

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Машинобудування, транспорту і зварювання

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу
хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із
низьковуглецевих сталей
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-
ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 «Професійна освіта
(Машинобудування)»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



/Костянтин РЯБІНІН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник



/Антон СКОРКІН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Рецензент





/Вікторія КНЯЗЄВА


(підпис)

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  /Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

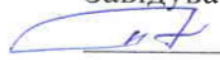
Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк
“ 12 ” 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
студенту (ці) Костянтину РЯБІНІНУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей
затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи 8 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Зразки гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей для подальшої обробки, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Аналіз методів підвищення ефективності при хонінгуванні відтворень сталених виробів типу «циліндр». Дослідження впливу процесу наводжування на структуру поверхневого шару виробу. Дослідження мікропрофілю обробленої поверхні після хонінгування з попереднім наводжуванням. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Ірина ХОТЧЕНКО			

7. Дата видачі завдання « 12 » 10 2024 р.

Керівник  Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання  Костянтин РЯБІНІН
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

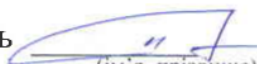
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел		
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи		
4.	Підготовка аналітичної частини		
5.	Підготовка теоретичної частини		
6.	Розробка дослідницької частини		
7.	Розробка методичного розділу		
8.	Підготовка графічного матеріалу		
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника		
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів		
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.		
12.	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Костянтин РЯБІНІН
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(ім'я, прізвище)

Олег ПОДОЛЯК

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)
Введено в дію:
наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей

(назва роботи)

студента

РЯБІНІН Костянтин Романович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Скоркін Антон Олегович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 6,57,

Коефіцієнт Подібності 2: 1,79 ,

Сигнал „Тривога!”: – немає; – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 20% – оригінальна робота,

від __% до __% – задовільно оригінальна робота,

від __% до __% – умовно оригінальна робота,

більше __% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

оригінальна,

задовільно оригінальна,

умовно оригінальна,

неоригінальна.

Висновок:

робота може бути допущена до захисту,

необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор _____

(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

22.11.24

(дата)

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 Актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі	9
2 Аналіз методів підвищення ефективності при хонінгуванні відтворень сталених виробів типу «ціліндр».	17
3 Методика проведення експериментів	31
4 Дослідження впливу процесу наводжування на структуру поверхневого шару виробу	40
5 Дослідження мікропрофілю обробленої поверхні після хонінгування з попереднім наводжуванням	55
Розділ 6 Розробка дидактичного проєкту факультативного заняття на тему «вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей» для фахівців машинобудівної галузі	60
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “ Підготовка фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей ”

РЕФЕРАТ

Робота містить 78с., 43 рис., 28 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей.

У другому розділі виконано огляд досліджень та публікацій з вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей.

У третьому розділі викладена методика проведення експериментів.

У четвертого розділі виконано дослідження впливу процесу наводжування на структуру поверхневого шару виробу.

У п'ятому розділі виконано дослідження мікропрофілю обробленої поверхні після хонінгування з попереднім наводжуванням.

Запропонована методика може бути покладена в основу інноваційних технологій під час навчання для отримання кваліфікованих фахівців машинобудівної галузі.

Ключові слова: професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, пневмоциліндр, евольвента, сталь, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic “Training of specialists in the mechanical engineering industry to improve the honing process of large-sized hydraulic and pneumatic cylinders made of low-carbon steels”

ABSTRACT

The work contains 78 pages, 43 figures, 28 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry to improve the honing process of large-sized hydraulic and pneumatic cylinders made of low-carbon steels.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to improve the honing process of large-sized hydraulic and pneumatic cylinders made of low-carbon steels.

The second section reviews research and publications on improving the honing process of large-sized hydraulic and pneumatic cylinders made of low-carbon steels.

The third section presents the methodology for conducting experiments.

In the fourth section, a study of the influence of the honing process on the structure of the surface layer of the product was carried out.

In the fifth section, a study of the microprofile of the treated surface after honing with preliminary honing was carried out.

The proposed methodology can be used as the basis for innovative technologies during training to obtain qualified specialists in the mechanical engineering industry.

Keywords: professional training, mechanical engineering industry, specialist, pneumatic cylinder, involute, steel, practical training methodology.

ВСТУП

Однією з найважливіших завдань технічного прогресу в галузі машинобудування є підвищення надійності та довговічності роботи машин і механізмів. Поверхні, кращого фізичного стану поверхневих шарів металу та скороченням у часі тривалості технологічного Same на остаточних операціях формується поверхневий шар деталей, що визначає їх експлуатаційні властивості [1].

У процесі хонінгування утворюються задираки і напливи металу, збільшується шорсткість, що є наслідком високої пластичності матеріалу, що обробляється. У цьому випадку для забезпечення якості поверхні, що обробляється, доводиться застосовувати багаторазове машинно-ручне доведення або полірування, що збільшує трудомісткість фінішних операцій.

В даний час для фінішної обробки великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів, розміри яких лежать в інтервалі 500 мм - 1500 мм і вище з подібних матеріалів на виробництві часто застосовують розкочування замість хонінгування. Однак, розкочування отворів дає низьку точність розмірів та геометричної форми. У процесі розкочування можливе перенаклепування поверхні, що призводить до утворення мікротріщин і руйнування поверхні в процесі роботи. Відомі прогресивні методи фінішної обробки хонінгуванням дозволяють поліпшити мікрогеометрію при обробці таких матеріалів не більше ніж на 15%.

Традиційно, для вирішення цієї проблеми пропонується підвищувати твердість поверхні перед обробкою. Встановлено, що твердість поверхні істотно впливає на величину її шорсткості. Так, наприклад, при хонінгуванні «м'якої» аустенітної сталі 12X18H10T (HB 179) досягається параметр шорсткості Ra 1,1 мкм, а при обробці загартованої сталі ШХ15 (HRC 58) Ra = 0,3 мкм. Відомі способи підвищення твердості оброблюваної поверхні, такі як азотування, борування, цементація і нітроцементація, лазерне легування поверхневого шару при фінішній обробці низьковуглецевих морозостійких і аустенітних корозійностійких сталей не можуть бути використані стосовно

фінішної обробки. Серед них: зниження корозійної стійкості виробів внаслідок вибивання атомів хрому атомами вуглецю або азоту, що особливо значуще для хімічної та харчової промисловості, а також наявністю теплових деформацій, що виникають через необхідність нагрівання виробів до температур 700-1200°C. Тому дані способи підвищення ефективності оздоблювальних операцій на великогабаритних виробках з вищевказаних сталей непридатні.

