

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра прикладного матеріалознавства і технології  
конструкційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
завідувач кафедру  
Гапонова О.П.

\_\_\_\_\_

дата, підпис

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ДЛЯ ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

за напрямом підготовки 132«Матеріалознавство»

Тема роботи : «Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення і термічної обробки деталі «шевер»

Виконав(ла):  
студент Ольховик Катерина Євгенівна

Керівник:  
Харченко Надія Анатоліївна

Залікова книжка № 17510045

\_\_\_\_\_

дата, підпис

\_\_\_\_\_

підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:  
Сидоренко Ю.Ю.

\_\_\_\_\_

оцінка, дата

\_\_\_\_\_

дата, підпис

Суми 2021

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»  
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедрою

Гапонова О. П.

\_\_\_\_\_  
дата, підпис

**ЗАВДАННЯ  
ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

**Ольховик Катерини Євгенівни**

1. Тема проекту(роботи): «Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «шевер» затверджена Наказом по університету від «30» березня 2021 р. № 0136-VI
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проекту(роботи) Креслення шевера та вимоги до нього вказані на кресленні (додаток А) \_\_\_\_\_
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) Аналіз умов роботи деталі, літературний огляд, вибір матеріалу та методів дослідження, маршрутна технологія виготовлення деталі, розрахунково-експериментальна частина.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, графік термічної обробки деталі, план розробленого термічного відділення.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалів	Квітень-травень 2021	Виконано
2	Огляд літератури	Травень 2021	Виконано
3	Характеристика матеріалів деталі	Травень 2021	Виконано
4	Розробка маршрутної технології виготовлення деталі	Травень 2021	Виконано
5	Розрахунково-експериментальна частина	Травень-червень 2021	Виконано

1. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота: складається з 61 сторінок, 5 розділів, 17 рисунків, 5 таблиць, 31 літературних джерел, 5 додатки на 5 сторінках.

Об'єкт дослідження: шевер зі сталі Р6М5

**Мета роботи** – підвищення експлуатаційних властивостей деталі «шевер», аналіз умов експлуатації деталі; вибір матеріалу та раціональних режимів термічної обробки; розробка маршрутної технології виготовлення виробу; проектування плану термічної дільниці.

**Завдання:** проаналізувати умови роботи деталі; провести аналіз літературних джерел; раціонально призначити матеріал для виготовлення деталі; розробити технологічний процес та термічну обробку виробу; підібрати основне та допоміжне термічне обладнання та спроектувати термічну дільницю.

В ході роботи було проаналізовано умову роботи деталі «шевер» та сформульовано вимоги до матеріалів, з якого виріб виготовляється. Ґрунтуючись на результатах літературного огляду призначена марка сталі, розроблена маршрутна технологія виготовлення деталі «шевер», запропоновано оптимальний режим термічної обробки деталі та поверхнева обробка - карбонітрація. Досліджено структуру та властивості сталі після термічної обробки. Проведений вибір основного і допоміжного обладнання та базуючись на річній програмі розрахована необхідна кількість обладнання та спроектовано термічну дільницю.

**Методи дослідження** – мікроструктурний аналіз, визначення макро- та мікротвердості, карбідної неоднорідності.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ШЕВЕР, ІНСТРУМЕНТ, Р6М5, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	4
<b>ЗМІСТ</b> .....	5
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1</b> .....	8
<b>ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ</b> .....	8
1.1. Аналіз умов роботи деталі.....	8
1.2. Причини виходу з ладу деталі «шевер».....	12
1.3. Висновки .....	13
<b>РОЗДІЛ 2</b> .....	14
<b>ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	14
2.1 Методи поверхневої обробки .....	14
2.2 Висновки.....	19
<b>РОЗДІЛ 3</b> .....	20
<b>ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	20
3.1. Вибір матеріалу деталі «шевер» .....	20
3.2 Опис впливу легуючих елементів на властивості матеріалу .....	23
3.3 Методи дослідження (контроль якості) .....	25
3.3.1 Металографічний аналіз .....	25
3.3.2. Випробування на твердість.....	28
3.3.3. Випробування на мікротвердість .....	30
3.3.4 Оцінка карбідної неоднорідності .....	31
3.4. Висновок.....	32
<b>РОЗДІЛ 4</b> .....	33
<b>РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ</b> .....	33
4.1. Розробка маршрутної технології виготовлення деталі .....	33
4.2. Висновки.....	38
<b>РОЗДІЛ 5</b> .....	39
<b>РОЗРАХУНКОВО – ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	39
5.1 Вибір термічної обробки деталі .....	39
5.1.1. Ізотермічний відпал.....	39

5.1.2. Остаточна термічна обробка.....	40
5.2. Вибір та розрахунок необхідного обладнання .....	44
5.3. Планування термічної ділянки.....	49
5.4. Висновок.....	50
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	52
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	54
Додаток А .....	57
Додаток Б.....	58
Додаток В .....	59
Додаток Г.....	60
Додаток Д .....	61

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Сучасність вимагає від виробників застосування ефективних методів корегування експлуатаційних властивостей виробів машинобудування. Інструмент «шевер дисковий» є зубчасте колесо, яке має на бічних поверхнях зубів ріжучі кромки, утворені поперечними канавками.

Металорізальне обладнання, яке в наші дні використовується в самих різних галузях промисловості, а також в побуті, допускає використання різних видів ріжучого інструменту. Шевера дискові - це інструменти високої точності, призначені для чистової обробки зубчастих коліс [1]. Один з методів поверхневої обробки шевера – карбонітрація. Карбонітрація – це високоефективна технологія поверхневого зміцнення деталей машин, штампової і пресової оснастки різного призначення, ріжучого інструменту [2].

**Мета роботи** – підвищення експлуатаційних властивостей деталі «шевер», аналіз умов експлуатації деталі. Вибір матеріалу та раціональних режимів термічної обробки. Розробка маршрутної технології виготовлення виробу. Вибір обладнання для проведення термічної обробки. Проектування плану термічної ділянки.

**Завдання:** проаналізувати умови роботи деталі; провести аналіз літературних джерел; раціонально призначити матеріал для виготовлення деталі; розробити технологічний процес та термічну обробку виробу; підібрати основне та допоміжне термічне обладнання та спроектувати термічну ділянку.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

#### 1.1. Аналіз умов роботи деталі

Шевер є зубчасте колесо або рідше зубчаста рейка, які мають на бічних поверхнях зубів ріжучі кромки, утворені поперечними канавками. Шевер і колесо, яке обробляється, встановлюють на верстаті з метою забезпечення відносного прослизання [1]. Шевери застосовують для чистового оброблення прямозубих і косозубих коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення після попереднього їх нарізування [3].



Рисунок 1.1 – 3Д модель шевера



В даний час є три види шевера:

- черв'ячні шевери - це робочий черв'як з насічками (зубці / канавки) невеликого розміру, розташованими на бічній частині гвинтів (рис.1.1, а). Зубці наносяться на деталь радіально або ж під кутом 7-10 градусів. Шевера черв'ячного типу виготовляються в строгій відповідності з технічним завданням, висунутій до конкретного виду виробу або деталі. Використовуються для обробки черв'ячних коліс [4].
- рейкові шевери (рис.1.1, б). Інструмент проводиться методом поелементного складання: з зубчастої і косозубої рейки. Сфера застосування - обробка коліс циліндричної форми з зубцями прямого / гвинтового виду [4].
- дискові шевери - найпоширеніший різновид (рис.1.1, в).. Зовнішній вигляд - колесо циліндричної форми з зубами гвинтового типу. Основним матеріалом для виготовлення шевера служать інструментальні матеріали з високими показниками міцності [4].

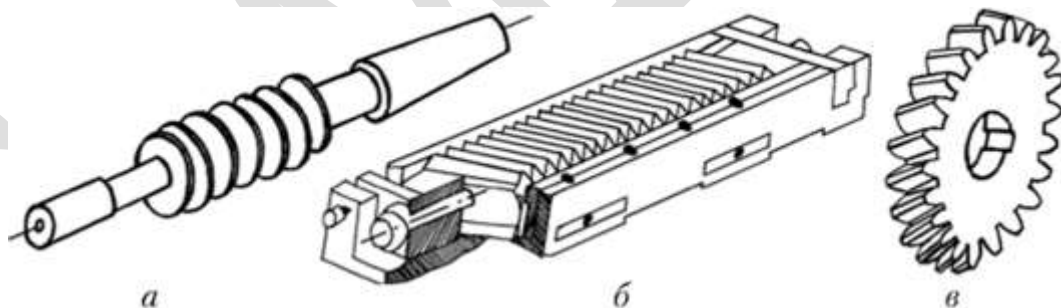


Рисунок 1.2 – Типи шеверов: *а* — черв'ячний; *б* — рейковий; *в* — дисковий [5]

Шевінгування базується на знятті (соскоблюванні) з бічних поверхонь зубів стружки товщиною від 0,005 до 0,1 мм ріжучими крайками інструмента при відносному ковзанні профілів зубів оброблюваного колеса і інструменту – шевера [1]. Для створення руху різання використовується відносне ковзання поверхонь зубів у процесі зачеплення профілів косозубих коліс (рис.1.2).

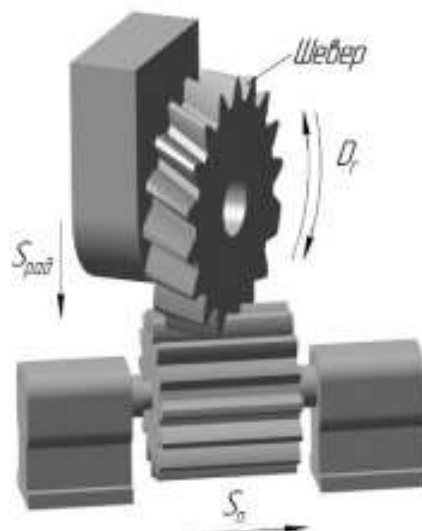


Рисунок 1.3 – Процес шевінгування [3]

Під час шевінгування шевер і оброблюване колесо перебувають у безззорному зачепленні. У більшості конструкцій верстатів шевер – ведуча ланка, а оброблюване колесо – ведене і вільно обертається в центрах. Поздовжня подача  $S_p$  здійснюється столом верстата, на якому встановлюється оброблюване колесо. Після кожного проходу колеса напрям поздовжньої подачі змінюється. Напрямок обертання шевера і поздовжньої подачі погоджені між собою. Якщо обертання шевера  $D_r$  змінюється зі зміною напрямку поздовжньої подачі, то це робота з реверсуванням. Проте іноді шевінгування здійснюється без зміни напрямку обертання шевера при зміні напрямку подачі – робота без реверсування. Для зближення осей шевера і оброблюваного колеса до одержання необхідних розмірів зубів існує радіальна подача  $S_{rad}$  у кінці поздовжнього ходу після кожного проходу або після подвійного проходу в прямому і зворотному напрямках [3].

Призначення - під чистове обробка циліндричних коліс зовнішнього зачеплення з прямим і спіральним (гвинтовим) зубом в умовах серійного і масового виробництва [1].

Процес шевінгування відтворює процес зношування косозубих коліс, підвищуючи його інтенсивність за рахунок утворення різальних кромek на поверхнях зубів інструмента [3].

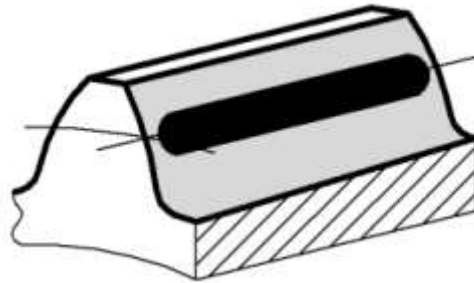


Рисунок 1.4 – Пляма контакту [3]

Відомо, що зубчасті колеса найбільш інтенсивно зношуються у зоні плями контакту (рис.1.3.), а також дещо менше – на головці зуба. Тому якщо шевер буде мати звичайний евольвентний профіль зубів, то профіль зубів оброблюваного колеса буде спотворений (через різну інтенсивність зрізування металу на різних його ділянках, рис.1.4., а). Величини відхилень залежать від матеріалу оброблюваного колеса і тривалості шевінгування. Щоб уникнути цього, профіль зубів шевера піддають відповідному виправленню – корекції [3].

