нагрівача. Таким чином на одній лінії розташовується 32 зигзаги сумарною довжиною 13,59 м.

2.4 Висновки

Після здійснення реконструкції печі вона тепер відповідає поставленим до неї вимогам та придатна для здійснення цементації за даним режимом. Враховуючи виконані модифікації нова назва печі: СШЦМ-6.12/10,5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі на дані основні заходи з охорони праці при дослідженні карбідотворення при відпуску цементованої сталі 13Х3НВМ2ФА

3.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки, що пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників»[15], а саме:

– вимог, щодо облаштування виробничих приміщень, що може бути пов'язано з незабезпеченням мікрокліматичних умов та недостатнім освітленням

– вимог, щодо забезпечення безпеки на робочих місцях, що може бути пов'язано з не проведенням інструктажів, перевірок знань з охорони праці, а також не наданням вичерпної інформації щодо можливих небезпек

б) Можливість ураження електричним струмом при використанні засобів праці в наслідок несправності електроспоживаючого обладнання, порушення ізоляції та відсутності засобів захисту.

в) Небезпеки пов'язані із здійсненням хімічного аналізу матеріалу зразків, а саме використання розчинів кислот та інших речовин, які при потраплянні на відкриту ділянку шкіри можуть викликати хімічні опіки рук та інших відкритих ділянок шкіри, а також їхнє випарювання можуть подразнювати очі та слизові оболонки.

г) Небезпеки пов'язані з виготовлення зразків для досліджень фазового та хімічного складу, зокрема внаслідок порушення правил з охорони праці, а саме отримання механічних травм при роботі з абразивним інструментом та при роботі на металорізальному обладнанні (токарному та фрезерному верстатах).

д) Небезпеки пов'язані із здійсненням реконструкції печі (яка передбачає проведення зварювальних робіт), внаслідок порушення правил охорони праці при роботі з електрозварювальним обладнанням, а саме отримання термічних опіків та ураження електричним струмом, пошкодження органів зору.

е) Небезпеки пов'язані з експлуатацією термічних печей для відпуску та цементації, а саме можливість отримання опіків, ураження електричним струмом, а також витік робочого складу печей (контрольованих атмосфер), що може призвести до отруєння працівників та пожежонебезпечних ситуацій.

є) Небезпеки пов'язані з здійсненням загартування деталей в мінеральній олії, а саме отримання термічних опіків та імовірність займання олії.

ж) Небезпеки пов'язані з обробкою деталей холодом, а саме обмороження частин тіла, а також можливість виникнення пожежонебезпечних ситуацій внаслідок конденсації з повітря на охолоджені поверхні кисню.

з) Небезпеки, що пов'язані із дослідженням мікроструктури рентгеноструктурним методом та методами електронної мікроскопії, а саме іонізуюча дія рентгенівського випромінювання та негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та виникнення у майбутньому імунних хвороб.

и) Незадовільний рівень освітлення, що може призвести до виникнення небезпечних ситуацій та травматизму.

і) Незадовільні умови мікроклімату, що може негативно позначитись на самопочутті та здоров'ї робітників.

й) Надзвичайні ситуації, зокрема можливість загорянь.

3.2 Заходи забезпечення безпеки

а) Згідно з НПА ОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» роботодавець зобов'язаний забезпечити наступні мікрокліматичні умови:

У закритих робочих приміщеннях повинно бути достатньо придатного для дихання повітря з урахуванням граничних допустимих концентрацій шкідливих речовин, характеру робочого процесу і фізичних потреб організму працівників з розрахунку на максимально можливу їх кількість під час роботи відповідно до передбаченого технологічного процесу.

Упродовж робочого часу в робочих приміщеннях забезпечується мікроклімат, що відповідає фізіологічним

потребам організму працюючих, із врахування енергетичних витрат на виконуваних роботах згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату в виробничих приміщеннях» [16].

Працівникам має бути надана інформація, а за необхідності проводиться інструктаж щодо користування засобами праці, які застосовуються ними під час роботи. Інформація та інструктаж щодо користування повинні містити як мінімум такі відомості щодо безпеки і захисту здоров'я: 1) умов користування засобом праці; 2) вірогідні поломки та порушення функціонування; 3) висновки, зроблені на підставі накопиченого досвіду застосування засобу праці; 4) першочергові дії у разі виникнення небезпеки.

Навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників під час роботи та професійного навчання виконується відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511.

Роботодавець забезпечує повною інформацією працівників з питань охорони праці про можливі небезпечні ситуації, про дії працівників у аварійних ситуаціях.

Для виконання цих заходів роботодавець зобов'язаний призначити відповідальних осіб, а також забезпечує їх підготовку і спорядження відповідно до специфіки підприємства.

б) Електроустаткування в термічних цехах повинно експлуатуватися відповідно до вимог НПА ОП 40.1-1.32-01, НПА ОП 40.1-1.01-97.

Для уникнення можливості короткого замикання та враження електричним струмом необхідно щоб завантаження, розвантаження та огляд, електропечей здійснювалися при повній знятій напрузі,

Усі струмоведучі частини електричних печей повинні бути ізольовані та обгороджені, а огорожувальні пристрої необхідно заземлити.

На робочому місці електрозварювальника повинен розташовуватися діелектричний килимок згідно до ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования» [17].

При дуговому зварюванні необхідно звикористовувати ізольовані гнучкі кабелі, здатні працювати при максимальних електричних навантаженнях.

Під переміщенням зварювальних проводів необхідно вживати заходів щодо запобігання ушкодженню ізоляції і зіткненню з водою, мастилом.

Металеві частини електрозварювального устаткування, що не перебувають під напругою, а також зварювані вироби і конструкції треба заземлитизгідно до ГОСТ 12.1.030-81.

Електроустаткування і матеріали, щозастосовують в електроустановках, маютьвідповідативимогам ДСТУ, ДБН та іншихтехнічних умов.

Конструкція, виконання, спосіб установа, прокладання і клас ізоляції машин, апаратів, приладів та іншого застосовуваного електроустаткування, а також кабелів і проводів мають відповідати розрахунковим параметрам електроустановки, режимам її роботи, умовам навколишнього середовища і вимогам відповідних глав ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок» [18].

У житлових, громадських і подібних приміщеннях пристрої, які служать для огороження і закриття струмопровідних частин, мають бути суцільними; у виробничих приміщеннях і електроприміщеннях допускається застосовувати суцільні, сітчасті або дірчасті пристрої, які забезпечують ступінь захисту не менше ніж IP2X за ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) «Степенизащиты, обеспечиваемыеоболочками».

в) Всі склянки з розчинамиповиннімати надписи абоетикетки, що добре читаються. Усіопераціїзсклянимпосудомпрацівник повинен виконувати без значнихзусиль, щобуникнутипорізів.

Розливання кислот, лугів та іншихагресивнихрозчинів повинно виконуватись за допомогою сифону, використовуючиспецодяг, окуляри, довгийгумовийфартух та гумовірукавиці.

При розбавленніконцентрованоїкислоти водою необхіднообережнодоливати кислоту у воду, при цьомуповільноперемішуватирозчинскляноюпаличкою.

У випадкупроливання кислот, лугів та іншихагресивнихречовинробітник повинен відчинитивікна, провітритиприміщення, обережноприбратирозлитурідину. Якщобула пролита кислота то їїнеобхіднозасипатипіском, потімприбрати пропитаний пісок лопатою та засипати содою. Далінеобхідновидалити соду та промитицемісцезначноюкількістю води.

Зберігатиагресивнірозчини на робочомумісцінеобхіднолише в справнійнебиткій та герметично закритійтарі. Взаємнореагуючіреактивинеобхіднозберігатиокремо.

г) Виготовленнязразків на металорізальномуобладнанні (токальні та фрезерніверстати) повинно виконуватисьзгідно НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охоронипраціпід час роботи з інструментом та пристроями» [19].

Конструкціяверстатів повинна відповідативимогам ДСТУ 2807-94 «Устаткування метало- та деревообробне. Загальнівимогибезпеки і методивипробувань»[20], ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.007.0-75

«ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные».

Забороняється виконувати роботу на несправних верстатах, а також на верстатах з несправними або незакріпленими огороженнями.

Стационарні верстати повинні бути встановлені на міцних фундаментах або підмурках, вивірені, надійно закріплені та пофарбовані відповідно до вимог ГОСТ 12.4.026-76 "ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности".

Верстати повинні бути обладнані захисними пристроями (екранами), зблокованими з пуском верстата. Захисні пристрої не повинні обмежувати технологічні можливості верстата і викликати незручності під час виконання робіт, прибирання, налагоджування та призводити у разі відкривання їх до забруднення мастильно-охолоджувальною рідиною.

Під час виконання робіт на верстатах робоче місце необхідно утримувати в чистоті та не захащувати. Видаляти металеву стружку з верстата необхідно за допомогою відповідних пристроїв (гачків, щіток). Забороняється прибирати стружку руками.