Проблема підвищення ефективності процесу хонінгування великогабаритних пневмо- та гідроциліндрів з низьковуглецевих морозостійких та аустенітних корозійностійких сталей є актуальною, оскільки пов'язана із забезпеченням надійності роботи цих відповідальних виробів.

РОЗДІЛ 1

АКТУЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

В Українській економіці присутні необхідні умови та можливості для вирішення проблеми комплексної модернізації та забезпечення темпів випереджувального розвитку підприємств вітчизняного машинобудування. Фундаментом для цього має стати ефективна (комплексна) державна програма імпортозаміщення, що відповідає сучасним умовам і здатна забезпечити цілісність та багатоаспектність процесу трансформацій.

Машинобудування – одна з тих галузей, де цифрові технології впроваджуються повним ходом на більшій частині підприємств. Цифрові технології беруть участь упродовж усього життєвого циклу виробу: планування, облік матеріальних та товарних цінностей, безпосереднє управління виробництвом та багатьох інших процесах, характерних для машинобудівних підприємств. Застосування сучасних технологій та автоматизації виробничих процесів пояснюється, насамперед, високою конкуренцією. Удосконалення та автоматизація способів та методів виробництва є гарантією успішного функціонування підприємства. «Кінцева мета застосування цифрових технологій та автоматизації виробництва водства очевидна і пов'язана з необхідністю не тільки отримувати на будь-якому рівні оперативну та актуальну інформацію для прийняття ефективних та своєчасних рішень, але й піклуватися про зниження собівартості та покращення якості продукції, а також про оптимізацію виробництва».

Найважливішим базовим завданням, на даному етапі розвитку економіки країни, надається підготовці інженерних кадрів. Зокрема Міністерство освіти і науки України розпорядилося до вересня цього року забезпечити включення в освітні програми ЗВО курси та дисципліни, пов'язані з використанням інформаційних технологій, систем та мереж, вивченням

вітчизняних розробок у сфері інформаційних технологій, а й у машинобудівному виробництві.

Міждисциплінарний характер проблеми підвищення рівня використання освіти у виробничому потенціал машинобудівного виробництва визначає застосування методологічного інструментарію, що включає в себе як загальнонаукові методи та прийоми, і теоретичні, з допомогою інформаційних технологій.

Сучасна освіта має бути спрямована на розробку та впровадження на підприємствах перспективних технологій (у тому числі базових галузевих технологій), що враховують принципи найкращих доступних технологій, проектно-інженерного та інших видів аналізу, на реалізацію технологічних та промислових проектів, що здійснюються в українській промисловості та спрямованих на імпортозаміщення, підвищення рівня автоматизації та цифровізації промислових підприємств. Для успішного вирішення цих та інших завдань потрібні кваліфіковані кадри, які володіють необхідними відповідними компетентностями. Кадрове оновлення трудових колективів промислових підприємств є одним із ключових трендів, що формує актуальну повістку розвитку промисловості.

Головною метою освітньої програми «Технологія машинобудування» є підготовка бакалаврів у галузі інженерних знань як виконавці або керівники молодшого рівня з можливістю продовження навчання в магістратурі та аспірантурі, які вивчають міжпредметні «зв'язки (механічні, фізичні, розмірні, тимчасові, інформаційні, економічні та організаційні) з метою вдосконалення існуючих та створення нових технологічних процесів та методів обробки та складання виробів машинобудування необхідної якості з мінімальними витратами праці, матеріальних та енергетичних ресурсів».

Компетентнісний практико-орієнтований підхід при підготовці бакалаврів спрямований на розвиток такого рівня професійних компетентностей, який дозволить сформувати професійний кадровий склад,

здатний здійснювати використання сучасних технологій на підприємствах України:

- інженерно-технічного працівника, який здійснює діяльність на підприємствах усіх форм власності;
- конструктора технологічного обладнання та оснащення підприємства, що виробляє продукцію, виконує послуги з обслуговування, ремонту та модернізації будь-якого обладнання;
- технолога машинобудівних підприємств;
- метролога служби якості на підприємствах, здатного побудувати систему менеджменту якості та методологію ощадливого виробництва;
- інженера-наладчика автоматичних та роботизованих комплексів з металообробки;
- співробітників інжинірингових відділів з реалізації нових інвестиційних проєктів.

Головний елемент унікальності даної освітньої програми спрямованість формування професійного кадрового складу в галузі конструкторсько-технологічного забезпечення машинобудівних виробництв, здатного вирішувати інженерно-технічні, конструкторсько-технологічні, економічні, дослідні завдання у рамках життєвого циклу виробу з використанням цифрових технологій. Так, у рамках освітньої програми у відповідність до видами професійної діяльності на основі використання практико-орієнтованого підходу та методологічного інструментарію, що включає в себе як загальнонаукові методи та прийоми, так і специфічні, ведеться підготовка майбутніх спеціалістів на галузі машинобудування за навчальним планом, що передбачає таке об'єднання предметів у групи, що дозволить підготувати бакалавра, який володіє професійними компетенціями зазначених вище професій. Концептуальна взаємодія «підприємство (замовник) – університет (виконавець) – розробник (провідний спеціаліст у предметній галузі)» є основою формування кадрового потенціалу підприємств регіону. На рівні просування цифрових технологій можлива технічна та програмна взаємодія

всіх учасників процесу, освоєння та налагодження багатокритеріальних завдань з використанням ІТ технологій у рамках підготовки бакалавра.

Опанування цифровими технологіями закладено в об'єднані групи предметів, що дозволяють сформувати готовність до вирішення конкретних завдань виробничого процесу.

Вдосконалення кадрового потенціалу на підприємствах машинобудування регіону залежатиме від можливості залучення талановитої молоді на напрям підготовки «Технологія машинобудування».