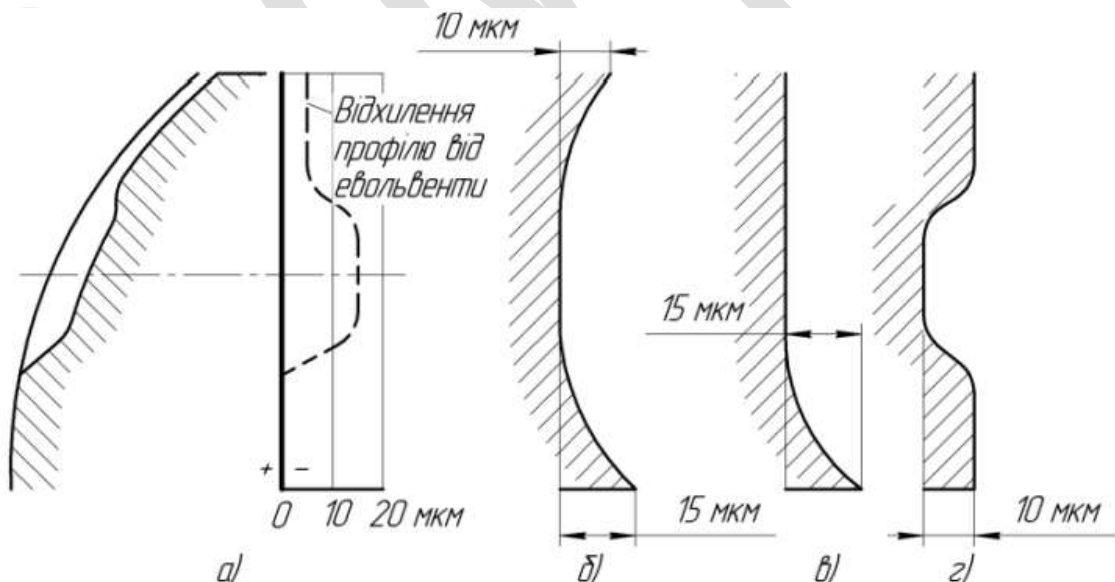


Рисунок 1.5 – Корекція зубів шевера [3]

Коригування профілю роблять відповідно до відхилень профілю зубів колеса, що утворюються під час шевінгування. В середньому це 15 мкм у зоні плями контакту і близько 5 мкм на головці зуба.

Реальна величина і форма коригування залежать від багатьох чинників: від призначення, розмірів і форми зубів зв'язаних коліс, матеріалу, попереднього і подальшого оброблення, тривалості шевінгування. Якщо головку і ніжку зуба шевера зробити товщими на 15 і 10 мкм відповідно (рис.1.4., б), то тоді після шевінгування (з урахуванням підвищеної інтенсивності зрізування металу в зоні плями контакту) утворений профіль зуба колеса буде максимально наближений до евольвенти.

Якщо колесо піддається фланкуванню, то тоді немає потреби уточнювати профіль головки зуба колеса і достатньо потовщення головки зуба шевера (рис.1.4., в). Третій метод коригування передбачає стоншення зуба шевера в зоні найвищої інтенсивності видалення металу на 10 мкм (рис.1.4., г). Водночас евольвента відтворюється з точністю  $\pm 5$  мкм.

Такі кількісні значення параметрів корекції профілю зуба шевера визначені для умови підвищення точності оброблюваного колеса на одиницю. виправляють неточності зубчастих коліс за кроком, профілем, напрямом зубів і биттям профілю. Накопичену похибку кроку шевінгуванням не виправляють [3].

## **1.2. Причини виходу з ладу деталі «шевер»**

Конструкція зубів зубчастих коліс повинна відповідати основному закону зачеплення - профілі зубів повинні бути такими, щоб загальна нормаль в точках їхнього зіткнення в будь-який момент часу зачеплення проходила б через одну і ту ж постійну точку, що лежить на лінії центрів коліс, при цьому точка повинна ділити лінію центрів на відрізки, довжини яких назад пропорційні кутовим швидкостям коліс [3].

Деталь шевер під час експлуатації піддається:

- вигину при максимальному одноразовому навантаженні,
- вигину при багаторазових циклічних навантаженнях, внаслідок чого в корені зуба розвиваються найбільші навантаження, і може відбуватися втомне руйнування, так само в процесі експлуатації відбувається знос поверхневого шару [6].

Причинами виходу з ладу зубів шевера також можуть бути перевантаження, одностороннє навантаження на зуб, пошкодження матеріалу виробу, удари, падіння при роботі, попадання сторонніх предметів і т.д.

### **1.3. Висновки**

Охарактеризовано конструкцію та призначення виробу, а також проаналізовано умови його роботи. Розглянуті основні поняття та різновиди деталі «шевер». Вивчено питання призначення інструменту, проаналізовані умови роботи.

Проаналізовані можливі причини виходу з ладу деталі. Встановлено, що знос поверхневого шару викликаний високою шорсткістю поверхні оброблюваної деталі є основною причиною непрацездатності деталі шевер.

Проаналізувавши умови роботи, деталі «шевер» нами були сформульовані основні вимоги до даного виробу, а саме: підвищена зносостійкість, втомна міцність при контактному навантаженні, твердість 64-66 HRC.

## РОЗДІЛ 2

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 2.1 Методи поверхневої обробки

Найбільш перспективним для зміцнення такого інструменту можна вважати карбонітрацію. У наш час принцип збалансованого розвитку машинобудівної галузі та водночас збереження природного середовища є основоположним у сучасному світі [7].

Карбонітрація - високоефективна технологія поверхневого зміцнення деталей машин, штампової і пресової оснастки різного призначення, ріжучого інструменту [2]. Технологія низькотемпературного поверхневого зміцнення деталей в розплаві солей (карбонітрація) є екологічно чистою та спритно набирає популярність в усьому світі, але в Україні незаслужено забута, досить мало фірм може запропонувати послугу карбонітрації. При цьому переваги, надані нею, важко переоцінити: вона дозволяє істотно підвищити експлуатаційні характеристики виробів, а в певних випадках і заощадити - завдяки використанню недорогих марок сплавів на основі заліза [8]. Її застосовують замість газового азотування, що дозволяє багаторазово скоротити тривалість циклу обробки і підвищити експлуатаційні властивості зміцнюючих деталей [2].

Винахід відноситься до галузі металургії, і зокрема до створення захисних та зміцнюючих покриттів сталевих виробів методами хіміко-термічної обробки і може бути використано в промисловому виробництві при серійному виготовленні виробів на підприємствах автомобільної, авіаційної, суднобудівної та верстатобудівної галузей, при виробництві сільськогосподарських інструментів і агрегатів і т.д., а також при проведенні комплексних лабораторних досліджень.

Відомо досить велика кількість способів і пристроїв, застосовуваних для іонно-плазмового зміцнення поверхні виробів з конструкційних і спеціальних сталей, а також різних сплавів. Однак подібні системи використовують, як

правило, один тип електричного поля: постійне, або імпульсивний уніполярний. В окремих системах для управління плазмою використовують магнітні поля, при цьому використання постійних магнітів призводить до необхідності створення додаткових систем охолодження магнітів, а використання електромагнітів призводить до додаткових енерговитрат [9].

Відомий спосіб іонно-плазмового азотування деталей з інструментальних сталей [10], що включає розміщення інструменту, виготовленого з обпаленого заготовки, у вакуумній камері, його нагрівання в газовому середовищі до заданої температури, іонно-плазмове азотування, охолодження і термічну обробку. Нагрів інструменту в вакуумній камері здійснюють в середовищі аргону при тиску 0,2-0,67 Па до температури не нижче 450 ° і не вище  $A_{c1}$ - (50-70) °С з забезпеченням іонної очистки поверхні. Потім при вказаній температурі нагріву здійснюють іонно-плазмове азотування в плазмі азоту або суміші газів аргону і азоту з концентрацією азоту не менше 20% шляхом двоступеневого вакуумно-дугового розряду, при цьому силу струму дуги встановлюють  $(80-100) \pm 0,5$  А, а силу струму додаткового анода -  $(70-90) \pm 0,5$  А. При подачі на інструмент напруги зміщення в діапазоні від -50 в до -900 В протягом 0,5-2 години, охолодження ведуть у вакуумній камері, а термічну обробку проводять шляхом гарту і відпустки з отриманням азотованого шару глибиною 2-2,5 мм [9].

Недоліком технічного рішення є використання двоступеневого дугового розряду як для генерації плазми, так і для створення електричного зміщення на виробі, що істотно знижує можливості регулювання параметрів режиму обробки і, як наслідок, вводить обмеження як за якістю одержуваних покриттів, так і за типом оброблюваних матеріалів і виробів [9].

Відомий спосіб азотування в тліючому розряді з живленням змінним струмом [11], в якому деталь і корпус камери або її спеціальна оболонка, які служать електродами, отримують потенціал різної полярності, який відрізняється тим, що деталі завантаження і корпус камери або його спеціальна деталь, які виконують роль електродів, живляться від джерела змінного струму

промислової частоти або кратної їй, а напруга змінюється в залежності від параметрів технологічного режиму модифікації поверхні деталей.

Процес карбонізації рідини дозволяє покращити експлуатаційні властивості оброблених шматків. В результаті цієї технології утворюються два види відходів. Для токсикологічної оцінки відходів процесу карбонізації було обрано дві досліджувані культури як модельні організми: *Daphnia magna* та *Scenedesmus quadricauda*. В ході дослідження було встановлено, що відходи від процесу карбонізації в певних концентраціях мають гостру токсичну дію і належать до 3-го та 4-го класів небезпеки.

У сучасному машинобудуванні постає завдання всебічного вдосконалення експлуатаційних властивостей металів, матеріали багато в чому пов'язані з розробкою нових технологічних процесів для поверхні загартовування шматочків [9].

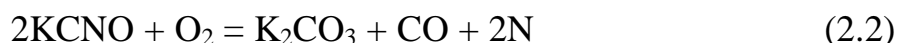
Карбонізація рідини дозволяє збільшувати зносостійкість і міцність у 2,5-3 рази. Використання цієї технології замість газу азотування дає можливість скоротити час обробки та покращити властивості оброблюваної деталі [2, 12]. У багатьох випадках технологія карбонізації є альтернативою таким процесам, як поверхневе гартування, гальванічне хромування, цементация та карбонітридування тощо.

Суть карбонізації полягає в тому, що вироби занурюються в розчин розплавлених солей (ціанат та карбонат калію) при температурі 560-600°C, тривалість технології залежить від запланованої товщини захисного покриття, якої необхідно досягти [12, 13]. Чисті ціанати використовуються як вихідні матеріали для приготування активного розплаву. Було встановлено, що ціанат калію, який має температуру плавлення 320 ° C, є більш придатний для проведення процесу карбонізації при 540–570 ° C, ніж ціанат натрію [14].

У процесі карбонізації відбуваються реакції окислення [2]:





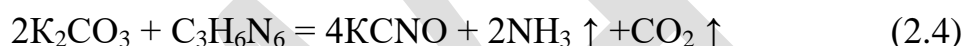


При нагріванні інструменту в ціанатному розплаві азот і вуглець дифундують у поверхневий шар сталі, внаслідок чого на глибині декількох десятків чи сотень мікрон хімічний склад сталі змінюється, утворюється нова структура у вигляді тонкого шару карбонітридної фази.

Технологія карбонізації проводиться при температурі  $560 \pm 10^\circ\text{C}$  в розплаві солі карбонату калію  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (5...15%) [17] та ціанату калію  $\text{KCNO}$  (85...95%) [15].

Вихідними солями в процесі карбонізації є: поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$  - 2,2 частини та меламін  $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$  - 1 частина, або поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$  - 2,5 частини і мелем  $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_5$  - 1 частина, коли вони плавляться разом, ціанат калію утворюється у ванні.

Наступні хімічні реакції протікають у ванні для карбонізації:



or



Далі йде реакція розкладання ціанату калію  $\text{KCNO}$  за формулою 2:

Утворення невеликої кількості токсичних ціанідів також можливе завдяки реакції:



Для окислення ціанідів до ціанатів у ваннах для карбонізації проводять розрідження повітря та реакція відбувається відповідно до формули 7.



В результаті постійних реакцій відбувається поступове накопичення поташу  $\text{K}_2\text{CO}_3$  та зменшення вмісту калію, вмісту активної солі  $\text{KCNO}$  - ціанату калію. Для регенерації одного з наступних у ванну періодично додають

речовини:  $C_3H_6N_6$  - меламін, або  $C_3H_3N_5$  - мелем. У цьому випадку відсоток ціанату калію  $KCN$  відновлюється до 85-95 % у ванні.

Далі - процеси розкладання ціанату калію, насичення поверхні металу с азот і вуглець, регенерація безперервно повторюються в процесі експлуатації карбонітраційних ванн.