При закріпленні деталі в кулачковому патроні або використанні планшайби деталь необхідно захоплювати кулачками на якомога більшу довжину. Після закріплення деталі кулачки не повинні виступати з патрона або планшайби за межі їх зовнішнього діаметра. У разі якщо кулачки виступають, необхідно замінити патрон або установити спеціальне огороження.

Для обробки в'язких металів (сталей), що дають зливну стрічкову стружку, необхідно застосовувати різці з викружками, накладними стружколамачами або стружкозавивачами.

Перед установленням фрези необхідно перевіряти цілісність та правильність заточування пластин. Пластини повинні бути без викришених місць, тріщин, припикання. Різальний інструмент не повинен мати затуплених кромки.

Для установлення фрез на верстаті або їх заміни необхідно застосовувати спеціальні пристосування, які запобігають порізу рук працівника.

Шліфування та полірування зразків повинно виконуватись згідно НПА ОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом» [21].

Абразивний інструмент повинен відповідати вимогам нормативно-технічної документації, а саме стандартам, технічним умовам тощо на нього і технологічної документації на проведення конкретної роботи.

Огляд та перевірка абразивного інструменту перед його встановленням, випробування і експлуатація абразивного інструменту, встановлення пристосувань на верстатах і захисних кожухах повинні проводитися відповідно до вимог ГОСТ 12.3.028-82.

На кожному абразивному крузі, який після отримання його із заводу-виробника пройшов випробування, повинна бути зроблена відмітка фарбою або на його неробочу поверхню повинен наклеюватися спеціальний ярлик з зазначенням порядкового номера круга, дати проведення випробування, умовного знака або підпису працівника, відповідального за проведення випробувань.

Не дозволено використовувати круги з тріщинами на поверхні, а також кругів, що не мають відмітки про проведення випробувань на механічну міцність або з простроченим терміном зберігання.

Кріплення інструмента, заготовок та інших знімних елементів на верстаті незалежно від їх розміру і маси повинне бути надійним, що виключає мимовільне ослаблення кріплення при роботі.

Полірувально-шліфувальна обробка дрібних заготовок і таких заготовок, що важко утримуються, повинна проводитись на верстатах із застосуванням пристосувань і оправлень, зазначених у технологічній документації.

Технологічне устаткування, що застосовується при обробці абразивним інструментом, повинне відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

На робочому місці, де виконується робота кругами різного діаметра, на видному місці необхідно вивішувати табличку із зазначенням діаметра круга, його робочої швидкості та числа обертів у хвилину шпинделя верстата.

Налаштування верстатів для роботи необхідно проводити за режимами, що зазначені в технологічній документації. Швидкість руху інструмента в процесі роботи не повинна перевищувати величини, установлені в технічних умовах на даний інструмент. Биття шпинделя не повинне перевищувати величин, передбачених у паспорті на даний верстат або зазначених у технологічній документації. На круглошліфувальних верстатах повинне бути забезпечено неправильне центрування виробу, який підлягає шліфуванню.

Неробочі частини кругів, шліфувальних стрічок, а також обертів виступаючі кінці шпинделя та кріпильних деталей необхідно обгороджувати кожухами або іншими захисними пристроями. Захисні кожухи, що застосовуються при обробці, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.3.028-82.

Під час полірування на станках всі приводи верстата повинні мати знімне, міцне, суцільне огородження і гальмові пристрої.

Шліфувальні верстати з горизонтальною віссю обертання круга, що призначаються для обробки вручну і без підведення змащувально-охолоджувальної рідини в стаціонарному виконанні, на тумбі або встановлені на столі, повинні бути оснащені стаціонарним захисним екраном для очей.

При неможливості використання стаціонарного захисного екрана повинні застосовуватися захисні окуляри з міцним склом, респіратори та інші засоби індивідуального захисту відповідно до НПА ОП 27.0-3.01-08 [22].

Освітлення на робочому місці повинне унеможливити пряме влучення світла в очі працівника. Для освітлення робочого місця в круглошліфувальних верстатах рекомендується дзеркальний світильник з лампою 25 Вт і напругою 12-36 В. Світильник необхідно закріплювати на верстаті праворуч від абразивного круга.

Очищення поверхонь верстатів, виробів та іншого в статкування від пилу необхідно проводити відповідно до вимог Санітарних правил організації технологічних процесів і гігієнічних вимог до виробничого устаткування (СП 1042-73). Обдування верстатів, заготовок, інструментів, спецодягу з метою видалення з них металевого і абразивного пилу, стружки тощо стисненим повітрям не допускається.

Шліфувальні верстати при роботі яких в повітрі робочої зони утворюється пил (концентрація якого перевищує гранично допустиму), повинні бути обладнані пристроями, які відсмоктують пил.

Перед встановленням на верстат заготовки, які належать до обробки, а також пристосування повинні бути очищені від пилу, мастила та інших забруднень.

д) Під час електрозварювання металів повинні дотримуватися вимоги ГОСТ 12.3.002-75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности» та ГОСТ 12.3.003-86 «ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности» [23].

Не дозволяється застосовувати під час виконання робіт зі зварювання матеріали, які не відповідають технічним умовам на них та не пройшли санітарно-гігієнічну експертизу відповідно до вимог Порядку проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи (зі змінами), затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 09 жовтня 2000 року № 247, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 10 січня 2001 року за № 4/5195.

Пристосування для установа зварюваних деталей повинні забезпечувати стійке їх положення та зручне їх перевертання і переміщення.

Ручне дугове зварювання повинно здійснюватися на стаціонарних постах, обладнаних пристроями місцевої витяжної вентиляції. В

разі унеможливлення виконувати зварювання металів на стаціонарних постах для локального видалення пилю і газоподібних компонентів аерозолів від зварювальної дуги повинні застосовуватися місцеві відсмоктувачі. Повітря, яке видаляється витяжними установками під час зварювання металів у середині виробів, повинно відводитися за межі приміщення.

Для виконання аргонодугового зварювання постійним і змінним струмом повинні використовуватися плавкі та неплавкі електроди.

Під час виконання зварювання металів в інертних газах для збудження дуги повинно використовуватися джерело живлення з підвищеною напругою холостого ходу або додаткове джерело живлення з високою напругою (осцилятор) для забезпечення стабільності дугового розряду.

Дуга повинна запалюватися на спеціальній вугільній пластині. Не дозволяється запалювати дугу на основному металі.

При ручному аргонодуговому зварюванні кінець вольфрамового електрода повинен бути заточений на конус. Довжина заточки повинна дорівнювати двом-трьом діаметрам електрода.

Під час експлуатації контейнера зі рідким аргоном необхідно:

- спорожнювати контейнер тільки за допомогою випарника;
- від'єднувати шланги після повного випару аргону;
- унеможливити потрапляння рідкого аргону на шкіру працівника.

Під час від'єднання шлангів працівникам не дозволяється стояти навпроти контейнера. Не дозволяється здійснювати підтягування болтів і сальників на вентилях і трубопроводах, які знаходяться під тиском.

Для захисту обличчя від випромінювання, іскор і бризок розплавленого металу і його пилю під час електрозварювання металів працівники повинні забезпечуватися щитками відповідно до ГОСТ 12.4.023-84 «ССБТ. Щитки защитные лицевые. Общие технические требования и методы контроля».

Для захисту рук працівники повинні забезпечуватися рукавицями, виготовленими з іскростійкого матеріалу з низькою електропровідністю.

е) Електропечі повинні відповідати вимогам НПА ОП 40.1-1.32-01, ГОСТ 12.2.007.0-75 і ГОСТ 12.2.007.9-93. Експлуатація електропечей повинна здійснюватися відповідно до вимог НПА ОП 40.1-1.01-97 і НПА ОП 40.1-1.21-98.

На щитах і пультах керування електропечей повинна бути світлова сигналізація про подачу напруги на нагрівальні елементи і про роботу

блокувальних пристроїв.

Печі повинні мати автоматичне регулювання температури. При підвищенні температури вище встановленої, повинні включатися світлові і звукові сигнали. Робочі площадки, розташовані над зводом електропечі, повинні бути теплоізовані і заземлені.

Печі повинні бути герметичними, тому муфель у печах повинен бути зварений суцільним газоцільним швом. Перед введенням в експлуатацію печі повинні випробуватися на герметичність. Герметичність печей повинна перевірятися повітрямабоіншими негорючими газами при манометричному тиску 500-1000 Па, якщо значення тиску не зазначені в конструкторській документації на цю печі.

У робочому стані піч повинна перебувати під надлишковим тиском (у межах 50-150 Па). При неможливості повної герметизації устаткування його слід забезпечувати пристроями для підпалювання й уловлювання вихідних газів.

Установки для приготування контрольованих атмосфер повинні відповідати вимогам, ДБН В.2.5-20-2001 і НПАОП 0.00-1.20-98. Експлуатація газопріготувальної установки повинна здійснюватися відповідно до паспорта на установку.