Практика реалізація освітньої програми показала найбільш ефективні форми роботи з майбутніми абітурієнтами:

- побудови міцних зв'язків між університетом, школами та середніми професійними освітніми установами;

- проведення щорічної Всеукраїнської/Міжнародної науково-освітньої конференції «Крок у науку» серед школярів та випускників середніх професійних освітніх організацій, з метою популяризації інженерної освіти (призери конференції отримують додаткові бали при вступі до ЗВО);

- проведення щорічної внутрішньовузівської студентської олімпіади (з Всеукраїнською участю) з «Технології машинобудування» із залученням студентів середніх професійних освітніх установ;

- організація та відкриття юнацької спеціалізованої науково-дослідної школи юного конструктора;

- проведення приймальною комісією внутрішніх іспитів (математика, фізика, українська) для осіб, мають профільне середню професійну освіту;

- участь викладачів випускуючої кафедри у процесі набору абітурієнтів для з'ясування індивідуальних та особистісних якостей майбутнього студента, для формування індивідуального підходу до кожного.

Велику роль у підготовці у формуванні якісного кадрового потенціалу для галузі промисловості відіграє організація освітнього процесу. Найбільш ефективними напрямками реалізації освітньої програми ми бачимо:

- у модернізації основної освітньої програми відповідно до потреб роботодавців та професійними освітніми стандартами;

- у підвищенні якості освітніх послуг, що надаються, за рахунок залучення ведучих вчених та фахівців (у тому числі іноземних) у предметних областях;

- у розвитку цільової підготовки кадрів для підприємств регіону;

- у створенні та розвитку проектного навчання, у тому числі з використанням стандартів CDIO;

- у впровадженні у навчальний процес командного виконання міждисциплінарних проектів повного життєвого циклу

Важливе значення у створенні освітнього процесу грає застосування сучасних освітніх технологій:

- впровадження цифрового освітнього середовища в навчальний процес;

- розробка онлайн-курсів та модулів, що реалізуються з використанням електронних та дистанційних технологій;

- реалізації внутрішньоуніверситетських інтегрованих програм, спрямованих на об'єднання зусиль різних кафедр під час виконання міждисциплінарних проектів повного життєвого циклу;

- створення персоніфікованих програм навчання для талановитих студентів;

- організація взаємодії з ведучими університетами;

- організація та проведення онлайн-семінарів з представниками провідних підприємств галузі;

- активне використання наявного матеріально-технічного забезпечення у навчальному процесі;

- організація та проведення міжнародних студентських проектних семінарів та форумів.

Розвиток науково-технічного потенціалу та цільової підготовки кадрів для підприємств регіону здійснюється за допомогою:

– спільного використання наукового потенціалу кафедри, університету та виробничих організацій для проведення спільних наукових досліджень, впровадження та комерціалізації наукових досліджень розробок;

– зміцнення наявних зв'язків, а також розширення та встановлення довгострокового наукового співробітництва з провідними українськими та зарубіжними вченими;

– створення студентських конструкторських бюро з метою залучення до науково-дослідної діяльності студентів;

– залучення студентів та викладачів до участі у Міжнародних та Всеукраїнських конференціях;

– участі студентів у конкурсах на здобуття грантів під час проведення ними науково-дослідних проєктів.

Важливу роль ми відводимо підвищенню професійного рівня професорсько-викладацьких кадрів, який включає:

– підвищення кваліфікації наукових та науковопедагогічних працівників відповідно до сучасних вимог модернізації освіти в ході розширення зв'язків з виробництвом та кращими університетами;

– формування умов для якісного оновлення професорсько-викладацького складу шляхом залучення талановитих педагогів та фахівців-практиків із реального сектору економіки, провідних вчених у галузі машинобудування;

– створення умов для виконання показників ефективних контрактів з викладачами та співробітниками кафедри;

– покращення умов праці співробітників та професорсько-викладацького складу, розвитку корпоративної культури, формування позитивного іміджу інституту.

Досвід, отриманий при залученні зазначених організацій-партнерів буде використаний при реалізації освітньої програми «Технологія машинобудування» перенесення частини освітнього процесу (навчальна, виробничі та переддипломна практика) на майданчик підприємств-партнерів,

що дозволить реалізовувати спільну освітню, наукову та інноваційну діяльність, залучати студентів та викладачів кафедри у діяльність підприємства-партнера, працювати над вирішенням наукових та технологічних завдань виробництва до педагогічної діяльності провідних спеціалістів підприємств, що сприяє зростанню їх викладацьких компетентностей реалізовано комплексний підхід до дослідження теоретичної та професійної майстерності з державними освітніми стандартами та стандартам WorldSkills. Навчальна, виробничі та переддипломна практики студентів проводяться на більш ніж 30 підприємствах України, з якими укладено відповідні договори.

Практичні результати робіт студентів (курсів роботи, курсові проекти, ВКР), виконані на кафедрі, впроваджено на ряді машинобудівних підприємств України.

З 2018 р. укладаються довгострокові договори з машинобудівними підприємствами про проходження практик студентів. На захист ВКР запрошуються представники організацій з метою працевлаштування випускників.

Зміст та результативність освітньої програми за напрямом підготовки «Технологія машинобудування» відповідає сучасному розвитку технологій та очікуванням роботодавців.

Аналіз інтерактивного порталу Управління праці та зайнятості показав, що підприємства машинобудівного комплексу відчувають нестачу інженерних кадрів у галузі машин та обладнання технологічних комплексів машинобудівних виробництв, засобів інформаційного, метрологічного, діагностичного та управлінського забезпечення технологічних систем для досягнення якості виробів, що випускаються. За даними Управління праці та зайнятості потреба у кадрах з вищою освітою за напрямом підготовки стабільна. Це з розвитком базових підприємств машинобудівного комплексу регіону.

Для підвищення рівня практико-орієнтованої підготовки майбутніх фахівців та затребуваності їх на ринку праці:

– створити робочі професійні групи «підприємство – кафедра» з комплексної автоматизації багатокритеріальних завдань прийняття технічних рішень на основі виробничого потенціалу машинобудівного виробництва та із застосуванням методологічного інструментарію кафедри, що включає як загальнонаукові методи і прийоми, так і теоретичні з урахуванням інформаційних технологій.

– організувати та відкрити навчальний інтерактивний клас із сучасним навчальним обладнанням з ЧПУ та спеціальними тренажерами, що імітують стійки ЧПУ промислових верстатів у найбільш популярних системах ЧПУ. Siemens Sinumerik 810D/840D, Sinumerik Operate, Fanuc 0 та 21, Heidenhain TNC 426/430. За статистикою, понад 73 % металорізальних верстатів, що випускаються у світі, оснащуються саме цими системами ЧПУ.