Технологія рідкої карбонізації не потребує складного обладнання, цей спосіб просто реалізувати та дозволяє досягти високої міцності поверхні деталі. Також у багатьох наукових працях сказано, що технологія карбонізації сама по собі не є небезпечним виробництвом і є екологічно чистою [12,14]. Ті хімічні речовини, що знаходяться в реакції та відходи від цього процесу, повинні бути безпечними як для людей, так і для людського середовища.

Дослідження і практика застосування показали, що карбонітрація в багатьох випадках є більш вигідною альтернативою не тільки газового азотування, а й таким процесам, як поверхнева гарт струмами високої частоти, іонне азотування в неоднорідній плазмі тліючого розряду, цементация, ціанування, нітроцементация, гальванічне хромування ( « твердий хром »), фосфатування та ін.

З огляду на всі переваги і завдяки своїй простоті й ефективності, метод рідинної карбонітрації (liquid nitrocarburing) гідно оцінений і застосовується у всіх промислово розвинених країнах Європи (Німеччина, Франція, Великобританія та ін.), Америки (США, Канада) і Азії (Японія, Китай, Індія та ін.). Безліч компаній із зазначених вище країн активно застосовують для власних потреб і надають послуги поверхневого зміцнення різних виробів методом «liquid nitrocarburing». Область застосування даної технології без перебільшення величезна – від с/х машинобудування до аерокосмічної промисловості [8].

## 2.2 Висновки

З літературного огляду була визначена сучасна технологія обробки металу – карбонітрація, яка значно підвищує механічні властивості виробу. Серед багатьох переваг також є можливість обробки деталей з частковим зануренням, коли необхідно зміцнити тільки певну ділянку, що в газовій азотованій печі або при цементації реалізувати практично неможливо.

Просте обладнання, економія часу та бюджету привертають увагу багатьох виробників у різних країнах світу та набирають популярність в Україні.

В роботі запропоновано розробити сучасну технологію виготовлення та обробки деталі «шевер», однією із операцій в якій буде карбонітрація.

Встановлено, що відпал, гартування та наступна карбонітрація шевера, виготовленого зі швидкорізальної сталі Р6М5 дозволяють одержати високу міцність, твердість та зносостійкість поверхневого шару. Після хіміко-темічної обробки поверхня інструменту володіє зниженим коефіцієнтом тертя і забезпечується більш легким відвід стружки. Також запобігає її налипанню на ріжучі кромки, що дає можливість збільшити подачу і швидкість різання. Завдяки удосконаленню – карбонітрація, підвищена зносостійкість до 3,5 разів, теплостійкість на 40-60°C, експлуатаційні характеристики у 1,5 рази.

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Вибір матеріалу деталі «шевер»

Якість та властивості деталі залежать від матеріалу, з якого вона виготовлена. Тому коректне призначення матеріалу має великий вплив на роботу в цілому.

Вибір матеріалів готового виробу визначається:

а) необхідністю забезпечити потрібну механічні властивості деталі «шевер»;

б) економічними факторами та умовами виготовлення.

Деталі, розміри яких визначаються умовами міцності, виконують з матеріалів з високими міцнісними характеристиками, переважно з покращуваної чи загартованої сталі і чавуну підвищеної міцності.

Деталі, розміри яких визначаються жорсткістю, виконують з матеріалів з високим модулем пружності, які допускають виготовлення деталей досконалих форм. Деталі, які піддаються контактним напругам і спрацюванню в умовах котіння чи котіння з ковзанням, переважно виготовляють із загартованих до високої твердості сталей.

Складні за формою деталі, наприклад корпусні, виготовляють з ливарних матеріалів (чавунів, бронз та інших).

Деталі складної конфігурації з тонкими стінками потребують застосування матеріалів з особливо високими ливарними властивостями.

Деталі у формі листів, тонкостінних труб, профільних балок виготовляють з матеріалів, які допускають обробку тиском – прокатку і т. ін.

Деталі форм, рам, що піддаються різанню, згинанню, виготовляють з низьковуглецевих сталей.

Економічний критерій у виборі матеріалу, як і у виборі конструкцій, є найбільш загальним. Якби вартість матеріалів була малою, то в усіх випадках намагались би застосовувати високоякісні матеріали [17].

Для виготовлення фрез та зубообробних виробів використовуються інструментальні швидкорізальні сталі [18].

Швидкорізальної сталі, на відміну від інших легованих і вуглецевих сталей, мають високу теплостійкість, зберігаючи мартенситну структуру і твердість більше 60 HRC при нагріванні до 600-650 °С, більш високу міцність і підвищений опір пластичної деформації [19].

При виборі марки сталі насамперед необхідно враховувати її основні фізико-механічні властивості. Наприклад, ударна в'язкість сталей P9K10 і P10Ф5К5 у 2-3 рази менше, ніж ударна в'язкість сталей P18 та P6M5. Це не дозволяє рекомендувати їх при ударному характері навантаження інструмента [20]. Тому розглянемо склад та властивості саме сталей P18 та P6M5.

Таблиця.3.1. Хімічний склад сталі P18 [21]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	W	Co
0,73 – 0,83	До 0,5	До 0,5	До 0,4	До 0,03	до 0,03	3,8 – 4,4	1,0	1,0 – 1,4	17 – 18,5	до 0,5

Таблиця.3.2. Хімічний склад сталі P6M5 [21]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu	V	W	Co
0,80 – 0,88	До 0,5	До 0,4	До 0,4	До 0,03	До 0,03	3,8 – 4,4	5,0- 5,5	До 0,25	1,7 – 2,1	5,5 – 6,5	До 0,5

Таблиця 3.3. Критичні точки P6M5 [21]

Ac <sub>3</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>2</sub>	Ar <sub>m</sub>
800	860	720	780

Таблиця 3.4. Механічні властивості P6M5 [21]

Режим термообробки	HRC після відпуску	$\sigma_{\text{изг}}$ , МПа	Червоність йкість (HRC58), °C
Гартування при 1210-1230°C, охолодження у маслі; трикратний відпуск при 540-560°C, охолодження в соляних ваннах.	63 - 65	320 - 360	620

Хімічний склад сталей P6M5 та P18 дуже схожий, але є ряд відмінностей, які впливають на характеристики виробу. Вміст вольфраму у складі сталей впливає на міцність і в'язкість. У P18 17-18,5 %, а у P6M5 – 5-6,5 %, тобто виріб з P18 буде більш стійким до зношування. Але у складі сталі P18 значно менше молібдена, який відповідає за твердість, щільність, покращує оброблюваність та надає стійкість до корозії.

Сталь P6M5 характеризується підвищеною в'язкістю, високим опором зношуванню високою шліфуємістю, але водночас схильна до знеуглецювання [21].

Вибір сталі Р6М5 буде доречним також з економічної точки зору. Вартість сталі Р6М5 становить ~ 143000-145000 грн/т, сталі Р18 ~ 180000-182000 грн/т [21].

### 3.2 Опис впливу легуючих елементів на властивості матеріалу

Основними легуючими елементами швидкорізальних сталей, що забезпечують високу червоностійкість, є вольфрам, молібден, ванадій і кобальт. Крім них всі сталі легують хромом. Важливим компонентом є вуглець.

Зміст вуглецю в сталі повинно бути достатнім, щоб забезпечити утворення карбідів легуючих елементів. Так при вмісті вуглецю менше 0,7 % не виходить високої твердості в загартованому і в відпущеному стані. Вплив підвищеного вмісту вуглецю в сталях з молібденом більш сприятливо, ніж у вольфрамових.

Карбідоутворюючі елементи утворюють в сталі спеціальні карбіди:  $Me_6C$  на основі вольфраму і молібдену,  $MeC$  на основі ванадію і  $Me_{23}C_6$  на основі хрому. Частина атомів  $Me$  становить залізо та інші елементи.

Вольфрам і молібден є основними легуючими елементами, що забезпечують червоностійкість. Вони утворюють в сталі карбід  $Me_6C$ , який при аустенізації часто переходить в твердий розчин, забезпечуючи отримання після гарту легованого вольфрамом (молібденом) мартенситу. Вольфрам і молібден ускладнюють розпад мартенситу при нагріванні, забезпечуючи необхідну червоностійкість. Нерозчиненою частиною карбіду  $Me_6C$  призводить до підвищення зносостійкості сталі. Молібден за впливом на теплостійкість заміщає вольфрам за співвідношенням  $Mo: W = 1: 1,5$ .

Ванадій утворює в сталі найбільш твердий карбід  $VC$  ( $MeC$ ). Максимальний ефект від введення в сталь ванадію досягається за умови, що вміст вуглецю в сталі буде достатнім для утворення великої кількості карбідів і для насичення твердого розчину. Карбід  $MeC$ , частково розчиняючись в аустеніт,

збільшує червоностійкість і підвищує твердість після відпуску завдяки ефекту дисперсійного твердіння. Нерозчиненою частиною карбіду  $MeC$  збільшує зносостійкість сталі [18].

Хром в усіх швидкорізальних сталях міститься в кількості близько 4 %. Він є основою карбіду  $Me_{23}C_6$ . При нагріванні під гартування цей карбід повністю розчиняється в аустеніті при температурах, значно нижчих, ніж температури розчинення карбідів  $Me_6C$  і  $MeC$ . Внаслідок цього основна роль хрому в швидкорізальних сталях полягає в доданні сталі високою прогартовуваністю. Він впливає і на процеси карбідоутворення при відпуску.

Кобальт застосовують для додаткового легування швидкорізальної сталі з метою підвищення її червоностійкості. Кобальт в основному знаходиться в твердому розчині і частково входить до складу карбіду  $Me_6C$ . До недоліків впливу кобальту слід віднести погіршення міцності і в'язкості сталі, збільшення знеуглецювання.

Марганець в невеликих кількостях може переводити сірку в більш сприятливе поєднання.

Сірка є шкідливою домішкою, що сприяє червоноламкості. У ледебуритних сталях негативна роль утворюються сульфідів менше через присутність в структурі значно більшого числа надлишкових карбідів, які можуть також погіршувати ці властивості. Крім того, сульфіди при низьких температурах початку затвердіння цих сталей часто служать центрами кристалізації і присутні всередині великих евтектичних карбідів. Їх кількість зменшується на кордоні зерен. Для зменшення кількості сірки (до 0,015 %) використовують електрошлаковий переплав.

Фосфор також є шкідливою домішкою. При вмісті фосфору більш ніж 0,02-0,03% помітно знижується в'язкість і міцність, посилюються спотворення в решітці мартенситу.



Сталь має трохи кращі ріжучі властивості при обробці сталей з надлишковими карбідами (зокрема, шарікопідшипникових) і в інструментах щодо простої форми; це пов'язано з більш високим опором пластичної деформації через більшої кількості карбідів [19].

За літературними джерелами сталь Р6М5 має значно меншу карбідну неоднорідність, ніж Р18 [20].

### **3.3 Методи дослідження (контроль якості)**

Контроль якості продукції здійснюється відповідно до ГОСТ 19265-76.

Деталь шевер після відповідної термічної обробки буде підлягати контролю таких параметрів: мікроструктура, твердість та мікротвердість після термічної обробки (гартування, відпуск, карбонітрація), визначення карбідної неоднорідності.

#### **3.3.1 Металографічний аналіз**

Метою металографічного аналізу є визначення мікроструктури і фазового складу сталей, оцінка кількості, розмірів, форми і розподілу різних фаз; цей аналіз дозволяє також встановити зв'язок хімічного складу, умов виробництва та обробки сплаву з його мікроструктурою і властивостями. Для проведення металографічного аналізу необхідно приготувати металографічний шліф.

Приготування металографічних шліфів зазвичай складається з наступних операцій [22]:

- вирізка зразка;
- підготовка поверхні;
- шліфування;
- полірування;
- травлення.

Вирізати, шліфувати і полірувати зразок слід так, щоб на його поверхні залишався мінімальний шар деформованого металу і не було подряпин, рисок, ямок і забруднень. У процесі приготування шліфа не повинні фарбуватися неметалеві включення, карбідні та інші фази. Крім того, поверхня шліфа повинна бути досить плоскою, щоб його можна було розглядати при великих збільшеннях. Остання вимога особливо важлива при застосуванні автоматичних мікроскопів для кількісного аналізу [22].

Для вивчення мікроструктури зразка їх вирізають таким чином, щоб можна було визначити зміну її в поперечному перерізі і по висоті зразка. З м'яких матеріалів зразки вирізають пилюкою, фрезою, різцем, тощо. Якщо ж твердість металу висока, то зразок вирізають карборундовими, алмазними або вулканітовими кругами. Зведення до мінімуму деформації поверхні і нагрівання зразка на цій стадії підготовки досягається належним вибором інструменту і режиму обробки, а також інтенсивним охолодженням оброблюваної поверхні і інструменту [23].