Установки для приготування контрольованих атмосфер повинні бути обладнані газовою свічею - пристроєм для запалювання газу, що відповідає (контрольованої атмосфери), розташованої під витяжним зонтом і запальником.

Приміщення з установками для приготування контрольованих атмосфер повинні бути обладнані загальнообмінною механічною вентиляцією, що забезпечує не менше триразового повітряного обміну в годину.

На електропечах необхідно періодично перевіряти стан сальників вентилятора, ущільнювальних азбестографітових прокладок на муфелі печі, піщаного затвора, що є місцем витоку газового карбюратора з робочого простору печі.

Спалювання газів слід вести під витяжним пристроєм над піччю при виході їх з відповідної труби. Спалювання газів, що відходять із шахтних печей, слід вести в пальнику газовідбірника. На лінії відводу відпрацьованих газів з печей повинні встановлюватися гідравлічні затвори.

є) Гартування деталей в мінеральній олії повинне виконуватися згідно НПАОП 28.5-1.02-07 «Правила охорони праці при термічній обробці металів» [24].

Гартівні масляні баки і ванни повинні мати централізовану систему охолодження або індивідуальні пристрої для перемішування та охолодження масла. При загартуванні невеликої кількості дрібних деталей, що

не викликають нагрівання масла вище 80 °С допускається експлуатація баків без масло охолоджувальних пристроїв.

Висота баку з відкритим дзеркалом масла над рівнем підлоги повинна бути не менше 1 м. Баки і ванни з відкритим дзеркалом масла або гасу повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією (з пристроєм кожухів-укриттів) або бортовими відсмоктувачами. Кожух-укриття повинен мати теплоізоляцію стінок для зменшення тепловипромінювання.

Операції завантаження, вивантаження і транспортування деталей, що гартуються, як правило, повинні бути механізовані.

Гартівні масла в баках і ваннах періодично (при заливанні свіжої порції масла або після тривалої зупинки устаткування) повинні піддаватися контролю на вміст у них води, що викликає піноутворення, чим сприяє загорянню масла.

Виявлена вода повинна бути видалена через спускні крани, установлені в нижній частині баків. Максимальний вміст води в гартівному маслі не повинен перевищувати 0,1%.

Обсяг масла в баку, у який занурюються при загартуванні і відгартуванні нагріті деталі, повинен у 4-6 разів перевищувати обсяг деталей, що завантажуються.

У процесі роботи необхідно візуально контролювати рівень масла в баку, щоб уникнути його викиду і загоряння (що можливо при відсутності пристрою автоматичного контролю рівня), а також стежити за справністю сигналізаторів перегріву масла і пристрою для аварійного зливання.

Для загартування необхідно застосовувати масло з температурою спалаху не нижче 170 °С.

Максимальна робоча температура нагрівання масла при загартуванні не повинна перевищувати 80 °С.

ж) Обробка деталей холодом повинна виконуватись згідно НПА ОП 28.5-1.02-07 «Правила охорони праці при термічній обробці металів».

Персонал, що працює з рідким азотом, повинен одягатися захисні окуляри або щитки з органічного скла. Одяг повинен бути без карманів, штани повинні закривати верхню частину взуття. Також необхідно користуватись бавовняними рукавицями, які у разі необхідності можна легко скинути.

Обробка сталевих деталей холодом здійснюється на спеціальних установках, які працюють на рідкому азоті. Баки для обробки холодом в рідкому азоті повинні виготовлятися з листового алюмінію або з нержавіючої сталі і мати подвійні стінки для забезпечення надійної теплоізоляції.

Зверху баки повинні закриватися теплоізованими кришками для зменшення випару азоту. Баки повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією. Під час заливання азотом баки повинні бути сухими і чистими.

У компресорних установках, які виробляють рідкий азот, для запобігання утворенню вибухонебезпечної суміші "масло-кисень", циліндри слід змазувати найбільш термічно стійкими маслами (П-28, ДО-28, "брайсток"), дистильованою водою і мильною емульсією, а також ретельно регулювати витрату масла відповідно до технічних норм.

Зріджений азот зберігають і перевозять у стаціонарних і транспортних посудинах (цистернах, танках), що обладнані високоефективною тепловою ізоляцією. Для зберігання і транспортування зрідженого газу в невеликій кількості слід використовувати криогенні посудини з обсягом до 40 л.

Холодильний газифікатор рідкого азоту повинний бути встановлений в окремому пожежобезпечному приміщенні з бетонною підлогою, з легкими покриттями і з дверима, що відкриваються назовні.

Вироби перед завантаженням у холодильник повинні бути ретельно очищені від слідів масла.

Для запобігання викиду рідкого азоту при зануренні садки бак слід не доливати до країв на 500...1000 мм залежно від обсягу садки і габаритів деталей, а відстань між деталлю, що занурюється в рідкий азот, і внутрішніми стінками бака повинна бути не менше 100 мм.

При термообробці в рідкому азоті маса садки деталей не повинна перевищувати 1/10 маси рідкого азоту.

з)

Необхідний рівень протирадіаційного захисту персоналу підприємства забезпечується:

- радіаційно-гігієнічними та організаційно-технічними заходами для забезпечення умов праці, що відповідають вимогам чинного законодавства України, норм радіаційної безпеки та Правил;

- обмеженням у встановленому порядку допуску до роботи з ДІВ осіб у залежності від їхнього віку, статі та стану здоров'я;

- достатністю захисних бар'єрів, включаючи фактори, що лімітують відстань до джерела і час роботи з ним;

- достатньою надійністю безвідмовністю конструкцій, механізмів, інших засобів та систем, що забезпечують низькі проектні рівні ймовірності критичних подій, що до джерел потенційно опромінюючих;

- системою підготовки і підтримки досить високої кваліфікації персоналу і дотриманням правил роботи з джерелом;
- забезпеченням персоналу лікувально-профілактичними засобами захисту від опромінення;
- організацією системи інформування про радіаційний стан;
- установленням контрольних рівнів.

Особи з персоналу залучаються до робіт із джерелами, лише після проходження навчання, у тому числі у центрах підготовки персоналу, інструктажу і перевірки знань правил безпеки ведення такого виду робіт і чинних на підприємстві інструкцій.

Персонал, що залучений до робіт із джерелами, проходить попередній медичний огляд до прийняття на роботу, а також періодичні медичні огляди (не рідше 1 разу на рік). До роботи допускаються особи, що не мають медичних протипоказань.

Обладнання, контейнери, упакування, апарати, приміщення, призначені для роботи з джерелами, повинні бути відмічені знаком радіаційної небезпеки.

3.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

и) Освітлення робочих зон повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018. «Природне і штучне освітлення» [25].

Приміщення з постійним перебуванням людей повинні мати природне освітлення. Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє та комбіноване, транспортоване та акумульоване.

Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне та чергове. Для загального штучного освітлення доцільно використовувати розрядні та світлодіодні джерела світла, які за однакової потужності з тепловими джерелами, мають більшу світлову віддачу. Лампи розжарювання можуть застосовуватися для освітлення проходів, для місцевого освітлення робочих місць, а також для аварійного або евакуаційного освітлення.

Для загального та місцевого освітлення приміщень необхідно використовувати джерела світла із колірною температурою від 2400 К до 6800 К. Інтенсивність ультрафіолетового опромінення діапазону 320...400 нм не повинна перевищувати 0,3 Вт/м². Випромінювання з довжиною хвилі 320 нм не допускається.

Для місцевого освітлення робочих місць слід використовувати світильники з відбивачами, що не просвічуються. Світильники повинні

розташовуватись так, щоб їх елементи, які світяться, не потрапляли в поле зору працюючих на освітленому робочому місці та інших робочих місцях. Місцеве освітлення робочих місць повинно бути обладнане регуляторами освітлення.

Робочі зони, в яких працівникам у випадку відключення штучного освітлення може загрожувати небезпека, обладнуються достатнім аварійним освітленням.

Аварійне освітлення, що вмикається автоматично в разі аварійного вимкнення робочого освітлення, передбачається на робочих місцях, технологічних ділянках, де неможливо негайно припинити роботи, і на ділянках, де раптове припинення технологічного процесу пов'язане з небезпекою для життя людей або великими економічними втратами.

Евакуаційне освітлення (для евакуації працівників із приміщення цеху) в разі аварійного вимкнення робочого освітлення повинно забезпечувати освітленість підлоги основних проходів і сходів.

Вікна, зокрема вікна верхнього світла, і вентиляційні отвори повинні забезпечувати працівникам можливість безпечно їх відкривати, закривати і регулювати. Вони повинні мати таку конструкцію, щоб у відкритому стані не створювати небезпеку для працівників.

Усі вікна і скляні перегородки повинні забезпечувати можливість захисту робочих зон від надмірного сонячного світла.