Крім того, майбутній оператор верстатів із ЧПУ освоює як систему програмування у стандартному режимі з використанням G-кодів, так і сучасну систему діалогового програмування токарних та фрезерних верстатів з подальшим відпрацюванням практичних навичок на сучасному навчальному обладнанні з ЧПУ;

– організувати та відкрити юнацьку спеціалізовану науково-дослідну школу юного конструктора із залученням до освітнього процесу учнів різних рівнів підготовки (бакалаврів, магістрів). Організація та відкриття юнацької спеціалізованої науково-дослідної школи юного конструктора дозволить з одного боку показати та продемонструвати школярам нові технології, можливості автоматизованого проектування та програмування сучасного обладнання з ЧПУ, роботизованих комплексів, а з іншого лає ще раз студентам попрактикуватися у професійній діяльності, а також дозволить реалізувати спільні проєкти практично;

– залучати студентів до участі у конкурсі робітничих професій «Worldskills». Участь студентів в конкурсі робітничих професій «Worldskills»,

є додатковим стимулом перевірити сформовані вміння у змодельованому професійному середовищі, а перемога – відчинить двері на багато престижних підприємств. Наші викладачі пройшли підготовку до центрів «Worldskills» і є експертами та регіональними експертами з компетенцій JuniorSkills та Worldskills для організації змагань та підготовки робітничих професій технологів-програмістів верстатів з ЧПУ, оператор-наладчик верстатів з ЧПУ та ін.

2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ХОНІНГУВАННІ ВІДТВОРЕНЬ СТАЛЬНИХ ВИРОБІВ ТИПУ «ЦІЛІНДР».

2.2 Вплив хонінгування на експлуатаційні характеристики деталей машин.

Експлуатаційні властивості деталей машин (зносостійкість, втомна міцність, контактна жорсткість, корозійна стійкість та ін.) істотно залежать від точності та якості їх поверхонь, що сполучаються, і стану поверхневого шару, які визначені геометричними (номінальна геометрія, відхилення форми і розташування поверхонь,) та фізико-механічними (мікротвердість, залишкові напруження, структура) характеристиками. Всі ці параметри пов'язані з технологією обробки деталей. Щоб отримати ту чи іншу експлуатаційну властивість деталі чи вузла, необхідно забезпечити необхідні характеристики якості робочих поверхонь. Для вирішення цього завдання слід знати залежності, що пов'язують характеристики якості поверхонь, що обробляються, з умовами обробки (режими, геометрія інструменту, вихідна якість оброблюваної поверхні), причому залежності повинні відображати вплив технологічної спадковості [1].

При фінішній обробці внутрішніх поверхонь провідне місце займає хонінгування. Хонінгування виконують після шліфування, розгортання, чистового та напівчистового розточування, протягування. При хонінгуванні після свердління, розточування, термічної обробки доводиться знімати великий припуск, а також проводити хонінгування без попередньої обробки точно виконаних заготовок [1].

Хонінгують наскрізні та глухі, гладкі та переривчасті, (шліцеві з поперечними отворами та шпонковими пазами) отвори, трапляються також випадки хонінгування некруглих – конусних, еліпсних та фасонних отворів. Розміри отворів, що обробляються, знаходяться в межах від 3 - 5 до 1500 мм по діаметру і від 10 - 20 000 мм по довжині. В умовах масового та великосерійного виробництва припуск, що залишається на хонінгування,

незначний (у межах 0,03 – 0,1 мм на діаметр) та час виконання операції не перевищує п'яти хвилин. В умовах серійного та одиничного виробництва часто є доцільним видалення великих припусків хонінгуванням (порядку 0,5 - 1,5 мм на діаметр), і в цьому випадку виконання операції становить від 1 - 3 до 30 - 60 хвилин. Характерною особливістю хонінгування є велика площа контакту різальних брусків з оброблюваною поверхнею, незначна величина тиску 0,1 – 1,0 МПа та малі швидкості різання 15 – 60 м/хв, що у 40 – 60 разів нижче, ніж при шліфуванні, а контактна температура вбирається у 150 – 200 °С. Таким чином, відсутні фізичні причини утворення в поверхневому шарі мікротріщин і припалів, а також залишкових напружень розтягування. [1,2]. Завдяки шарнірному з'єднанню хонінгувальної головки зі шпинделем верстата інструмент і деталь самовстановлюються, що забезпечує високу точність отворів, що обробляються. Шарнірне з'єднання інструменту зі шпинделем допускає деяке розбіжність осі оброблюваного отвору з віссю інструменту. Ця особливість процесу хонінгування дозволяє скорочувати припуск на обробку та допоміжний час на встановлення, вивіряння та кріплення деталі [1,2].

Для здійснення різання хонінгувальних брусків повідомляють обертальний і зворотно-поступальний рух і радіальну подачу. Сукупність цих рухів забезпечує зрізання мікростружок та самозаточування інструменту. Різання здійснюється зцементованими у зв'язці хонінгувальних брусків зернами, десятки тисяч яких виступають над рівнем зв'язки та утворюють рельєф ріжучої поверхні брусків [1, 3]. Під дією нормальної сили різальні зерна впроваджуються на певну глибину в поверхневий шар металу і при русі брусків знімають з оброблюваної поверхні найтонші стружки. Обробка супроводжується рясною подачею в зону різання мастильно-охолоджуючої рідини, яка забезпечує видалення стружки і продуктів зносу з поверхонь брусків і оброблюваного отвору, відвід частини тепла, що виділяється при різанні, і надає мастильне і хімічне вплив, що сприяє поліпшенню умов різання [1].

Поєднання обертального та зворотно-поступального руху хонінгувальної головки визначає типове для хонінгування сітку слідів обробки у вигляді гвинтових ліній, що перетинаються [1, 4].