Площа поверхні зразка зазвичай складає близько 1 см<sup>2</sup>, висота зразка для зручності роботи з ним повинна бути не менше 10 мм [23].

Шліфування. Після отримання плоскої поверхні зразок шліфують паперовою шліфувальною шкуркою вручну або на шліфувальних верстатах. Шліфування починають на папері з крупним зерном, поступово переходячи до обробки папером з більш дрібним зерном. На кожному виді абразивного матеріалу зразок шліфують до тих пір, поки повністю не зникнуть всі сліди подряпин від попередньої операції. Надалі зразок очищують від налиплих порошинок абразиву та зішліфованого матеріалу і переходять до шліфування папером з дрібнішим абразивом. Зазвичай виявляється достатнім використання 4–5 номерів шліфувального паперу. Після завершення шліфування зразок ретельно промивають під струменем води та висушують [22].

Важливе завдання шліфування - досягнення мінімальної товщини шару деформованого металу, щоб останні його сліди можна було видалити подальшим поліруванням.

Полірування слугує для подальшого зменшення нерівностей на плоскій поверхні зразка. Полірування закінчують при зникненні з поверхні будь-яких рисок і подряпин та досягненні нею дзеркальної гладкості. Якщо риси або подряпини зберігаються, не дивлячись на тривале полірування, зразок необхідно додатково шліфувати на папері з дрібним зерном, а потім повторно полірувати. Полірування проводять механічним, електролітичним або хімічним методами. В якості абразивів для полірування використовують оксид алюмінію, оксид хрому або інші оксиди. Для полірування твердих матеріалів застосовують пасту з алмазним порошком або алмазні круги. Після полірування мікроструктуру зразка, як правило, виявити неможливо. Виключенням є сплави, структурні складові яких сильно відрізняються за складом і твердістю, внаслідок чого одні ділянки шліфа піддаються поліруванню більшою мірою, ніж інші, що обумовлює утворення рельєфу на поверхні [23].

Все більш широке використання знаходять полірувальні алмазні пасти, які наносять на спеціальну тканину або папір (ватман).

Виявлення мікроструктури. Виявлення мікроструктури в більшості випадків зводиться до створення на полірованій поверхні неглибокого рельєфу, в якому конфігурація нерівностей повторює розташування і контури окремих кристалітів. Іноді такий рельєф створюється при поліруванні зразка. Наприклад, на поверхні шліфа, що полірується механічним методом, тверді кристаліти дещо виступають, а м'які – заглиблені. У решті випадків рельєф створюють за допомогою протравлювання – короткочасної дії реактиву. Травник і тривалість протравлювання підбирають, використовуючи довідникові дані або дослідним шляхом. Підготовлений для мікроскопичного аналізу зразок називається мікрошліфом.

Протравлювання мікрошліфів дозволяє виявити дві важливі особливості мікроструктури металів і сплавів:

- полікристалічну, зеренну будову (розмір, форма, розподіл зерен);
- структурні складові сплавів [23].

Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі МИМ-7 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Металографічний мікроскоп МИМ-7 (фото)

### **3.3.2. Випробування на твердість**

Контроль твердості. Контролюється твердість в стані поставки і твердість після гарту. Для контролю твердості сталі в стані поставки для металопродукції діаметром або товщиною до 30 мм відбирають два прутка від 1 т., але не менше восьми прутків від партії; для металопродукції діаметром або товщиною понад 30 мм – 15 % прутків від партії, але не менше п'яти штук від партії.

Для контролю твердості після гартування відбирають дві проби для профілю понад 40 мм. Твердість після відпалу повинна бути не більше 225 НВ. Твердість металу після гартування з відпуску 560 ° С повинна бути HRC 64–66 [23].

Вимірювання твердості по Брінеллю. При визначенні твердості методом Брінелля в випробуваний зразок або виріб вдавлюється протягом певного часу металева кулька. Після зняття навантаження на поверхні зразка залишається сферичний відбиток. Величина відбитка залежить від твердості

металу: чим твердіше метал, тим менше буде величина відбитка. Число твердості по Брінеллю позначається *НВ* (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Прилад ТШ-2М (фото)

Для усунення небезпеки продавлювання зразка наскрізь або випинання країв випробовувані зразки для вимірювання твердості за Брінеллем повинні мати товщину не менше десятиразової глибини відбитку. Відстань від центра відбитка до краю зразка повинна бути не менше  $2,5 d$ . Відстань між центрами двох сусідніх відбитків повинна бути не менше  $4 d$ . Діаметри застосовуваних кульок – 2,5; 5,0 і 10 мм. При випробуванні за Брінеллем навантаження зберігається постійним: для кульки діаметром 10 мм – 3000 кгс (30000Н), час витримки під навантаженням – 10 с, число твердості позначається *НВ*. Вплив тривалості витримки під навантаженням при 20 °С у металів на залізній основі невеликий.

Визначення твердості загартованих сталей та інших матеріалів, які мають високу твердість  $>450$  НВ проводять методом вдавлювання індентора методом Роквелла.

Твердість за Роквелом виражають в умовних одиницях, що характеризують глибину залишкового занурення індентора [24]. За одиницю твердості прийнята величина, відповідна осьовому переміщенню наконечника на 0,002 мм. Залежно від твердості випробовуваного матеріалу застосовують два типи наконечників: сталеву кульку діаметром  $1,588 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$  для

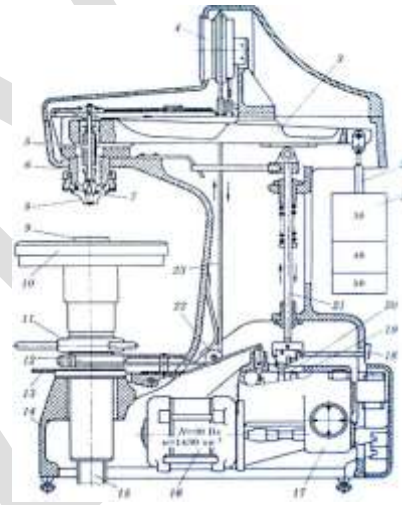
вимірювання твердості при сумарному навантаженні 100 кгс (1000 Н) – шкала В, або алмазний конус із кутом біля вершини  $120^\circ \pm 30'$  і радіусом закруглення біля вершини конуса  $0,200 \pm 0,005$  мм для вимірювання твердості металів при сумарному навантаженні 150 кгс (1500 Н) – шкала С і 60 кгс (600 Н) – шкала А.

Товщина зразка повинна бути не менше десятиразової глибини відбитка.

Для визначення твердості за Роквеллом застосовують прилад типу ТК-2 (рис. 3.3).



а



б

Рисунок 3.3 – Прилад ТК-2: фото (а), механічна схема (б).

Позначення твердості записують так: 35 HRB — випробування кулькою; 42 HRC — випробування конусом із твердого сплаву; 84 HRA — випробування алмазним конусом.

### 3.3.3. Випробування на мікротвердість

Визначення мікротвердості здійснювали від краю поверхні покриття до основи з захватом перехідної зони за ГОСТ 9450—76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» [23]. При дослідженні мікротвердості матеріалу проникненням застосовували навантаження 0,196;

0,490; 0,981 Н (гирі вагою 20; 50; 100 г). При виборі навантаження виходили з прогнозованої глибини відбитка. Мінімальна товщина шару повинна перевищувати глибину відбитка не менш, ніж у 10 разів.

Вимірювання товщини дифузійних шарів та їх мікротвердості проводили на приладі ПМТ – 3 (рис. 3.4) не менш, ніж в 10 - 15 полях зору. За товщину захисного шару приймали товщину білого шару, що не травиться 3-% розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Товщину перехідної зони оцінювали як товщину шару, мікротвердість якого відрізняється від мікротвердості основної структури оброблювального сплаву.



Рисунок 3.4 – Мікротвердомір ПМТ-3 (фото)

### **3.3.4 Оцінка карбідної неоднорідності**

Карбідна неоднорідність перевіряється після гарту і відпустки на зразках-свідках, відібраних для цього виду контролю. І вона не повинна перевищувати 4 бали при діаметрі 40-60 мм [28].

Визначення балу карбідної неоднорідності проводимо за стандартною методикою, викладеною у ГОСТі 19265-73. Основний метод, що при цьому застосовується- це візуальне порівняння зі шкалами. Оцінку карбідної неоднорідності проводять при збільшенні (90-100) крат. Бал карбідної неоднорідності сталі Р6М5 визначають порівнянням з еталонами шкали № 2.

Бал карбідної неоднорідності кожного шліфа встановлюється як середньоарифметичне з оцінок п'яти найгірших полів зору.

### **3.4. Висновок**

Вибір матеріалу для виготовлення деталі «шевер» був реалізований, орієнтуючись на вимоги, які висувають до готового виробу та економічної доцільності. Після гартування швидкорізальних сталей в структурі матеріали присутній залишковий аустеніт, що впливає на зниження твердості. У сталі Р18 – 25-30 %, сталі Р6М5 – 25 %. Твердість після термічної обробки буде однаковою – 64-66 HRC.

Сталь Р6М5 має на 30-50 % більш високу ударну в'язкість, ніж сталь Р18, а також значно меншу карбідну неоднорідність, тому ця марка сталі є найбільш доцільною для шевера [22].



## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 4.1. Розробка маршрутної технології виготовлення деталі

Маршрутна технологія виготовлення деталі повинна містити в собі послідовність технологічних операцій, обладнання для проведення вказаних операцій.

Маршрутна технологія виготовлення деталі «шевер» зазначена у таблиці 4.1. Маршрутна технологія виготовлення деталі – це послідовна технологія операцій виготовлення виробу. Технологічний процес виготовлення деталі складається з декількох етапів, а кожен етап складається з декількох операцій.

Маршрутна технологія складається з таких етапів:

- Етап 1. Отримання сталі;
- Етап 2. Отримання заготовки;
- Етап 3. Чорнова механічна обробка;
- Етап 4. Остаточна термічна обробка;
- Етап 5. Чистова механічна обробка;
- Етап 6. ХТО;
- Етап 7. Вихідний контроль.

Маршрутна технологія виготовлення виробу (масове виробництво) [27]

Таблиця 4.1. – Маршрутна технологія виготовлення виробу

№ Операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конвертерна піч	Мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конвертерна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку. Отримання зливку.	Конвертерна піч	Ковші шлаковози, виливниці
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугової печі	Електродугова піч	Мульди, ковші

## Продовження таблиці 4.1

№ Операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугова піч	Завальні машини
		6	Виливання сталі в розливочний ківш	Плавильне відділення	Механізм нахилу електродугової печі, розливочний ківш, мостовий кран
Етап 2. Отримання заготовки					
2.1	Отримання заготовки	1	Трикратна ковка	Кувальний прес	Бойок
2.2	Чорнова термообробка	1	Ізотермічний відпал	Шахтна піч СШЗ-6.6/10	-
2.3	Контроль	1	Контроль розмірів і дефектів, твердості	Дільниця контролю	Вимірjувальний інструмент, ультразвуковий дефектоскоп, твердомір ТШ-2М
Етап 3. Чорнова механічна обробка					
3.1	Токарна обробка	1	Чорнова токарна обробка зовнішніх поверхонь та внутрішніх отворів	Токарний верстат	-
		2	Протягування шпонкової канавки	Напрямний кондуктор	Шпонкова протяжка

## Продовження таблиці 4.1

№ Операції	Найменування операції	№ пере ходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
3.2	Електроерозія	1	Електроерозія витків та канавок	ЧПУ Електроерозійний верстат	-
3.3	Контроль	1	Контроль товщини зуба	Дільниця контролю	Шаблон або зубомір
Етап 4. Остаточна термічна обробка					
4.1	Остаточна термічна обробка	1	Гартування	Піч СШЗ-6.6/10, камерна піч СНЗ-2,5.5.1,7/10, соляна піч-ванна СПЗ-75, соляна піч-ванна СВС-2.3,5.3,2/13	Бак з маслом для охолодження, мийна машина
		2	Двократний відпуск	Шахтна піч типу СШЗ – 6.6/7	-
4.2	Контроль	1	Вимірювання твердості, мікротвердості, контроль мікроструктури після термічної обробки, карбідна неоднорідність	Дільниця контролю	Металографічний мікроскоп МИМ-7, твердомір ТШ-2М і твердомір ТК-2, мікротвердомір ПМТ-3

## Продовження таблиці 4.1

№ Операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 5. Пречистова механічна обробка					
5.1	Полірування	1	Полірування зовнішньої поверхні	Безцентрово-полірувальний станок	-
5.2	Шліфування	1	Шліфування торців деталі, надання деталі необхідної шорсткості	Плоскошліфувальний або круглошліфувальний верстат. Плита магнітна	Круг шліфувальний секторний, скоба межова
		2	Доводка отвору	Свердильний або токарний верстат	Чавунний притир, шліфувальний порошок
5.3	Контроль	1	Контроль отвору	Дільниця контролю	Граничний калібр
5.4	Заточка	1	Заточка зубів	Спеціальний заточний верстат	Шліфувальний круг, шаблон
Етап 6. ХТО					
6.1	Карбонітрація	1	Розплав цианатів і карбонатів	Піч СШЦМ-8.12/9,5	-
6.2	Чистова механічна обробка	1	Полірування зовнішньої поверхні	Безцентрово-полірувальний станок	-
Етап 7. Вихідний контроль					
7.1	Контроль	1	Контроль на відсутність тріщин і волосин	Дільниця контролю	Дефектоскоп
		1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Вимірювальний інструмент, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба, фаскомір
		2	Контроль властивостей (твердість), ультразвукова дефектоскопія	Дільниця контролю	Твердомір, дефектоскоп

## 4.2. Висновки

Розроблено маршрутну технологію виготовлення деталі. Маршрутна технологія виготовлення деталі «шевер» визначається властивостями матеріалу, наявним технологічним обладнанням на виробництві та об'ємом виробництва.