і) Організація системи повітрообміну

Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повинні забезпечувати оптимальні або допустимі мікрокліматичні умови в робочій зоні відповідно до вимог Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 № 42 (далі - ДСН 3.3.6.042-99), а також зниження вмісту в повітрі шкідливих речовин до значень, що не перевищують граничнодопустимі концентрації, регламентованих ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общесанитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [26].

У виробничих приміщеннях термічних цехів, де можливо раптове виділення в повітря робочої зони великої кількості шкідливих речовин, повинна бути передбачена аварійна вентиляція згідно з СНиП 2.04.05-91.

Аерацію виробничих приміщень слід здійснювати шляхом відкривання вікон і світлоаераційних ліхтарів, отворів вентиляційних шахт. Відкривання слід здійснювати за спеціально розробленою в організації інструкцією з урахуванням пори року і напрямків вітрів, а також з урахуванням

виключення можливості попадання шкідливих речовин з одного приміщення в інше.

У приміщеннях термічних цехів повинна використовуватися як природна, так і штучна вентиляція, а також вони повинні бути обладнані механічною загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією.

Вентиляційні системи повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.4.021-75 «Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования»

Повітрозабірні пристрої систем вентиляції слід розміщувати в найменш забрудненій зоні, при цьому нижній край патрубку повинен знаходитися на висоті не менше 2 м від рівня землі, а при розміщенні їх у зеленій зоні - на висоті не менше 1 м. Вхідні отвори повітрозабірних пристроїв повинні бути надійно захищені від влучення в них сторонніх часток, предметів та ін.

У залах обчислювальної техніки та інших приміщеннях при виконанні робіт операторського типу, пов'язаних з нервово - емоційною напругою, повинні підтримуватися оптимальні значення температури повітря (22...24°C), його відносної вологості (40...60 %) і швидкості руху (не більше 0,1 м/с) згідно з ДСН 3.3.6.042-99[27].

Термічні цехи повинні бути обладнані повітряними системами опалення, які поєднуються з припливною вентиляцією без рециркуляції.

3.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

й) У разі виникнення на підприємстві надзвичайних ситуацій і нещасних випадків роботодавець повинен вжити термінових заходів для евакуації працівників, надання першої медичної допомоги потерпілим, локалізації і ліквідації аварії або пожежі, усунення їх наслідків, за необхідності залучити зовнішні служби невідкладної медичної допомоги, професійні аварійно-рятувальні служби, підрозділи пожежної охорони.

Шляхи евакуації, аварійні виходи і підходи до них повинні бути вільними від будь-яких предметів, надавати можливість найкоротшого шляху на зовнішній простір або до безпечної зони і мати належні позначення (сигнальними кольорами, дороговказами, написами, знаками безпеки тощо) відповідно до Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25.11.2009 № 1262.

Шляхи евакуації і аварійні виходи мають забезпечуватися евакуаційним освітленням відповідно до вимог будівельних норм та правил улаштування електроустановок. Світильники евакуаційного освітлення повинні вмикатися з настанням сутінків у разі перебування в приміщеннях працівників.

Кількість, розташування і розміри шляхів евакуації і аварійних виходів визначаються відповідно до використання, облаштування і розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись так, щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів.

Рівень пожежної безпеки робочих зон, приміщень та інженерного устаткування повинен відповідати вимогам Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МНС України від 19.10.2004 № 126, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 4.11.2004 за № 1410/10009 (НАПБ А.01.001–04), та інших нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки.

Освітлювальні установки, електроустаткування, прилади для періодичного та автоматичного регулювання режиму роботи установок приготування контрольованих атмосфер і прилади для виміру температури повинні бути у вибухобезпечному виконанні.

При використанні в роботі горючих, вибухонебезпечних і шкідливих речовин необхідно дотримуватись вимог ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования».

В установках для приготування контрольованих атмосфер повинні бути передбачені необхідні блокувальні пристрої (зі світлозвуковою сигналізацією, що сповіщає працівників про небезпеку), які забезпечують відключення подачі вихідних газів в установку при порушенні режиму її роботи, а також відключення подачі контрольованої атмосфери в піч при аварійних ситуаціях.

Для запобігання перекидання полум'я в системи газопроводів на вводі перед генератором повинні бути встановлені мембранний вибуховий клапан і полум'ягасник (клапан від перекидання полум'я).

Шахтні електропечі, у яких використовуються контрольовані атмосфери вибухонебезпечного складу, повинні бути обладнані запобіжними вибуховими клапанами у верхній частині корпусу печі.

Щоб уникнути вибуху при проведенні процесів газової цементації подавання газового і рідкого карбюризатора, контрольованої атмосфери (зі змістом горючих газів більше 5%) в робочий простір печей повинно здійснюватися при температурі в печі не нижче 750°C.

Баки і ванни повинні бути обладнані пристроями контролю рівня і температури масла, щоб уникнути його виплесків і загоряння, а також установками пожежогасіння (на базі автоматичних порошкових вогнегасників) і системами вибухозаглушення. Устаткування необхідно оснастити пристроями автоматичного регулювання рівня масла, увімкнення і вимикання місцевої витяжної вентиляції, автоматичною звуковою і світловою сигналізацією про аварійний стан.

При здійсненні гартування в мінеральній олії занурення деталей варто виконувати на глибину понад 200 мм від поверхні, (для уникнення перегрівів спалахувань олії).

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Ринок теплостійких цементаційних сталей

Для виготовлення зубчастих коліс авіаційних двигунів найбільш широко застосовуються цементаційні сталі, оскільки після цементації, гартування та відпуску вони мають високу твердість цементованих поверхонь та значну ударну в'язкість їх серцевини, що запобігає появі тріщин та руйнуванню, підчас дії вібраційного навантаження.

Для авіаційних зубчастих передач застосовують леговані хромонікелеві марки сталей. За кордоном досить поширені сталі 3310, 3310H, E9310. В США для виготовлення зубчастих коліс застосовують сталь E9310 (еквівалент 12X2H4A) додатково легована молібденом (до 0,3%) для підвищення прогартуваності та зменшення зерна.

Сталь 13X3HBM2ФА (ВКС-4) використовується для виготовлення шестерень, валів, цапф, муфт та інших високонавантажених деталей, які піддаються дії значних контактних напружень та працюють при температурах до 400°C.

Зважаючи на специфіку використання сталі (цементовані авіаційні зубчаті колеса) обсяги виробництва незначні. На території України виготовленням цієї сталі займається ПАТ «Дніпроспецсталь»

ПАТ «Дніпроспецсталь» – ключовий виробник сортового прокату з легованих сталей на ринках СНД, а в Україні – безперечний лідер в даному сегменті.

Будучи однією з найбільших міжнародних компаній, «Дніпроспецсталь» розробляє, виробляє та реалізує продукцію з нержавіючих, швидкоріжучих, інструментальних, підшипникових, конструкційних легованих та вуглецевих сталей.

Застосовувані на заводі технології дозволяють отримувати високоякісні сталі та сплави, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості: машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні, авіакосмічній та нафтогазовидобувній галузях.

Географічне положення компанії дає значні переваги у виході на ринки СНГ та ЄС. Продукція «Дніпроспецсталі» має попит більш ніж в 60 країнах. Зберігаючи позиції лідера на внутрішньому ринку, «Дніпроспецсталь» посилює свій вплив в Росії, Європі, Америці та Азії, співпрацюючи з партнерами та дистриб'юторами в 15 країнах світу.

Зі сталі 13Х3НВМ2Ф-Ш виготовляють наступний сортамент (табл.4.1):

Таблиця 4.1 – Сортамент зі сталі 13Х3НВМ2Ф-Ш

Перетин	Спосіб виготовлення	Розміри, мм
Круг	Гарячекатаний без обточування	8...130
Круг	Кований без обточування	80...180
Круг	Гарячекатаний з обточуванням	130...250
Квадрат	Гарячекатаний без обточування	8...100
Квадрат	Кований без обточування	80...180

Також для виготовлення авіаційних зубчатих коліс, що зміцнюються цементациєю, використовують сталі наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Сталі для зубчатих коліс та їх температури експлуатації

Марка сталі	Темпер. експл., °С (макс.)	Марка сталі	Темпер. експл., °С (макс.)
12ХН3А	130...140	12Х2НВФА	200...210
12Х2Н4А	130...140	20Х3МВФ	250...270
18Х2НМА	130...140	13Х3НВМ2Ф	300...350
14ХГСН2МА	170...180	16Х3НВФМБ	270...300

Як видно з таблиці, інші сталі експлуатуються при нижчих температурах та не задовольняють високих вимог, що пред'являються до матеріалу виробу. Нижче наведено точні та найближчі зарубіжні аналоги для деяких із цих сталей:

1) 12ХН3А – аналоги:

а) США – 3415; б) Німеччина – 1.5732, 12Ni14, 14NiCr10, 14NiCr14; в) Японія – SNC815, SNC815H; г) Франція – 10NC11, 14NC11; д) Англія – 655M13; е) Іспанія – 15NiCr11; є) Болгарія – 12ChN3A; ж) Угорщина – BNC2; з) Польща – 12HN3A; и) Румунія – 13CrNi30q; і) Чехія – 16420.