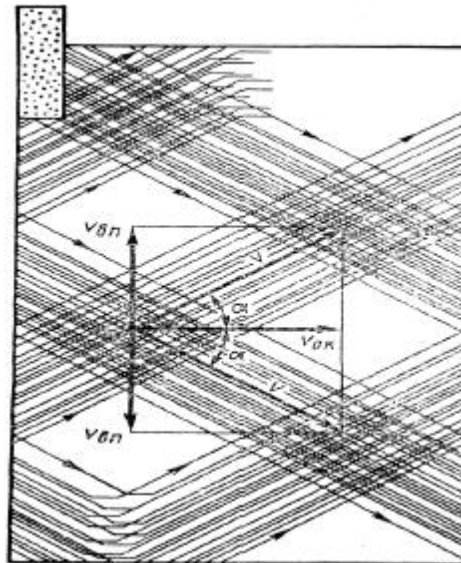


Рисунок 5.1-План швидкостей руху бруска та розгортка сітки слідів, що утворюються на поверхні отвору за один зворотно-поступальний хід інструмента при хонінгуванні

Де $V_{ок}$ – окружна швидкість;

$V_{вп}$ - зворотно-поступальна швидкість;

V – результуюча швидкість.

На малюнку Рисунок 5.1 наведена розгортка сітки слідів, що утворюються бруском, що обертається, за один зворотно-поступальний хід по поверхні отвору. Кут нахилу траєкторії руху зерна є одним з основних параметрів, що характеризують процес хонінгування. Змінюючи кут сітки ризок, можна керувати процесом хонінгування: змінювати інтенсивність знімання металу і виправлення вихідних похибок геометричної форми оброблюваного отвору [1].

Обробка отворів методом хонінгування останніми роками набув широкого поширення. Вона застосовується в автомобільній, авіаційній, тракторній, сільськогосподарській, нафтовій та інших галузях машинобудування при обробці деталей із чавуну, сталі, кераміки, пластмас та кольорових металів [1,5,6]. Хонінгування підвищує точність геометричної

форми та зменшує шорсткість поверхні, а також стабілізує якість оброблюваних деталей та підвищує надійність технологічних процесів [1].

До останнього часу процес хонінгування при обробці низьковуглецевих, так званих «м'яких сталей», що володіють невисокими властивостями міцності, виникає проблема - недостатньо висока якість обробленої поверхні. Для вирішення цієї проблеми постає питання підвищення ефективності оброблюваності сталей. Під поліпшенням оброблюваності розуміють: зменшення шорсткості обробленої поверхні в діапазоні раціональних режимів обробки, зменшення глибини шару, що зрізається, підвищення продуктивності обробки [1].

1.1 Сучасні прогресивні методи підвищення ефективності процесу хонінгування.

Розглянемо сучасні способи підвищення ефективності процесу хонінгування за рахунок покращення якості обробленої поверхні та зниження зносу абразивного інструменту [1]:

- ✓ зміна структури абразивного інструменту [7,8,9,10,11,12];
- ✓ електрохімічна обробка [13,14,15,16];
- ✓ застосування різних видів осциляції інструменту [17];
- ✓ накладання магнітного поля на процес хонінгування

Розглянемо докладно такі відомі сучасні методи хонінгування:

1. Електрохімічне хонінгування

Суть цього методу обробки полягає в тому, що на механічну дію абразивних брусків накладається ефект анодного розчинення металу. Однією із схем електрохімічного хонінгування є обробка брусками на струмопровідній зв'язці: металевій та бакелітовій з графітовим наповнювачем. Однак при такій схемі часто спостерігаються електроерозійні явища на контакті бруска - деталь внаслідок малого зазору, що дорівнює висоті виступаючої частини абразивних зерен, і великій поверхні контакту. Найбільшого поширення набула схема зі спеціально встановленими в хонінгувальній головці катодами і нетокопровідними або ізольованими брусками (Рисунок 5.2) [1].

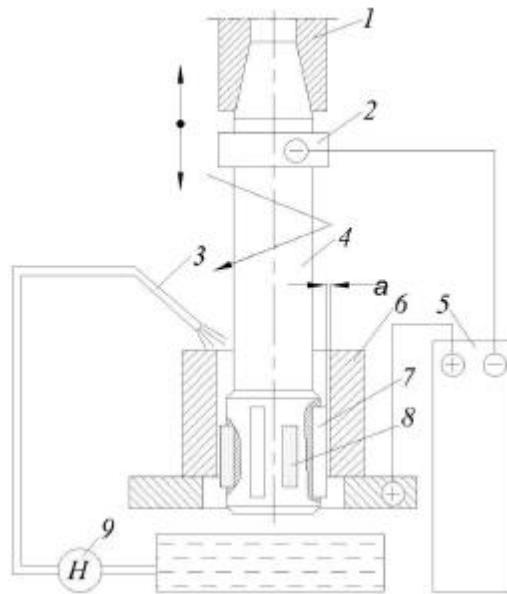


Рисунок 5.2 Схема електрохімічного хонінгування

- 1 – шпиндель; 2 – струмознімач; 3 – трубопровід підведення електроліту; 4 – хонінгувальна головка; 5 – генератор; 6 – деталь;
7 – катод; 8 – брусок; 9 – насос.

Катодом може служити корпус головки, що має менший діаметр, ніж діаметр отвору, що обробляється, на подвоєну величину міжелектродного зазору. Поверхні катодів не піддаються зношуванню і служать лише підведення струму. Бруски на струмопровідній зв'язці повинні бути ретельно ізолювані від несучих колодок для запобігання короткому замиканню. Головку з нерухомим катодом застосовують для знімання невеликих припусків (до 0,5 – 0,8 мм), а головку з рухомим катодом – для знімання припусків понад 1 мм. Як джерела струму можуть бути використані низьковольтні генератори постійного струму і випрямлячі, що дозволяють безступінчасто регулювати напругу від 5 до 18 В [1].

Електрохімічне хонінгування в порівнянні з хонінгуванням без анодного розчинення оброблюваної поверхні має ряд переваг. Продуктивність зі знімання металу в 4 - 8 разів вище і не залежить від твердості та міцності матеріалу, а точність, що забезпечується хонінгуванням, досягається швидше. Так як процес ведеться при невеликих тисках брусків, знос абразивного інструменту також невеликий. Економічність електрохімічного хонінгування

тим більша, чим вищі припуски на обробку і чим гірша оброблюваність матеріалу [1].

Негативним моментом електрохімічного хонінгування є складність та висока вартість обладнання. Також виникають додаткові енерговитрати, що витрачаються на анодне розчинення поверхні, що обробляється, що значно збільшує собівартість виробу. Крім того, після обробки спостерігається «розтрочування» поверхневого шару металу по межах зерен на глибину до 3 – 4 мкм, що погіршує якість обробленої поверхні та потребує додаткового етапу обробки [1].