Включає в себе такі етапи:

- Видобуток та підготовки вхідних матеріалів
- Металургійне отримання чавуну
- Отримання сталі дуплекс процесом
- Отримання заготовки
- Механічна обробка
- Процес термічної обробки
- Операції контролю

Дотримання необхідних операцій виготовлення забезпечить необхідними властивостями майбутній виріб. Для отримання деталей на виробництві будують технологічний процес, який є поєднанням технічних, економічних і організаційних завдань, що вирішуються при виготовленні тої чи іншої деталі. При розробленні технологічного процесу потрібно врахувати всі вимоги до деталі.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНКОВО – ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Вибір термічної обробки деталі

Термічна обробка має великий вплив на властивості виробу, тому це найвідповідальніша операція у виготовленні та отриманні готової деталі. Термічна обробка інструментів має на меті змінити структуру і властивості металу шляхом нагрівання і охолодження в строго заданих температурно-часових умовах, визначених обраним хімічним складом сталі, видом і призначенням інструментів, таким чином, щоб в кінцевому підсумку досягти високої стійкості їх при експлуатації.

Для деталі «шевер» з сталі Р6М5 виконується така термічна обробка:

1. ізотермічний відпал в інтервалі температур 860-880°С,
2. гартування при 1210-1230 °С з попереднім підігрівом при 800 °С, охолодження в маслі,
3. трикратний відпуск при 550-570 °С, охолодження на повітрі.

Для поліпшення властивостей деталі після ТО пропонуємо вдосконалити базову обробку та провести її таким чином:

##### 5.1.1. Ізотермічний відпал

Відпал проводять з метою зниження твердості, рівня внутрішніх напружень, зняття наклепу, а також підготовки структури виробу до гартування – остаточної термічної обробки.

- У розгріту до температури 500-600 °С піч завантажується виріб.
- Далі нагрів до 860-880 °С (витримка 2 год).
- Охолодження до 740-750 °С (витримка 1 годину).
- Охолодження до 600-650 °С.

- Охолодження до 20 ° С на спокійному повітрі.

Структура після відпалу - ферит + первинні і вторинні карбіди (рис. 5.1). Твердість - 255 НВ. Основним карбідом швидкорізальних сталей є  $Me_6C$ , в якому розчинений ванадій (таблиця 5.1 та 5.2).

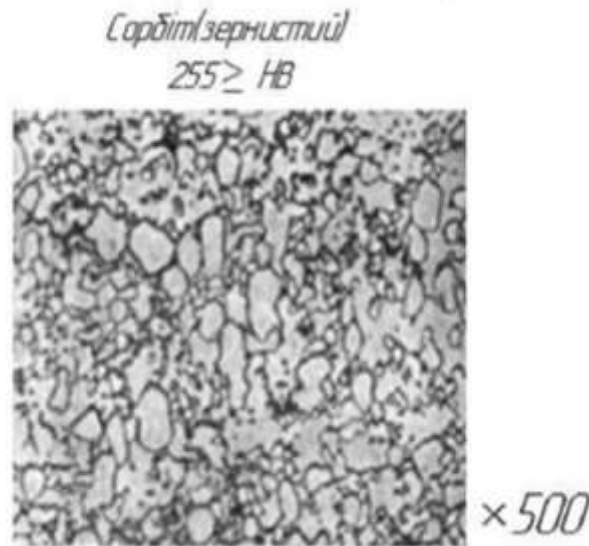


Рисунок 5.1. – Структура сталі Р6М5 після ізотермічного відпалу

Вміст карбідної фази сталі Р6М5 після відпалу – 20 %, склад –  $Me_6C+MeC$ . Також в сталі присутній карбід  $Me_{23}C_6$  у кількості ~ 2-3 %. Твердість після відпалу 255 НВ

### 5.1.2. Остаточна термічна обробка

**Гартування.** Нагрів при гартуванні повинен забезпечити перетворення феррітокарбідної суміші в аустеніт і розчинення в ньому найбільшої частини вторинних карбідів.

Стійкі карбіди переходять в розчин дуже повільно, тому швидкорізуючу сталь нагрівають значно вище критичної точки  $A_{c1}$ , яка знаходиться при температурі 800 - 850 ° С. Високотемпературний нагрів забезпечує отримання високолегованого аустеніту, який при охолодженні перетворюється в



високолегований мартенсит, який в свою чергу володіє красностійкістю (теплостійкістю).

Оптимальна температура нагрівання для сталі Р6М5 буде 1210 – 1230 °С. Вищий нагрів викликає зростання зерна аустеніту і відповідно зниження міцності і пластичності сталі. Охолодження при гартуванні зазвичай проводиться в маслі. Стійкість переохолодженого аустеніту швидкорізальної сталі як в перлитній, так і в проміжній області дуже висока, і навіть після охолодження на повітрі виходить висока твердість, однак, таке охолодження не рекомендується з огляду на те, що знижується красностійкість сталі. Зниження красностійкості пояснюється частковим виділенням вторинних карбідів в процесі порівняно повільного охолодження.

Швидкорізальні сталі мають низьку теплопровідність, в зв'язку з цим при нагріванні під гартування виникає великий перепад температур по перетину виробів, що нагрівають. Цей перепад викликає високі напруги інструментів при нагріванні, а отже, і тріщин при нагріванні і охолодженні.

Для запобігання цьому необхідно забезпечувати рівномірне прогрівання по перетину виробу, використовуючи ступінчастий нагрів до температури гарту: перший підігрів при 600–650 °С, другий – 840–860 °С і остаточний по технологічному режиму – 1210-1230 °С [28].

Твердість після гартування 60-61 HRC. Структура швидкорізальної сталі складається з:

- 1 ) легованого мартенситу;
- 2 ) залишкового аустеніту (20 %);
- 3 ) нерозчинних карбідів – 10 %. Роль цих карбідів, які не вносять свій внесок у процес дисперсійного твердіння, полягає в тому, що їх частки затримують ріст зерен аустеніту, забезпечуючи формуванню дрібноглоккової будови мартенситу.

**Відпуск.** Після гартування швидкорізальні сталі піддають відпуску. Відпуск, по-перше, знижує гартівні напруги. Оптимальною температурою відпуску є температура 540 – 560 ° С.

По-друге, одним з найважливіших властивостей швидкорізальних сталей є те, що відпуск викликає дисперсійне твердіння. У результаті часткового розпаду твердого розчину і виділення дисперсних частинок фаз-ущільнювачів підвищується твердість інструменту на 2-3 HRC, тобто твердість збільшується до максимальних значень досяжних для даної марки сталі.

Третє призначення відпуску – забезпечення можливості перетворення залишкового аустеніту в мартенсит. У загартованих швидкорізальних сталях залежно від їх хімічного складу завжди присутньо до 25–40 % залишкового аустеніту, що значно знижує загальну твердість, зносостійкість і безліч інших характеристик [28].

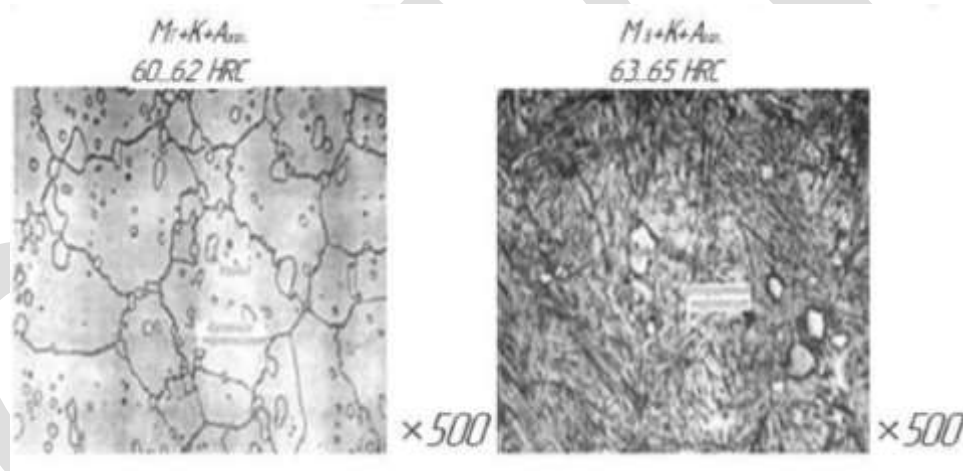


Рисунок 5.2 – Мікроструктура сталі P6M5 після гартування та відпуску при температурі 1230 ° С: M<sub>Г</sub> + K (7-15 %) + A<sub>зал</sub> (20-30 %)

Графік базової термічної обробки сталі P6M5 наведено в додатку Б.

Вдосконалюючи базову технологію обробки ми пропонуємо замінити трикратний відпуск на комплекс операцій: один відпуск та нанесення захисного покриття за допомогою карбонітрації. Після такої обробки структура основи представлена трьома складовими (рис. 5.3):

1. Спеціальні карбіди (ті, що не розчинились при аустенізації та ті, що виділились при відпуску із аустеніта залишкового) – 20-25 %
2. Залишковий аустеніт- 1-2 %
3. Мартенсит відпуску (в тому числі 3-4 % мартенсита не відпущеного)- залишок [29].

Дана структура буде характеризуватися твердістю основи сталі Р6М5 62-64 HRC.

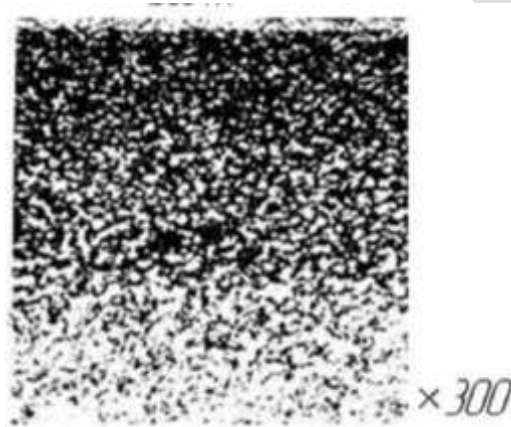


Рисунок 5.3 – Мікроструктура сталі після карбонітрації після відпуску –  $M_{від}$  +  $K+A_{зал}$ . карбонітриди легуючих елементів та заліза.

По закінченню відпуску проводимо чистову механічну обробку потім проводимо карбонітрацію. Карбонітрація проводиться при температурі 540-560 ° C, 1 год.

В результаті карбонітрації на поверхні деталей формується зміцнений шар, що складається з декількох зон. Верхній шар до 5 мкм являє собою оксидну фазу типу  $Fe_3O_4$  під яким, розташовується  $\epsilon$  - фаза типу  $Fe_{2-3}(N, C)$  товщиною до 15 мкм, далі зона  $\gamma'$ - фаза типу  $Fe_4(N, C)$  товщиною до 1 мкм. Під карбонітнідним шаром знаходиться дифузійна зона до 0,4 мм, що складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітнідних фаз.

Карбонітрація забезпечує деталі шевер із швидкорізальної сталі Р6М5 значне (до 3,5 разів) підвищення зносостійкості і на 40-60 ° C підвищення теплостійкості в порівнянні зі сталями без карбонітрації, в тому числі і з традиційною сталлю Р18, що містить велику кількість дефіцитного вольфраму [29].