2) 12Х2Н4А – аналоги:

а) США – 3310H, E3310, 3310X, G33106; б) Німеччина – 1.5752, 14NiCr14, X12Ni5; в) Японія – SNC815; г) Франція – 13NiCr14; д) Англія – 655M13, 655H13; е) Болгарія – 12Ch2N4A; є) Польща – 12H2N4A; ж) Чехія – 16420.

3) 14ХГСН2МА – аналоги:

а) Німеччина – 20MnCr5G; б) Франція – 20MC5; в) Китай – 20CrMnTi; г) Болгарія – 18ChGT; д) Польща – 18HGT; е) Румунія – 20TiMnCr12, 21TiMnCr12q; є) Чехія – 14223.

4.2 Техніко-економічні розрахунки

4.2.1 Характеристика продукції

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технології хіміко-термічної обробки цементованих авіаційних зубчастих коліс із сталі 13Х3НВМ2ФА.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базовий виріб	Новий виріб
1. Авіаційне зубчасте колесо	13Х3НВМ2ФА	13Х3НВМ2ФА
2. Технологія зміцнення	Цементация 1030°С з безпосереднім гартуванням в мінеральній олії; Обробка холодом в рідкому азоті при -196°С; Відпуск при 530°С (п'ятикратний)	Цементация 1030°С з безпосереднім гартуванням в мінеральній олії; Відпуск при 530°С (п'ятикратний)
Програма випуску, шт.	300	300

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.

Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Вартість основних матеріалів при хіміко-термічній обробці

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн.	Вартість, грн.	
			Базова технологія	Нова технологія
13Х3НВМ2ФА	300 кг	35 грн./кг	10 500	10 500
1	2	3	4	5
Електроенергія промислова	143 кВт*год.	2,68 грн./кВт*год.	383	383

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5
Ендогаз	30 л	10,5 грн. /л	315	315
Мінеральна олія (гартівна)	10 л	48 грн./л	480	480
Рідкий азот	100 л	4 грн./л	400	–
Разом	–	–	12 078	11 678

Примітка: оскільки нова технологія не передбачає застосування обробки холодом то пов'язані з нею витрати не враховуються.

Розрахунок витрати електроенергії. Основними споживачами електроенергії є цементацийна та відпускна печі. Цементацийна піч протягом всього періоду роботи споживає 68 кВт*год. Відпускна піч для здійснення одного відпуску потребує 15 кВт*год. електроенергії. Технологією передбачено здійснення п'яти відпусків тому сумарне споживання електроенергії становить 143 кВт*год.

Розрахунок витрати ендогазу. Для якісного здійснення процесу цементациї необхідно щоб в цементацийну піч надходило 10 літрів ендогазу щогодини. Тривалість процесу становить 3 години тому витрата ендогазу становить 30 л.

Основна заробітна плата (ЗО) 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 4.5.

Таблиця 4.5 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.	
				Базова технологія	Нова технологія
Цементация	4	5	60	240	240
Гартування	0,25	5	60	15	15
Обробка холодом	0,25	5	60	15	–
Відпуск	7,5	5	60	450	450
Усього	12	–	–	720	705

Примітка: в таблиці виконано розрахунки вартості обробки 1 садки, яка складається з 300 деталей.

Додаткова заробітна плата (ЗД) 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 відповідно становить 288 гривень та 282 гривні для базової та нової технологій, відповідно.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22 % від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою наведеною нижче(форм 4.1):

$$BC = (ZO + ЗД + ПП) \cdot (K_{BC}/100), \text{ грн.}, \quad (4.1)$$

де ZO – основна заробітна плата, грн.; ЗД – додаткова заробітна плата, грн.; ПП – премії з прибутку, грн.; K_{BC} – відрахування на соціальні заходи, %.

$$BC = (720 + 288 + 100) \cdot (22/100) = 244 \text{ грн.}, - \text{ для базової технології};$$

$$BC = (705 + 282 + 100) \cdot (22/100) = 240 \text{ грн.}, - \text{ для нової технології}.$$

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на 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. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400 % до основної заробітної плати та відповідно становлять 2 880 гривень та 2 820 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість. Вона становить 16 210 гривень та 15 575 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно – управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 500 % від основної

заробітної плати основних виробничих робітників і становлять 3 600 гривень та 3 525 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

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 становлять 324 гривні та 312 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

Повна собівартість є сумою виробничої собівартості, адміністративних витрат та витрат на збут. Вона складає 20 134 гривні та 19 412 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

Прибуток складає 30% від повної собівартості і складає 6 040 гривень та 5 824 гривні для базової та нової технологій, відповідно.

Оптова ціну визначають як суму повної собівартості та прибутку. Оптова ціна становить 26 174 гривні та 25 236 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20 % від оптової ціни і становить 5 235 гривень та 5 047 гривень для базової та нової технологій, відповідно.

Ціну продажу виробу розраховується як суму оптової ціни та податку на додану вартість. Ціна продажу виробу становить 31 409 гривень та 30 283 гривні для базової та нової технологій, відповідно.

Калькуляція собівартості та ціни продукції наведена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Калькуляція собівартості термообробки однієї садки

Статті витрат	Базова технологія, вартість грн.	Нова технологія, вартість грн.
1	2	3
1. Сировина і основні матеріали	12 078	11 678
2. Основна заробітна плата основних виробничих робітників	720	705
3. Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	288	282
4. Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	244	240
4. Загальновиробничі витрати	2 880	2 820
5. Собівартість виробнича	16 210	15 575
6. Адміністративні витрати	3 600	3 525
7. Витрати на збут	324	312
8. Собівартість повна	20 134	19 412

Продовження таблиці 4.6

9. Прибуток	6 040	5 824
10. Ціна оптова	26 174	25 236
11. Податок на додану вартість	5 235	5 047
12. Ціна продажу	31 409	30 283
13. Змінні витрати	13 654	13 221
14. Постійні витрати	6 480	6 345

4.2.2 Економічна ефективність

Розраховується економічна ефективність інноваційного проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;
- питомі показники ефективності;
- беззбитковість виробництва;
- термін окупності додаткових капітальних вкладень;
- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів. Розрахунок економії витрат наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Економія витрат на виробництво

Найменування показника	Норма використання		Ціна, грн.	Вартість, грн.		Економія, грн.
	базовий виріб	новий виріб		базовий виріб	новий виріб	
1	2	3	4	5	6	7
13ХЗНВМ2ФА	300 кг	300 кг	35 грн./кг	10 500	10 500	0
Електроенергія промислова	143 кВт*год.	143 кВт*год.	2,68 грн./кВт*год.	383	383	0
Ендогаз	30 л	30 л	10,5 грн. /л	315	315	0
Мінеральна олія (гартівна)	10 л	10 л	48 грн./л	480	480	0
Рідкий азот	100 л	—	4 грн./л	400	—	400
Цементация	4 год.	4 год.	60 грн./год.	240	240	0

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6	7
Гартування	0,25 год.	0,25 год.	60 грн./год.	15	15	0
Обробка холодом	0,25 год.	–	60 грн./год.	15	–	15
Відпуск	7,5 год.	7,5 год.	60 грн./год.	450	450	0
Разом	–	–	–	12 798	12 383	415

$$E = C_b * K - C_n = 20\,134 * 1,4 - 19\,412 = 8\,775,6 \text{ грн.}$$

де E – економічний ефект від впровадження нової технології термообробки; C_b – собівартість базового виробу, грн.; C_n – собівартість нового виробу, грн.; $K = 1,4$ – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу.

Беззбитковість виробництва вміщує розрахунок критичного обсягу виробництва продукції. Точка беззбитковості наводиться на рисунку 4.1.

Оскільки за 1 раз обробляється 300 деталей то змінні витрати на одиницю продукції становлять $13\,221 / 300 = 44,07$ грн. /од. продукції, а ціна відповідно становить $30\,283 / 300 = 100,94$ грн. /од. продукції.