2. Хонінгування зі зростаючою швидкістю різання

У даному випадку розглядається спосіб хонінгування з безперервно зростаючою швидкістю різання, який полягає в тому, що при постійній швидкості поворотно-поступального руху хонінгувальної головки швидкість обертання інструменту безперервно збільшується протягом часу циклу обробки в заданих межах. Решта режимів протягом циклу обробки залишаються незмінними. Час циклу обробки становить 60 секунд [1].

Постійне збільшення швидкості обертання хонінгувальної головки при витримуванні швидкості зворотно-поступального руху постійною, дає безперервну зміну відношення швидкості обертання до швидкості поворотно-поступального переміщення ($V_{вр}/V_{в-п}$). Внаслідок цього змінюється кут напрямку руху абразивного зерна і, відповідно, кут сітки слідів обробки α . Розгортка сітки слідів обробки, що утворюються на поверхні отвору за один зворотно-поступальний хід інструменту при хонінгуванні з швидкістю різання, що безперервно зростає, представлена на Рисунок 5.3 [1].

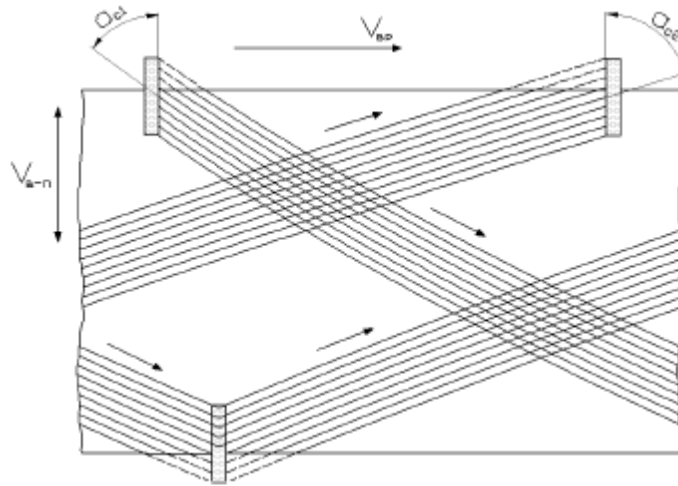


Рисунок 5.3. Розгортка сітки слідів обробки

Кут сітки слідів обробки α слід змінювати в обмежених межах, т. Е. Швидкість обертання слід змінювати в певних межах від обраної раціональної. малому куті сітки слідів обробки ($\alpha < 56^\circ$), тобто щодо $V_{вр}/V_{в-п} < 1,5$, виходить велика глибина слідів обробки, що збільшує інтенсивність металозйому, але погіршує якість обробленої поверхні. поверхні, але також зменшує інтенсивність знімання металу [1].

3. Хонінгування із використанням нових абразивних інструментів.

Як затверджувач використовують диметиланілін. Абразивні вироби отримують змішуванням абразиву, сполучного та затверджувача. Інструмент, отриманий даним способом, має високу зносостійкість, так як на відміну від відомих сполучних поліметилметакрилат володіє більш високими властивостями міцності, що обумовлено відсутністю вільних гідроксильних груп, що впливають на водостійкість абразивного інструменту, а в поєднанні з мономером він обумовлює рівномірність пористої структури зв'язку [1].

Однак застосування полімерних сполучних призводить до збільшення ймовірності засолювання абразивних гранул, що знижує продуктивність обробки. Також застосування поліметилметакрилату як сполучного призводить до викривлення форми абразивного виробу внаслідок впливу температур при обробці, що погіршує точність. Крім того, при обробці «м'яких» сталей абразивні зерна впроваджуються на велику глибину, що значно збільшує глибину слідів обробки та величину напливів металу вздовж

сліді обробки. Після чого виходить погана якість обробленої поверхні. Тому цей метод малоефективний при хонінгуванні «м'яких» сталей [1].

4. Хонінгування з додатковим осьовим рухом, що осцилює, брусків - віброхонінгування.

В результаті досліджень встановлено, що при хонінгуванні введення додаткового осцилюючого руху дозволяє підвищити точність геометричної форми отворів, збільшити продуктивність і знизити шорсткість обробленої поверхні. Інтенсифікація процесу металосъема в даному випадку відбувається завдяки тому, що при правильному виборі параметрів режиму обробки процес хонінгування має незатухаючий характер, і ріжучі зерна при своєму русі не повторюють траєкторій руху попередніх зерен. В результаті цього їх ріжучі властивості використовуються більш повною мірою. У практиці застосовуються осцилюючі рухи, що накладаються на зворотно-поступальний і обертальний рух хонінгувальної головки. Розглянемо ці методи обробки докладніше [1].

Введення коливального руху в осьовому напрямку обмежене масою (інерцією) рухомих частин, а також зниженням точності обробки через змінність напрямку осьової сили та відхилень у величині перебігу брусків. З цих причин механізмами осьової осциляції оснащуються хонінгувальні верстати, призначені для обробки лише коротких отворів діаметром до 50 мм. Хонінгувальна головка з осьовим осцилюючим рухом представлена малюнку 1.4 [1].

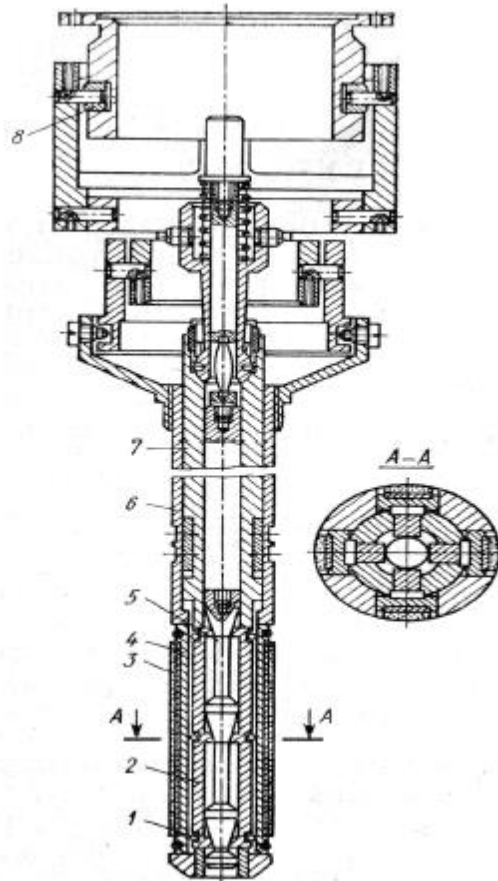


Рисунок 5. 4. - Хонінгувальна головка з осьовим рухом, що осцилює.