Виробничі випробування карбонітраційних інструментів з вольфрамомолібденових сталей показали високу ефективність зміцнення. По експлуатаційних характеристиках вони значно перевершують інструменти зі Р6М5 в 1,5, а з Р0М2Ф3 в 2,5 рази з тих же сталей без карбонітрації [30].

Мікротвердість поверхні становить 13 ГПа.

Графік удосконаленої термічної обробки сталі Р6М5 наведено в додатку В.

В роботі була оцінена карбідна неоднорідність сталі Р6М5 за ГОСТ 19265-73. Візуальне порівняння реалізовано при збільшення 100 крат (рис. 5.4 )

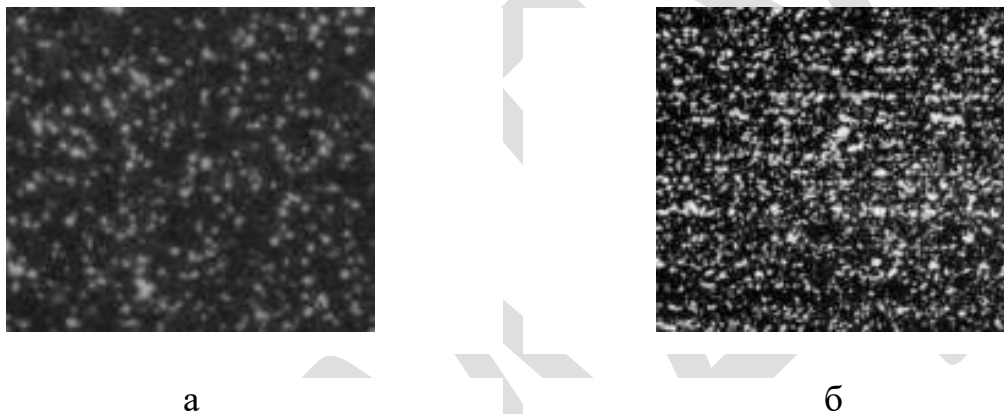


Рисунок 5.4 – Визначення карбідної неоднорідності: а- структура сталі Р6М5 після повного циклу термічної обробки, б- – еталон, карбідна неоднорідність швидкорізальні сталі, бал 1а (ГОСТ 19265-73)

Порівнюючи дані структури можна визначити, що сталь Р6М5 після відповідної термічної обробки деталі «шевер» має карбідну неоднорідність балом 1а. Дана карбідна неоднорідність характеризується як тонка полосчастая структура з короткими розірваними смугами.

## 5.2. Вибір та розрахунок необхідного обладнання

Для правильного устаткування робочого цеху необхідно розрахувати кількість необхідного обладнання, а також виконати проектування термічної ділянки з врахуванням вільного доступу до кожної пічі, мийної машини й т.п.

Для обробки шевера необхідні:

- Шахтна піч для ізотермічного відпалу
- Камерна піч для підігріву перед гартуванням
- Соляна піч-ванна з розчином  $\text{BaCl}_2$  – 96%,  $\text{MgF}_2$  – 4% (для другого нагріву)
- Соляна піч-ванна (для остаточного нагріву)
- Відпускна шахтна піч
- Шахтна піч-ванна для карбонітрації
- Мийна машина

Кількість необхідного для обробки обладнання можна визначити за допомогою ряду розрахунків.

Необхідні дані для розрахунку:

1. Маса деталі – 4,6 кг
2. Річний випуск деталей – 21395 од.  
або 98417 кг.

3. Річний фонд ефективного часу роботи обладнання:

$$F_e = F_n \times \left(1 - \frac{K_v}{100}\right) = 1928,5 \text{ год,}$$

де  $K_v$  – коефіцієнт втрат,  $K_v=5\%$ ;  $F_n$  – фонд часу при однозмінній роботі цеху,  
 $F_n = 2030$  год.

1. Шахтна піч: СШЗ-6.6/10, продуктивність – 80 кг/год

- 1)  $98417/80 = 1230,2$  год – завантаження печі на рік;
- 2)  $1230,2/1928,5 = 0,64$  – приймаю одну піч.

$$\text{ККД} = 64\%$$

2. Камерна піч: СНЗ-2,5.5.1,7/10, продуктивність – 52 кг/год

- 1)  $98417/52 = 1892,6$  год – завантаження печі на рік;

2)  $1892,6/1928,5 = 0,98$  – приймаю одну піч;

ККД = 98%

3. Соляна піч-ванна (для другого нагріву): СПЗ-75, продуктивність – 70 кг/год

1)  $98417/70 = 1406$  год – завантаження печі на рік;

2)  $1406/1928,5 = 0,73$  – приймаю одну піч;

ККД = 73%

4. Соляна піч-ванна (для остаточного нагріву): СВС-2.3,5.3,2/13, продуктивність – 80 кг/год

1)  $98417/80 = 1230,2$  год – завантаження печі на рік;

2)  $1230,2/1928,5 = 0,64$  – приймаю одну піч.

ККД = 64%

5. Відпускна шахтна піч: СШЗ – 6.6/7, продуктивність 80 кг/год.

1)  $98417/80 = 1230,2$  год – завантаження печі на рік;

2)  $1230,2/1928,5 = 0,64$  – приймаю одну піч.

ККД = 64%

6. Піч-ванна для карбонітрації: СШЦМ-8.12/9,5, продуктивність – 74 кг/год

1)  $98417/74 = 1330$  год – завантаження печі на рік;

2)  $1330/1928,5 = 0,69$  – приймаю одну піч.

ККД = 69%

Отже, для запропанованої обробки деталі «шевер» та проектування ділянки цеху нам необхідно:

- Для ізотермічного відпалу – 1 піч СШЗ-6.6/10;



Рисунок 5.5 - Піч СШЗ-6.6/10 [31]

- для гартування – 1 камерна піч СШЗ-2,5.5.1,7/10,



Рисунок 5.6 - Камерна піч СШЗ-2,5.5.1,7/10 [31]

- 1 соляна піч-ванна СПЗ-75 та 1 соляна піч-ванна СВС-2.3,5.3,2/13;
- для відпуску – 1 піч СШЗ – 6.6/7;



Рисунок 5.7 - Піч СШЗ – 6.6/7 [31]

- для карбонітрації – 1 піч СШЦМ-8.12/9,5;



Рисунок 5.8 - Піч СШЦМ-8.12/9,5 [31]

- для охолодження – 1 механізований бак з мастилом;
- очисне обладнання – 1 мийна машина;



- для контролю якості – 1 металографічний мікроскоп МИМ-7, 1 твердомір ТШ-2М і 1 твердомір ТК-2, 1 мікротвердомір ПМТ-3
- для транспортування і завантаження деталей в піч – кран-балка вантажопідйомністю 10 тон.

### 5.3. Планування термічної дільниці

У плануванні дільниці необхідно враховувати не тільки площу для розташування обладнання, але й місце для складання виробів, службові приміщення та побутові.

Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м, встановлюється відповідно розмірів мостового крану, в залежності від схеми розміщення обладнання і необхідної ширини проїздів.

Необхідну площу ділянки будемо розраховувати за укрупненими показниками з довідок.

Розрахунок площі цеху рахується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{пол}} + S_{\text{прох}} + S_{\text{всп}},$$

де  $S_{\text{пол}}$  - корисна виробнича площа необхідна для розташування обладнання;  $S_{\text{прох}}$  - площі проходів і проїздів;  $S_{\text{всп}}$  - допоміжна площа,  $S_{\text{пол}} = \sum S_i$ ,  $S_i$  - площа для даного обладнання.

Необхідно врахувати площу під два кабінети, приблизно по 20 м<sup>2</sup>, для начальника цеху та технолога. Майстерню для механіка та підрозділу ВТК – 30 м<sup>2</sup> та складу – 30 м<sup>2</sup>. Достатньо приблизно 70 м<sup>2</sup> для побутових приміщень: роздягальня, душові та кімната відпочинку. Тобто,

Допустимо, що  $S_{\text{кор}}$  складає 12 м<sup>2</sup> на кожен одиницю обладнання, тоді

$$S_{\text{пол}} = 12 * 11 = 132 \text{ м}^2$$

Допоміжна площа і площа проходів та проїздів встановлюється в розмірі 50% від виробничої площі

$$S_{\text{всп}} = 50\% * S_{\text{пол}} = 50\% * 132 = 66 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{прох}} = 50\% * S_{\text{пол}} = 50\% * 132 = 66 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{заг}} = 132 + 66 + 66 + 170 = 434 \text{ м}^2$$

Отриману  $S_{\text{заг}}$  розбивають на сітку колон. Ширина 18 м буде доречною для даної ділянки, визначаємо довжину:

$$L = \frac{S_{\text{заг}}}{B},$$

де  $S_{\text{заг}}$  – загальна площа цеху,  $B$  – загальна ширина цеху.

$$L = 24 \text{ м}$$

Таким чином, ми отримуємо термічний ділянку розмірами:  $18 \times 24 = 432 \text{ (м}^2\text{)}$ .

Планування дільниці цеха для термічної обробки шевера у Додатку Г: 1- піч для відпалу СШЗ-6.6/10; 2 – камерна піч СНЗ-2,5.5.1,7/10; 3 – соляна піч-ванна СПЗ-75; 4 – соляна піч-ванна СВС-2.3,5.3,2/13; 5 – піч для відпуску СШЗ – 6.6/7; 6 – тельфер; 7 – піч для карбонітрації СШЦМ-8.12/9,5; 8 – бак з маслом для гартування; 9 – мийна машина; 10 – стіл контролера; 11 – електрощитова; 12 – місце складування.

#### **5.4. Висновок**

Запропонована сучасна технологія термічної обробки деталі «шевер», виготовленого із сталі Р6М5.

Реалізовано вдосконалення базового варіанту термічної обробки шевера. Основними операціями термічної обробки є: ізотермічний відпал, гартування, відпуски та карбонітрація.

В результаті даної термічної обробки формується структура мартенсит відпуску, карбіди, аустеніт залишковий; на поверхні утворюються карбонітриди легуючих елементів та заліза. При цьому визначено, що твердість основи становить 64-66 HRC. В результаті карбонітрації на поверхні формується захисний шар товщиною 25-30 мкм мікротвердістю 12-13 ГПа. Середнє значення карбідної неоднорідності сталі Р6М5 складає бал 1, а. Отримані результати повністю задовольняють вимогам, які висуваються до готового виробу.

За розглянутою термічною обробкою було підібрано необхідне основне та допоміжне обладнання. Враховуючи річну програму був проведений розрахунок необхідної кількості основного та допоміжного обладнання, спланована ділянки термічної обробки. За розрахунками була визначена площа ділянки – 432 м<sup>2</sup>, з урахуванням побутових приміщень, кабінетів, майстерень.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані умови роботи та призначення деталі «шевер». Наведені основні види шевера та розглянуті можливі причини виходу з ладу деталі. Сформульовані основні вимоги до готового виробу: підвищена зносостійкість, втомна міцність при контактному навантаженні, твердість 64-66 HRC.

2. На основі критичного аналізу літературних джерел визначено оптимальний сучасний метод насичення поверхні виробу в розплаві солей – карбонітрація. Описаний принцип обробки, технологія та переваги.

3. Проведено аналіз матеріалів для деталі «шевер». Запропоновано виготовляти шевер із швидкорізальної сталі Р6М5. Матеріал характеризується підвищеною в'язкістю, високим опором зношуванню високою шліфуїмістю та рекомендований для виготовлення зубонарізних виробів. Крім того, вибір обґрунтований економічною доцільністю.

4. Розроблена карта маршрутної технології виготовлення деталі «шевер». Процес складається з 7 етапів: отримання сталі; отримання заготовки; чорнова механічна обробка; остаточна термічна обробка; чистова механічна обробка; хіміко-термічна обробка; вихідного контролю.

5. Запропонована сучасна технологія термічної обробки деталі «шевер»: гартування при 1210 - 1230 °С; відпуски та карбонітрація при температурі 540-560 °С.

6. В результаті термічної обробки формується структура мартенсит відпуску, карбіди та аустеніт залишковий.

7. В результаті карбонітрації на поверхні формується захисне покриття товщиною 25-30 мкм. Покриття складається з декількох шарів. Верхній шар до 5 мкм являє собою оксидну фазу типу  $Fe_3O_4$  під яким, розташовується  $\epsilon$  - фаза типу  $Fe_{2-3}(N, C)$  товщиною до 15 мкм, далі зона  $\gamma'$ - фаза типу  $Fe_4(N, C)$  товщиною до 1 мкм. Під карбонітнідним шаром знаходиться дифузійна зона до 0,4 мм, що

складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітнідних фаз.