Математично точка беззбитковості (BEP) може бути очевидно визначена за формулою 4.2:

$$BEP = \frac{FC}{P - AVC}, \text{ (од. продукції)} \quad (4.2)$$

$$BEP = \frac{6345}{100,94 - 44,07} = 111,6 = 112 \text{ деталей}$$

Величина $(P - AVC)$ носить назву питомої (на одиницю продукції) маржинальної прибутку. Якщо відома її частка (норма) в ціні виробу, точка беззбитковості може бути розрахована (в грошовому вираженні) наступним чином:

$$BEP = \frac{\text{Постійні витрати}}{\text{Норма маржинального прибутку}}$$

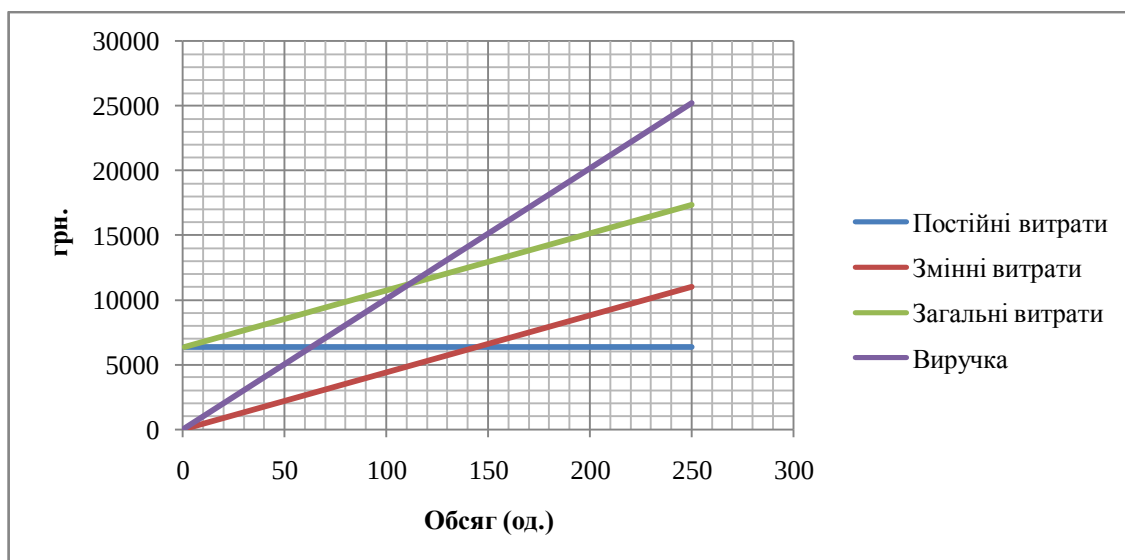


Рисунок 4.1 – Розрахунок беззбитковості виробництва

4.3 Висновки

В економічній частині було розраховано вартість базової та нової технологій хіміко-термічної обробки зубчастих коліс. Економічний ефект від впровадження нової технології термообробки становить 8 775,6 грн. Також було встановлено, що для покриття витрат на виробництво необхідно продати 112 зубчастих коліс, а продаж більш ніж 112 одиниць продукції буде приносити прибуток.

ВИСНОВКИ

Особливості карбідоутворення та формування властивостей цементованої сталі 13X3HBM2ФА при її відпуску на вторинну твердість:

1) хімічний та фазовий склад карбідів залежить від вхідної перед відпуском структури (аустенітної чи мартенситної);

2) після відпуску сталі із вхідною аустенітною структурою при температурі 530...540°C карбідна фаза більш легована молібденом, вольфрамом, ванадієм, що обумовлює їх підвищену стійкість до коагуляції;

3) утворення карбідів у вхідних аустенітних зразках розпочинається від температури 400...450°C, при яких можливе формування спеціальних карбідів, у вхідних мартенситних зразках від 150...200°C, тобто температур утворення карбідів цементитного типу;

4) частка карбідів в цементованій сталі, відпущеній із вхідного аустенітного стану, складає 9,2...10,5%, а у вхідних мартенситних 12,6...13,0%; це означає, що в першому випадку на утворення спеціальних карбідів втрачається менше легувальних елементів і більшу легованість твердого розчину, отриманого із вхідного аустенітного стану;

5) більша легованість карбідної та α -фази пояснює вищу на 3...4 HRC твердість цементованої сталі 13X3HBM2ФА після її відпуску 530...540°C на вторинну твердість із вхідного аустенітного стану порівняно із таким же відпуском із вхідного мартенситного стану.

Після здійснення реконструкції печі вона тепер відповідає поставленим до неї вимогам та придатна для здійснення цементації за даним режимом. Враховуючи виконані модифікації нова назва печі: СШЦМ-6.12/10,5.

В економічній частині було розраховано вартість базової та нової технологій хіміко-термічної обробки зубчастих коліс. Економічний ефект від впровадження нової технології термообробки становить 8 775,6 грн. Також було встановлено, що для покриття витрат на виробництво необхідно продати 112 зубчастих коліс, а продаж більш ніж 112 одиниць продукції буде приносити прибуток.

Використання даної технології хіміко-термічної обробки сталі 13X3HBM2ФА без обробки холодом є обґрунтованим, оскільки на нашу думку, завдяки більшій твердості, зростуть зносостійкість, контактна витривалість та довговічність зубчастих коліс.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Цементуемая сталь: а. с. 375997 СССР, МКИ С22С 39/50 / Алексеева Г. П., Алексеенко М. Ф., Банас И. П., Грибова М. М., Лазечный И. Н., Осадчий А. Н., Пархоменко Г. П., Шамиль Ю. П., Шопов И. И. – № 375997; заявл. 23.07.1971; опубл.: 07.10.1981, Бюл. № 37.
2. Лазечный І.М., Степанова Л.П., Лисиця О.В., Палубінський О.Є. Карбідоутворення при відпуску цементованої сталі 13Х3НВМ2ФА та його вплив на властивості шару. *Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні*. 2019 № 1. с.12-19.
3. Натапов Б.С. Термическая обработка металлов: Учеб. Пособие для вузов. Киев: Вища школа, 1980. 288 с.
4. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под. ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. Москва : Машиностроение, 1980. 783 с.
5. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. Москва : Металлургия, 1983. 527с.
6. Кораблев В.А., Обухов В.Д., Устиновщиков Ю.И. Влияние хрома на скорость процессов карбидообразования при отпуске. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1975 № 12. с. 54-56.
7. Павлова Л.П., Геллер Ю.А. Влияние отпуска на дисперсионное твердение быстрорежущих сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1967 № 4. с 43-44.
8. Заблочный В.К., Брусиловский Б.А., Зубов Е.С., Иванов Ф.И. О двукратном отпуске быстрорежущих сталей. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1973 № 3. с. 54-55.
9. Лазечный И.Н. Формирование при ХТО структуры и свойств цементуемых сталей различной теплостойкости. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2005. № 6, с.37-44.
10. Винокур Б. Б. Влияние вольфрама на карбидообразование в стали 30ХГ. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1979. №3. с.9-13.
11. Электротермическое оборудование: справочник / под ред. А.П. Альтгаузена. Москва: Энергия, 1980. 416 с.
12. Методичні вказівки до курсового проекту «Розрахунки і конструювання нагрівальних пристроїв» (для студентів спеціальності Прикладне матеріалознавство) / Укл. А.Л. Бондаренко, І.М. Лазечний. Запоріжжя : ЗДТУ, 1998. 72с.

13. Мaстрюков Б.С. Теория, конструкции и расчёты металлургических печей. Том 2. Расчёты металлургических печей: учебник / Под ред. В.А. Кривандина. Москва: Металлургия, 1986. 376 с.

14. Василькова С.Б., Генкина М.М., Гусовский В.Л. Расчёт нагревательных и термических печей: справочник / под ред. В.М. Тымчака и В. Л. Гусовского. Москва : Металлургия, 1983. 482 с.

15.

Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників в [Електронний ресурс] : НПА ОП 0.00-7.11-12. URL: <https://dnaop.com/get/31581/>

16. Санітарні норми мікроклімату в виробничих приміщеннях [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. URL: <https://dnaop.com/get/31678/>

17. ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования. [Електронний ресурс] : ГОСТ 12.4.124-83. URL: <https://dnaop.com/get/2175/>

18. Правила улаштування електроустановок. [Електронний ресурс] : ПУЕ-2017. URL: <https://art-energetyka.com.ua/Правила-улаштування-електроустановок.pdf>

19. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. [Електронний ресурс] : НПА ОП 0.00-1.71-13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>

20. Устаткування метало- та деревообробне. Загальні вимоги безпеки і методи випробувань. [Електронний ресурс] : ДСТУ 2807-94. URL: online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=52972

21. Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом. [Електронний ресурс] : НПА ОП 28.0-1.30-12. URL: <https://dnaop.com/get/32343/>

22. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості. [Електронний ресурс] : НПА ОП 27.0-3.01-08. URL: <https://dnaop.com/get/32412/>

23. ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности. [Електронний ресурс] : ГОСТ 12.3.003-86. URL: <https://dnaop.com/get/42213/>

24. Правила охорони праці при термічній обробці металів. [Електронний ресурс] : НПА ОП 28.5-1.02-07. URL: <https://dnaop.com/get/32418/>