Найкращі результати обробки виходять при односпрямованих траєкторіях руху ріжучих зерен, що за наявності осьової осциляції неможливо. Умовою отримання такої траєкторії при круговій осциляції за синусоїдальним законом є така нерівність:

$$\lambda \cdot \beta \leq \frac{\pi}{\pi}$$

Загальним негативним моментом хонінгування з різними рухами, що осцилюють, є те, що при хонінгуванні з осцилюючим рухом абразивне зерно рухається під кутом α_s , що змінюється в межах від 0° до 90° . Так, при куті сітки слідів обробки $\alpha_s = 90^\circ$ абразивне зерно рухається по зробленій подряпині в одному напрямку і знімає стружку постійного перерізу, а при куті $\alpha_s < 90^\circ$ при прямому і зворотному ході хонінгувальної головки абразивне зерно наносить подряпини різних напрямків та знімає стружку змінного перерізу. Таким чином, шорсткість обробленої поверхні матиме неоднорідний характер. Крім того, метод дозволяє поліпшити мікрогеометрію на «м'яких»

сталях не більше ніж на 15% і потребують додаткових енерговитрат на переміщення інертних частин верстата з великою частотою осцилювання [1].

1.2 Аналіз існуючих методів підвищення твердості поверхні перед фінішною обробкою

Одним із напрямків покращення ефективності процесу хонінгування є розробка способів підвищення твердості поверхні перед обробкою. Встановлено, що твердість поверхні істотно впливає на величину її шорсткості (Рисунок 5.5). Так, наприклад, при хонінгуванні «м'якої» аустенітної сталі 12X18H10T (HB 179) досягається параметр шорсткості Ra 1,3 мкм, а при обробці загартованої сталі ШХ15 (HRC 58) Ra = 0,3 мкм.

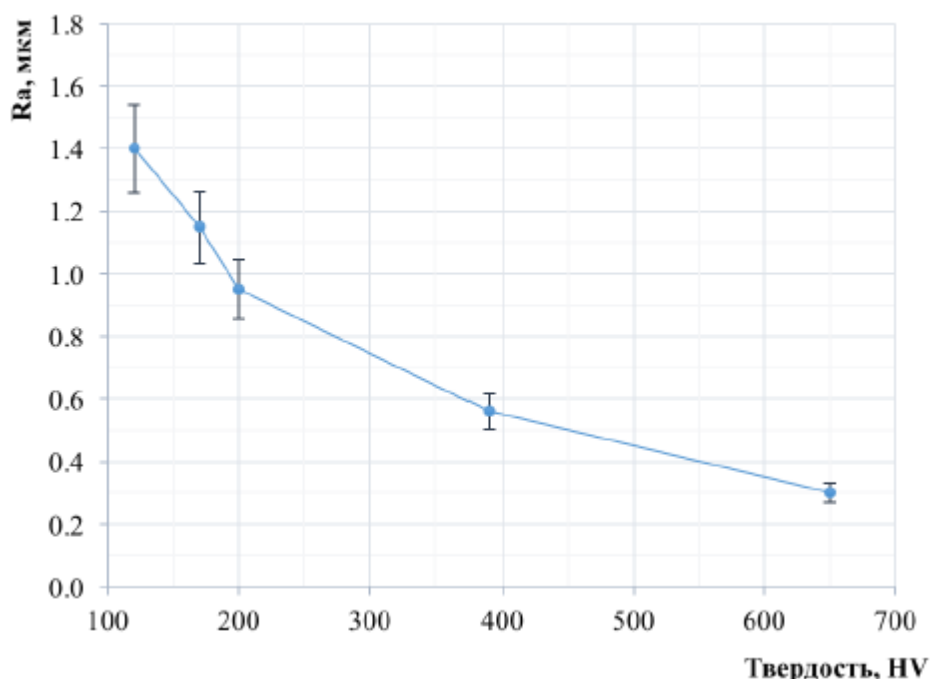


Рисунок 5.5 – Залежність середнього арифметичного відхилення профілю Ra від твердості поверхні при хонінгуванні сталей.

Відомі способи підвищення твердості поверхні, такі як азотування [44], цементация та нітроцементация [45], лазерне легування поверхневого шару [46], борування [47], розглянемо їх.

1. Азотування [44] – процес насичення поверхні виробу азотом з метою підвищення твердості та зносостійкості конструкційних сталей. Процес протікає за температури 700-1200°C (Рисунок 5.6). Азотування знижує в'язкість сталі, підвищує її міцність, послаблює вплив концентраторів напруг

на зниження межі витривалості сталі та суттєво підвищує межу витривалості, особливо тонких деталей та деталей, що працюють у деяких корозійних середовищах. Азотування зменшує появу задир та налипання металу при обробці.

Азотований шар має високу твердість і зносостійкість. Зносостійкість азотованої сталі в 1,5-4 рази вище зносостійкості загартованих високовуглецевих, цементованих, а також ціанованих та нітроцементованих сталей.

Для насичення доцільніше використовувати атомарний азот, що утворюється в останній момент розкладання сполук, містять цей елемент. Як така сполука зазвичай застосовують аміак, дисоціація якого супроводжується виділенням азоту в атомарному активному стані, який, однак, незабаром переходить у молекулярний стан і втрачає свою активність. Тому азотування інтенсивно протікає лише в тому випадку, коли дисоціація аміаку відбувається в безпосередній близькості від поверхні, що азотується.