8. Твердість основи становить 62-64 HRC, максимальна твердість поверхневі – 13 ГПа.

9. Визначено, що карбідна неоднорідність сталі Р6М5 становить бал 1, а.

10. Отримані комплексні результати повністю задовольняють вимогам, які висуваються до готового виробу.

11. Призначено та з урахуванням річної виробничої програми розрахована необхідна кількість основного та допоміжного обладнання. Розроблений план термічної дільниці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жиганов В. И. Механическая обработка зубчатых колес : учебное пособие / В. И. Жиганов, Ю. А. Сахно, В. В. Демидов, Е. Ю. Сахно. - Ульяновск : УлГТУ, 134 с.
2. Цих С.Г., Гришин В.И., Лисицкий В.Н. Опыт применения карбонитрации стальных деталей и инструмента: - Магнитогорск: Магнитогорский Государственный технический университет им.Носова. 2008. 432-8 с.
3. Мерчанский Д. П. Зуборезное дело: 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1969. 224 с. ил.
4. ООО «ПЗО» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://p-z-o.ru>
5. Чемборисов Н. А. Резание материалов. режущий инструмент в 2 ч. часть 1. Учебник для СПО. 2020. 263 с.
6. Сорокин В. Г., Волосникова А.В. Марочник сталей и сплавов. 1989 г. 640 с.
7. Куксанов В.Ф., Чекмарева О.В., Моисеева А.А., Шабанова С.В. Токсикологическая оценка отходов процесса карбоноциалов на машиностроительном предприятии. 2019.
8. Могиленец М. В., ООО «Новые технологии упрочнения «КАРБАЗ» Карбонитрация в расплаве солей. 2018.
9. Патент RU0002682986 МПК C23C 8/38, C23C 14/22, C23C 14/06, опубл. 25.03.2019
10. Патент RU №2599950 МПК C23C 8/38, C23C 14/48, C21D 9/22, C23C 8/24 (2006.01), опубл. 20.10.2016, Бюл. №29
11. Патент UA №112983 МПК C23C 8/36 (2006.01), C23C 8/48 (2006.01), опубл. 10.01.2017, Бюл. №1 2017 р
12. Цих С.Г., Гришин В.И., Лисицкий В.Н. Современные технологии химической и термической обработки в машиностроеной технологии производства: - Магнитогорск: Магнитогорский Государственный технический университет им.Носова.2010. 166-70 с.

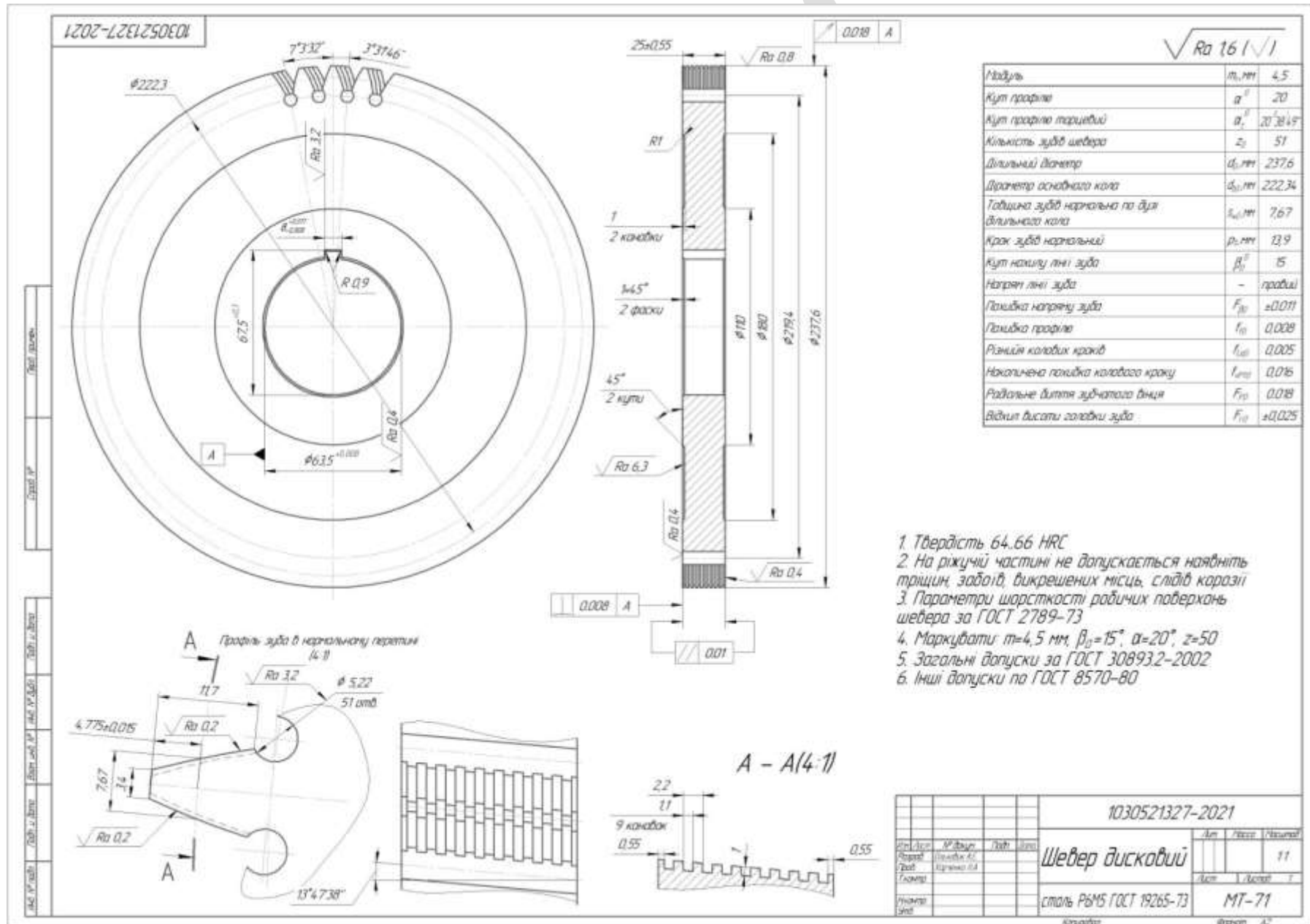
13. Chatterjee-Fischer R. and Eysell F. Nitriding and carbonitriding – Moscow: Metallurgy. 1990.
14. Prokoshkin D.A., 1984, Chemical and thermal metal treatment – carbonitriding – Moscow: Metallurgy, Machine Building. 1984.
15. TU (Technical conditions) 6-09-1109-75, 1976, Potassium cyanate of pure qualification Technical conditions. Intr. 1976-01-01 (Moscow)
16. GOST (State Standard) 4221-76, 1993, Potassium carbonate. Technical conditions. Intr. 1977-01-01 (Moscow: Standards Publishing)
17. Студопедія [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://studopedia.com.ua/1\\_30439\\_vibir-materialu-detali.html](https://studopedia.com.ua/1_30439_vibir-materialu-detali.html)
18. Александров В.Д и др.: Фрезерование и расчет параметров процесса резания при фрезеровании: методические указания к расчетно-практической работе №3. МАДИ, 2017. 32 с.
19. Марочник сталей та сплавів. Харків. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=301](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=301)
20. Методичні вказівки до практичного заняття №2 «Основні принципи вибору марки швидкохідної сталі» з дисципліни «Інструментальні матеріали» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 131 Прикладна механіка (освітньо-професійна програма «Технології машинобудування») усіх форм навчання. Укладачі: Музичка Д.Г., Солод В.Ю., Калініченко С.В. - Кам'янське, ДДТУ. 2016р. 15 стор.
21. ГОСТ 19265-73 Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия (с Изменениями N 1-6), ГОСТ от 10 декабря 1973 г. № 19265-73
22. Марченко С. В. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. С. В. Марченко, О. П. Гапонова, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. 146 с.
23. Холявко В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм

навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. 156 с.

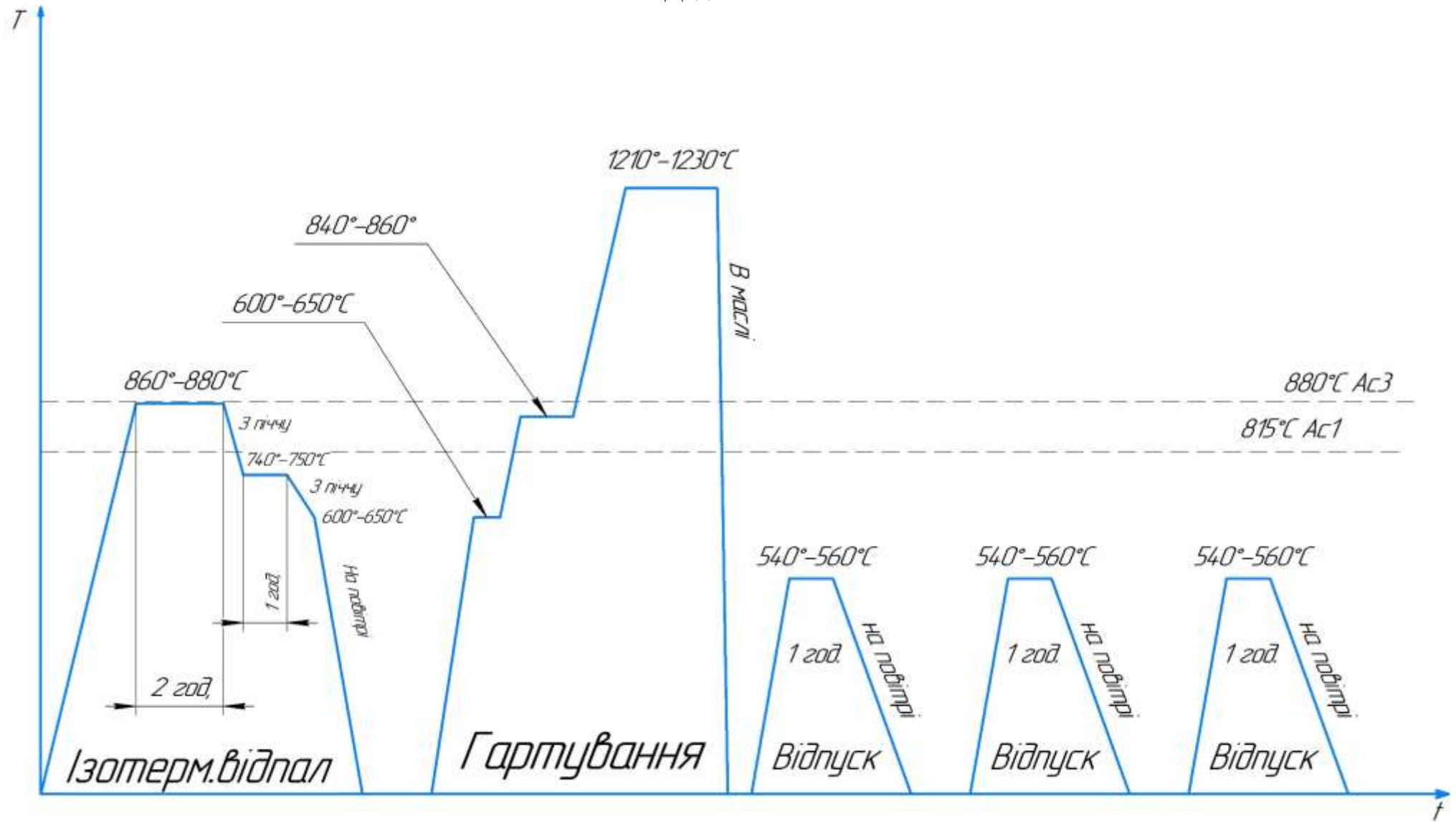
- 24.ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу (с Изменениями N 1, 2, 3, с Поправкой) / ГОСТ от 04 февраля 1959 г.
- 25.Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450—76. – [Чинний від 1976-01-09]: ИПК издательство стандартов, 1976. 33 с. (Государственный стандарт ССР).
- 26.Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
- 27.Шлеймович М. А. Технология изготовления зуборезного инструмента М. А. Шлеймович, Э. С. Померанец. – Москва, Свердловск, 1948. (Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы).
- 28.Сигова В. И. Методические указания к лабораторной работе «Микроструктура и свойства термически обработанных быстрорежущих сталей» по курсу «Термическая обработка сталей» для студентов инженерного факультета специальности «Прикладное материаловедение» всех форм обучения. Сигова В.И., Медведева В.Я., Пчелинцев В.А. – Суми : Сумський державний університет, 2003. 32 с.
- 29.Верещака А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями, А. С. Верещака, І. П. Третьяков, 1999. 63 с.
- 30.Губин Д. И. Карбонитрация быстрорежущих сталей в нетоксичной карбамидо-натриевой ванне Д. И. Губин Молодежь и наука: реальность и будущее: Материалы I международной научн.-практ. конф., Невинномысск: НГТУ. Том 2. 2008. 320. с.
- 31.ООО «Бортек» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://bortek.ua/>