25. Природне і штучне освітлення. [Електронний ресурс] : ДБН В.2.5-28:2018. URL:

https://ledeffect.com.ua/images/__branding/dbn2018.pdf

26. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Електронний ресурс] : ГОСТ 12.1.005-88. URL:

http://www.engineeringresurs.ru/sites/default/files/gost_12_1_005_88.pdf

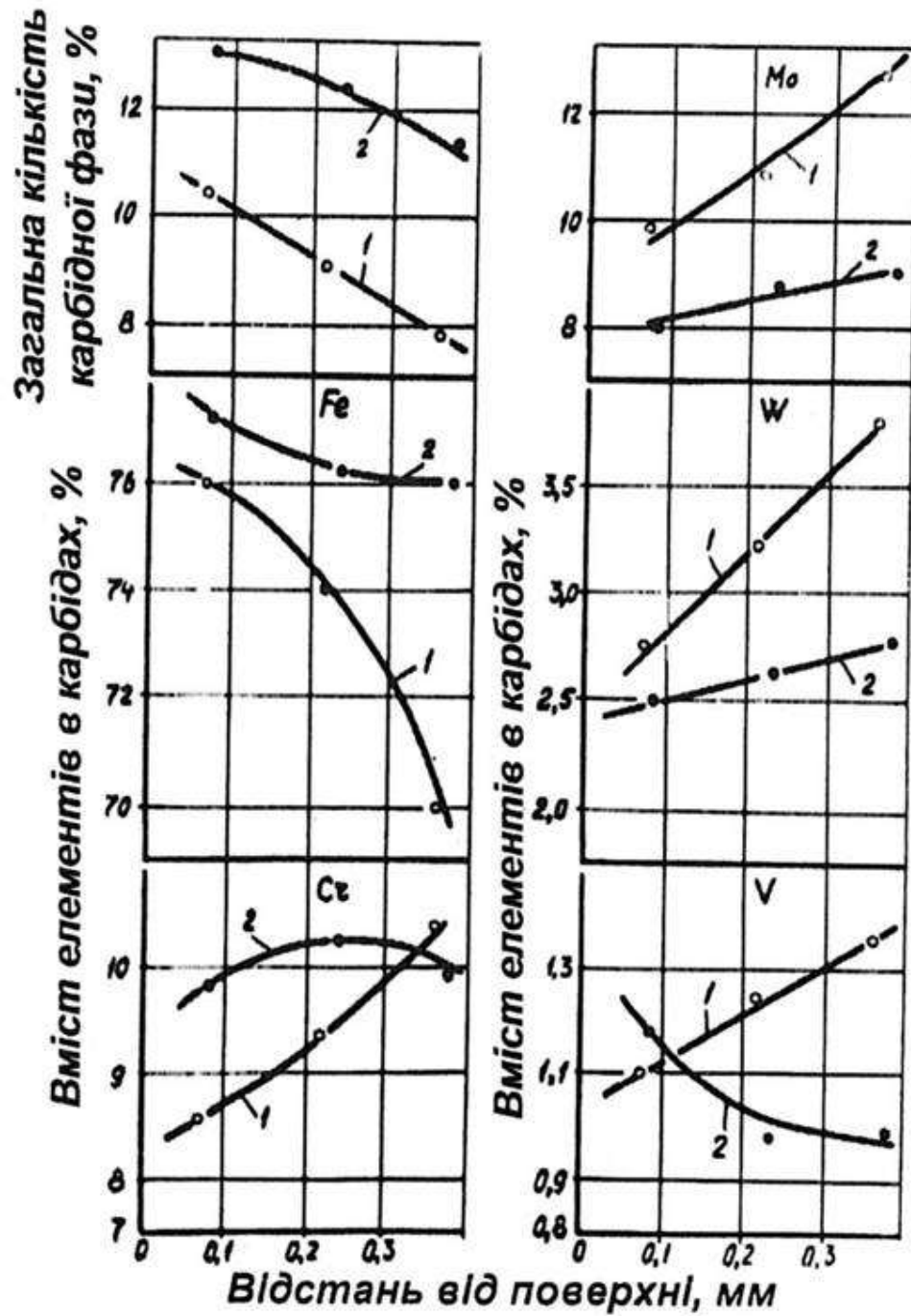
27. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений. [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. URL:

<https://dnaop.com/get/31678/>

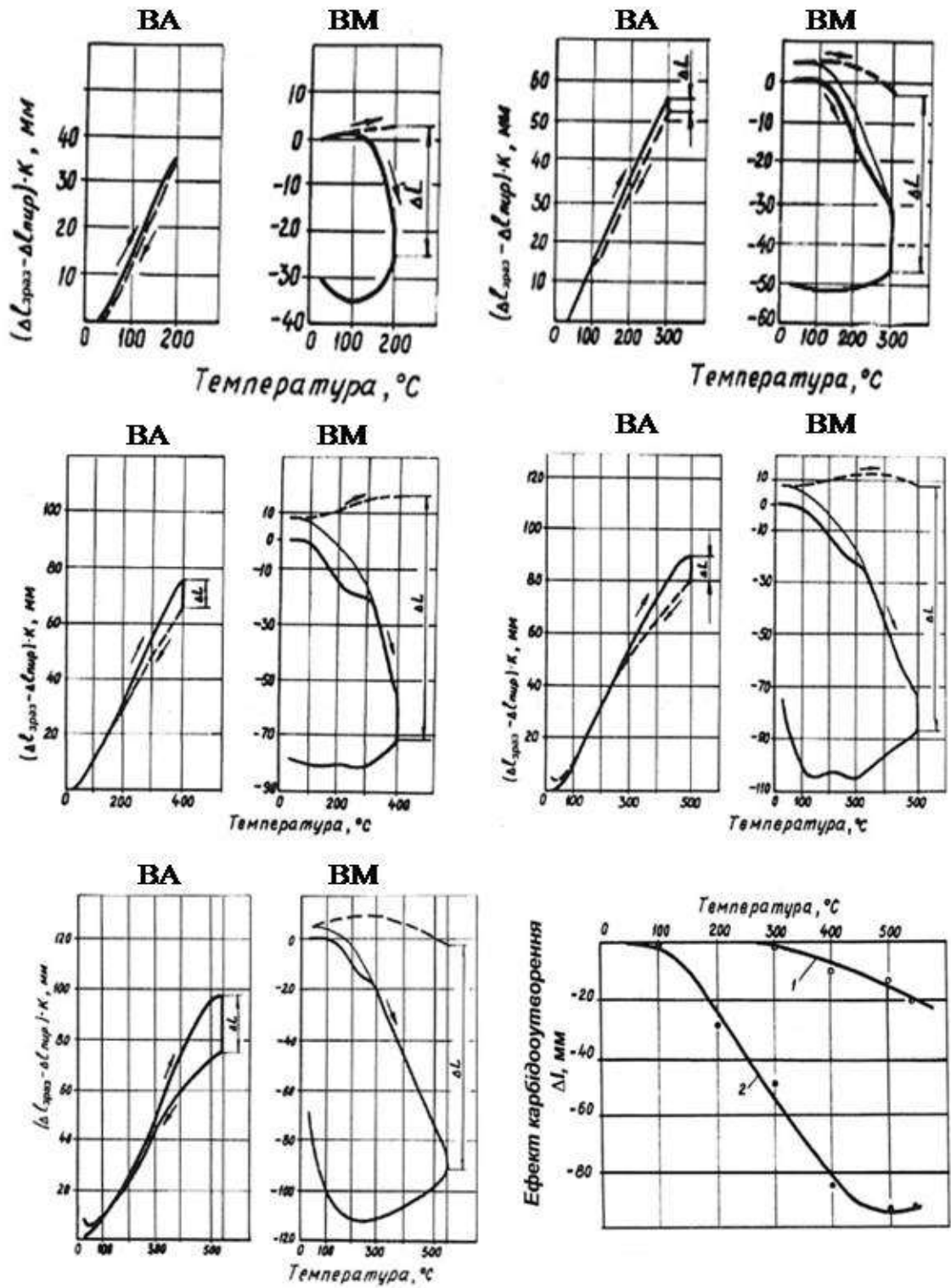
ДОДАТОК А ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

Розподіл легувальних елементів в карбідній фазі цементованої сталі 13ХЗНВФА по глибині шару