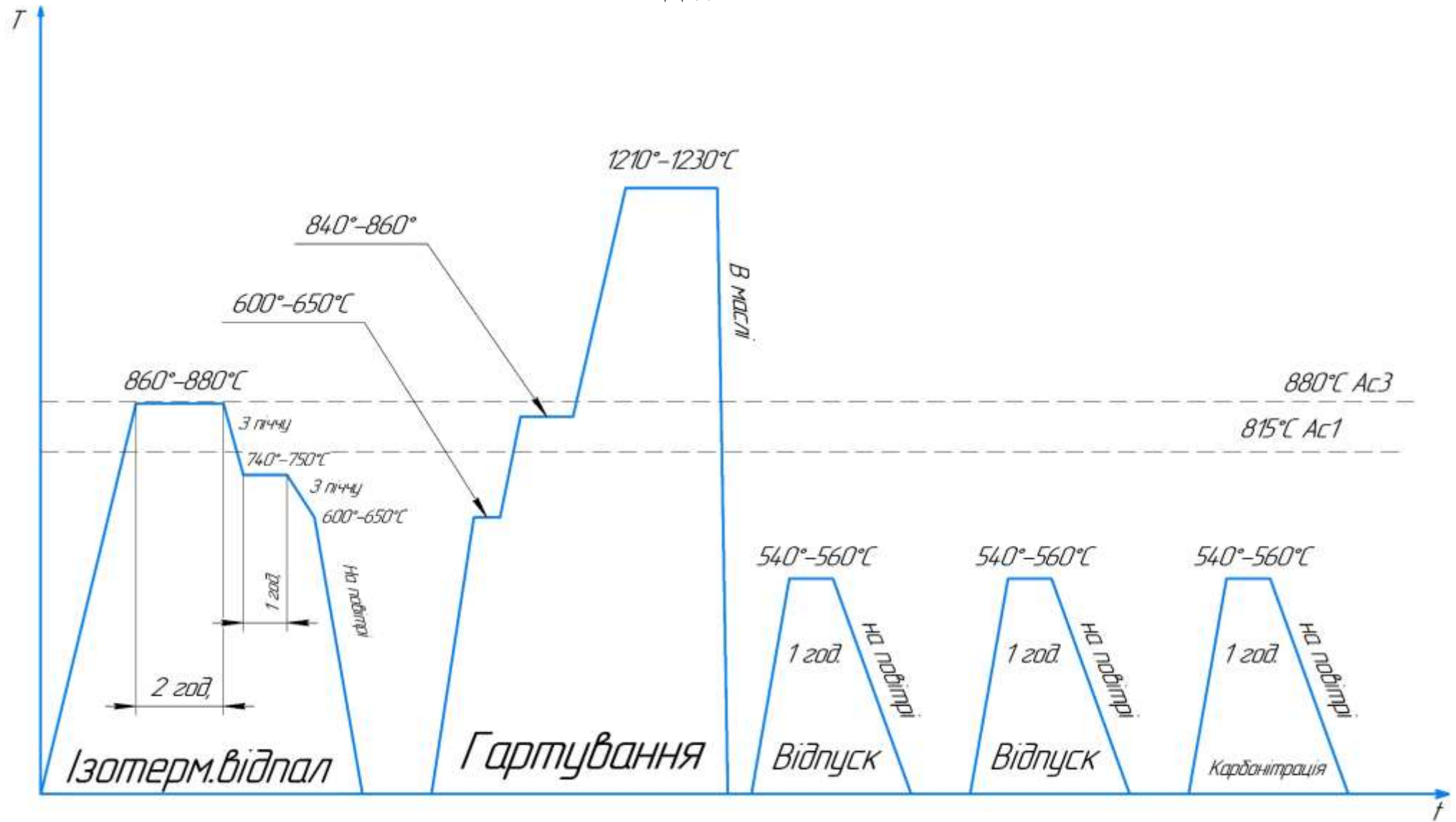
## Додаток А



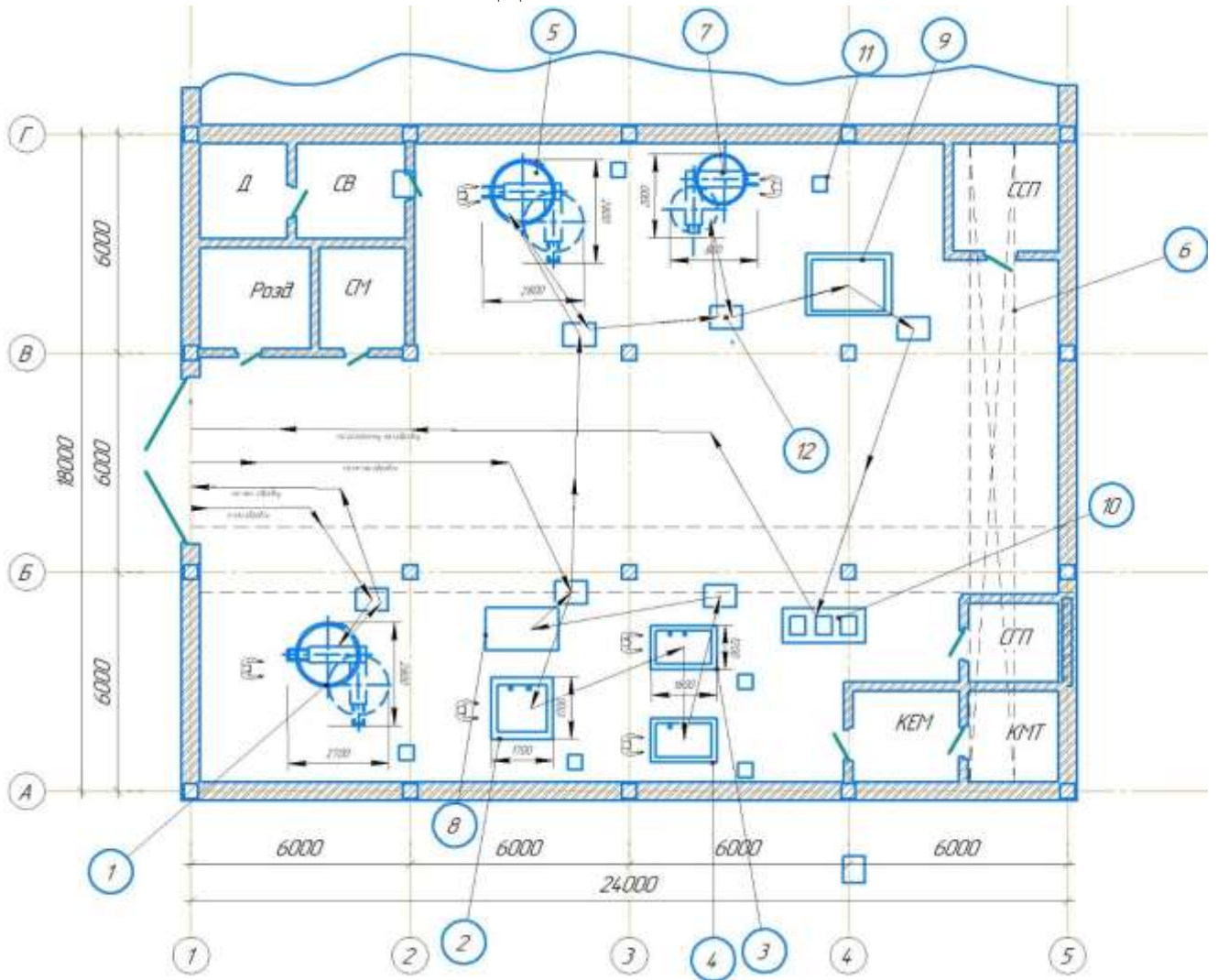
### Додаток Б



### Додаток В



# Додаток Г



# Додаток Д

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

### МАТЕРІАЛИ та програма

VIII Всеукраїнської  
науково-технічної конференції  
(м. Суми, 20–23 квітня 2021 р.)

Суми  
Сумський державний університет  
2021

#### КАРБОНІТРАЦІЯ ДЕТАЛІ «ШЕВЕР»

Ольшан К. С., студентка гр.МТ-71; Харченко Н. А., канд. техн. наук,  
доц. кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

Сучасність вимагає від виробників застосування ефективних методів корегування експлуатаційних властивостей виробів машинобудування. Інструмент «шевер дисконів» є зубчасте колесо, яке має на бічній поверхні зуби різної кромки, утворені поперечними канавками. Шевери дискони - це інструменти високої товщини, призначені для частотної обробки зубчастих коліс [1]. Карбонітрація – це високоєфективна технологія поверхневого зміцнення деталей машин, штампової і пресової оснастки різного призначення, різучого інструменту [2].

Деталі «шевер» виготовляють із ванадорієвальної сталі Р6М5. Твердість даної сталі після термічної обробки становить 64 НRC. Підвищення поверхневої твердості і зносостійкості реалізується медальною хіміко-термічною обробкою – карбонітрацією. Карбонітрація деталі проводиться у розплаві сумішей: 70% KCNО + 30% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> або 55% Co(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> + 45% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> або Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> при температурі 560-580°С впродовж 30-50 хвилин. Твердість шару при цьому HV 10-11 ГПа, товщина 0,01-0,02 мм [3]. В даний час для полегшення процесу окислення ванни в розлив вводять спеціальні «таблетки», які відновлюють хімічний склад розливу для карбонітрації. Додаткове окислювання в шпартно-лужному розплаві при t = 350-400 °С приводить до подальшого підвищення корозійної стійкості та інших технологічних властивостей. Окислювання також сприяє повному зникненню цинків та цинкатів, що знаходяться на поверхні деталей після їх вибивання з розплавленої ванни [4].

З огляду на всі переваги і завдяки своїй простоті й ефективності, метод рідинної карбонітрації гідно оцінений та часто застосовується, приводить до підвищення зносостійкості та поверхневої твердості деталі в 3-5 разів.

#### Список літератури

1. Ріанта. Матеріали і інструменти: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rianto.com.ua/instrument/metalloraz/shever/>
2. Tsykh S.G., Grishin V.I. and Lisitskiy V.N., 2008. Experience of the use of carbonitration of steel parts and tools in machine building. Bulletin of Novosibirsk State Technical University 4 32-8
3. Конструкционные материалы: Справочник/Б. Н. Аргазова – 665 сев, Н. А. Брестрем, Н. А. Буше и др.: Под общ. ред. Б. Н. Аргазова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.; ил. - (Основы проектирования машин)
4. ТОВ «Карбаз»: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://karbaz.com.ua>

УДК 001.891(063)  
С91

#### Редакційна колегія:

відповідальний редактор – канд. техн. наук, професор  
О. Г. Гусак; заступник відповідального редактора – д-р техн.  
наук, професор І. В. Павлишко.

#### Члени редакційної колегії:

д-р техн. наук, професор В. І. Складінський; д-р техн. наук,  
проф. В. О. Іванов; д-р техн. наук, професор В. О. Залого;  
д-р техн. наук, професор К. О. Дядюра; д-р техн. наук, професор  
Л. Д. Паянук; канд. техн. наук, доцент О. П. Гапонова;  
канд. техн. наук, професор І. О. Ковальон; канд. техн. наук,  
професор І. Б. Карішнев; канд. техн. наук, доцент  
А. В. Загоруйко; канд. техн. наук, доцент С. М. Ванекс;  
канд. техн. наук, доцент С. Б. Большанина.

#### Технічні секретарі:

канд. техн. наук, ст. викл. Х. В. Берладієв; асп. В. С. Чубур.

Сучасні технології у промисловому виробництві :  
матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної  
конференції (м. Суми, 20-23 квітня 2021 р.) / редкол.:  
О. Г. Гусак, І. В. Павлишко. – Суми : Сумський державний  
університет, 2021. – 291 с.

УДК 001.891(063)

До матеріалів конференції увійшли тези доповідей  
конференції, в яких наведені результати наукових досліджень  
представників закладів вищої освіти України та країн  
Європейського Союзу. Збірка тез доповідей буде корисною для  
науковців, викладачів, аспірантів і студентів, а також інженерів  
усіх галузей виробництва.

© Сумський державний університет, 2021