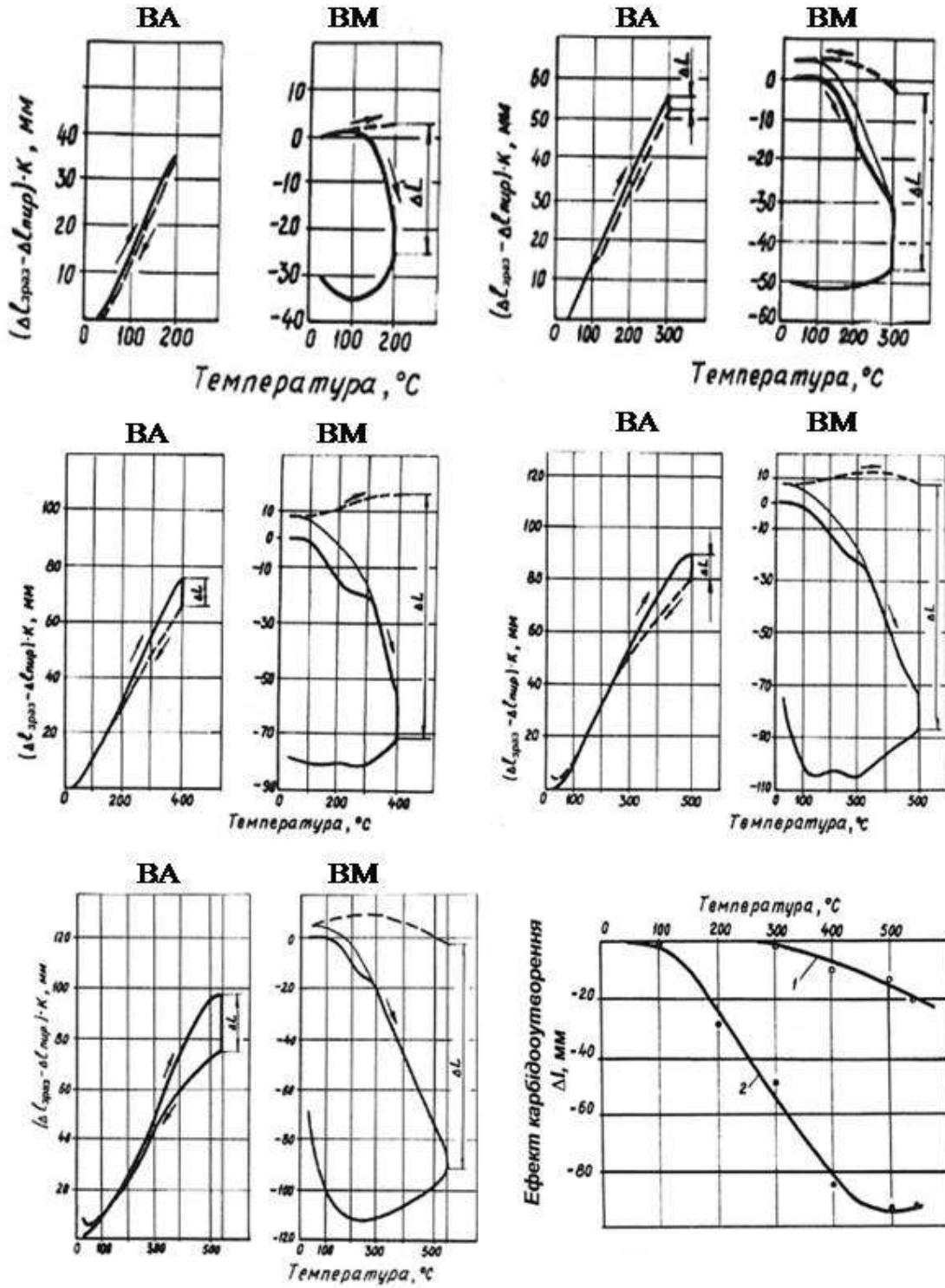
1 – ВА зразки, 2 – ВМ зразки



Дилатограми відпуску цементованих зразків із сталі 13ХЗНВМ2ФА

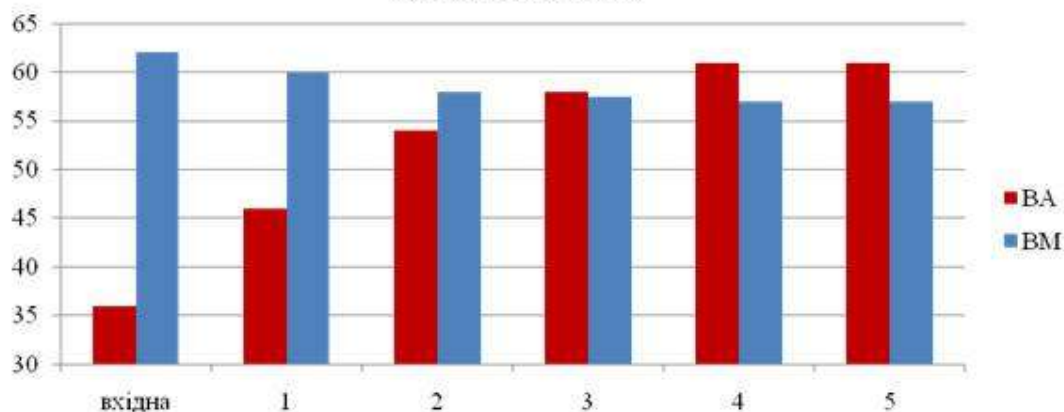


Дилатограми відпуску цементованих зразків із сталі 13ХЗНВМ2ФА

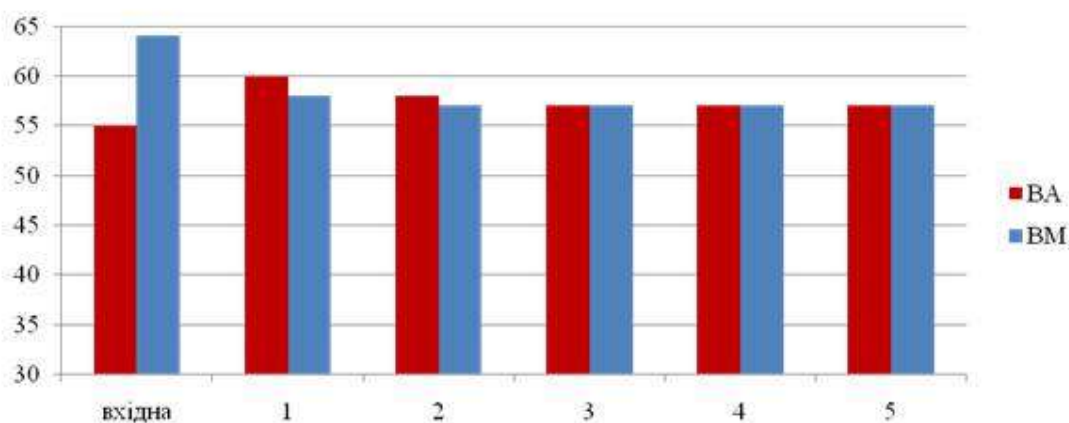


Зміна твердості цементованих поверхонь по відпускам із зразків

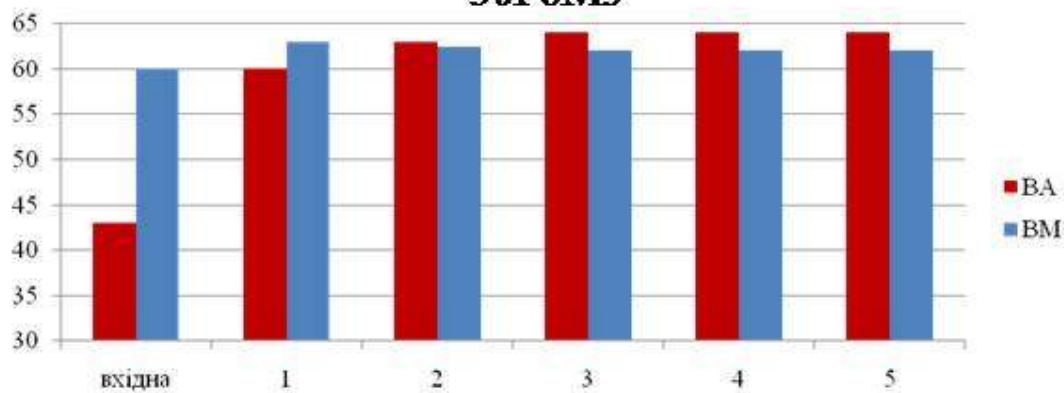
13X3HBM2Ф



16X3HBFMB



30P6M5



Висновки і рекомендації

- 1) хімічний та фазовий склад карбідів залежить від вхідної перед відпуском структури (аустенітної чи мартенситної);
- 2) після відпуску сталі із вхідною аустенітною структурою при температурі 530...540°C карбідна фаза більш легувана молібденом, вольфрамом, ванадієм, що обумовлює їх підвищену стійкість до коагуляції;
- 3) утворення карбідів у вхідних аустенітних зразках розпочинається від температури 400...450°C, при яких можливе формування спеціальних карбідів, у вхідних мартенситних зразках від 150...200°C, тобто температур утворення карбідів цементитного типу;
- 4) частка карбідів в цементованій сталі, відпущеній із вхідного аустенітного стану, складає 9,2...10,5%, а у вхідних мартенситних 12,6...13,0%; це означає, що в першому випадку на утворення спеціальних карбідів витрачається менше легувальних елементів і більшу легуваність твердого розчину, отриманого із вхідного аустенітного стану;
- 5) більша легуваність карбідної та σ -фази пояснює вищу на 3...4 HRC твердість цементованої сталі 13X3HBM2ФА після її відпуску 530...540°C на вторинну твердість із вхідного аустенітного стану порівняно із таким же відпуском із вхідного мартенситного стану.
- 6) використання даної технології хіміко-термічної обробки сталі 13X3HBM2ФА без обробки холодом є обґрунтованим, оскільки на нашу думку, завдяки більшій твердості, зростуть зносостійкість, контактна витривалість та довговічність зубчатих коліс.