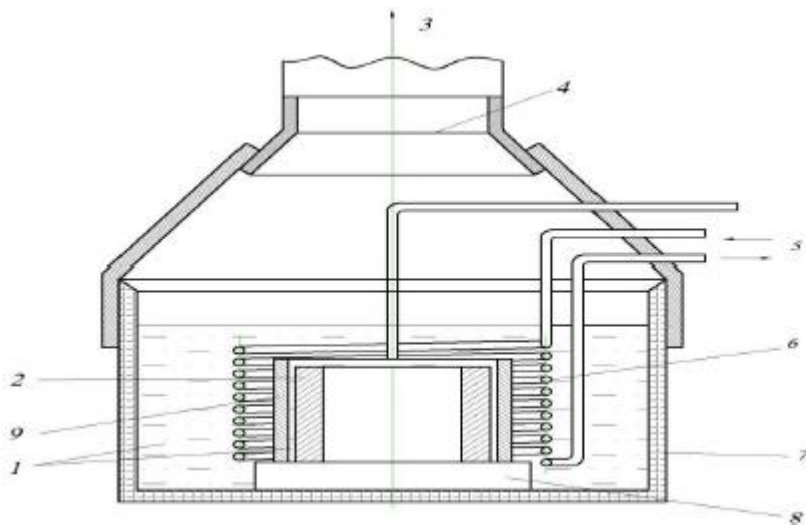


Рисунок 5.6 – Схема експериментальної установки для азотування у водному розчині аміаку при індукційному нагріванні

- 1 – розчин аміаку; 2 – деталь; 3 – витяжний вентилятор; 4 – екран;
5 – вода, що охолоджує; 6 – змійовик водяного охолодження; 7 – скляний посуд; 8 – опорна пластина; 9 – індуктор

Внаслідок азотування корозійна стійкість конструкційної сталі (у середовищі повітря, водопровідній воді, перегрітій парі, слабких лужних

розчинах) підвищується і, навпаки, аустенітної хромонікелевої та нержавіючої хромистої сталі знижується. Окаліностійкість останніх також знижується. Це пояснюється тим, що в азотованому шарі цих сталей з твердого розчину усувається значна частина хрому, що входить до складу нітридів, що утворюються [1]. Крім того, великогабаритні вироби під час нагрівання до 700°C піддаються тепловим деформаціям. Тому даний спосіб у ряді випадків не застосовується.

2. Цементация [45] – процес насичення поверхні виробу вуглецем (Рисунок 5.7). Найбільш поширені в машинобудуванні способи хіміко-термічної обробки сталевих низьковуглецевих деталей - застосовується для отримання високої поверхневої твердості, зносостійкості та міцності втомі. Ці властивості досягаються збагаченням поверхневого шару низьковуглецевої та нелегованої сталі вуглецем до концентрації евтектоїдної або заевтектоїдної структури з тією чи іншою залишковою кількістю аустеніту та карбідів.

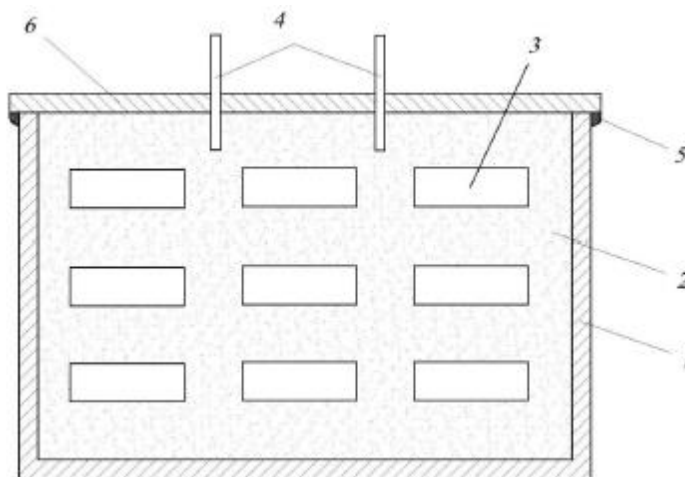


Рисунок 5.7 - Схема цементации у твердому карбюризаторі 1 - ящик залізний, 2 -карбюризатор, 3 - деталі, 4-контрольні прути, 5-замазка кришки, 6-кришка

Однак на корозійностійких сталях із підвищеним вмістом хрому та інших легуючих елементів процес цементации протікає слабо і не дає бажаних результатів. Великогабаритні вироби під час нагрівання понад 700°C піддаються тепловим деформаціям [1]. Тому даний спосіб підвищення твердості оброблюваної поверхні не застосовується для них.

3. Лазерне легування поверхневого шару.

Відомо також лазерне легування поверхневого шару з попереднім нанесенням на оброблювану поверхню покриттів, що містять легуючі елементи, та подальшим розплавленням їх променем лазера [46]. Спосіб має значні потенційні можливості підвищення твердості (Рисунок 5.8). При лазерному легуванні поверхневого шару можливо більш значне збільшення твердості поверхневого шару і, отже, висока якість одержуваної поверхні при фінішній абразивній обробці.

Але існуючі в даний час способи лазерного легування поверхневого шару мають ряд недоліків. Легування поверхні часом знижує корозійну стійкість виробів з нержавіючої сталі внаслідок усунення частини хрому з приповерхневого розчину.

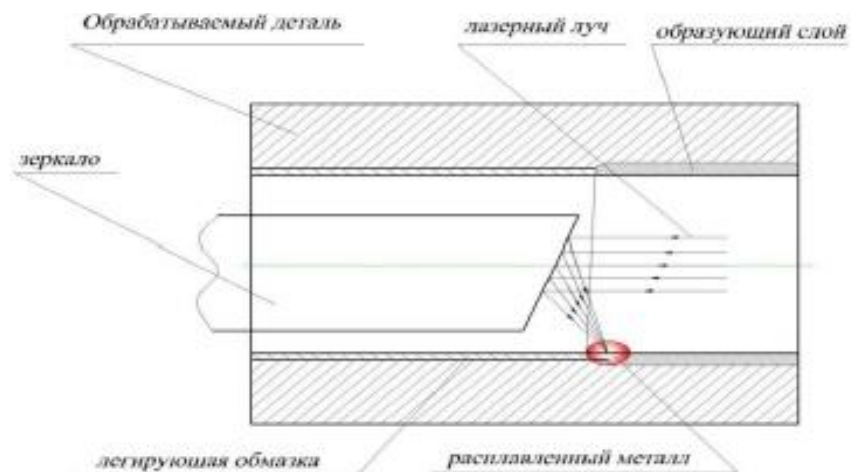


Рисунок 5.8 – Принципова схема лазерного легування

Крім того, глибина легovanого таким способом шару невисока і не зможе забезпечити необхідний припуск на подальшу обробку [1].

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1 Вибір схеми обробки, типу хонінгувальної головки та пристосування для встановлення та кріплення заготовок

Дослідження способу хонінгування з попереднім нанодорожуванням проводили на деталях з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т та морозостійкої сталі 09Г2С невеликих розмірів. У сучасному машинобудуванні процес хонінгування деталей машин здійснюється за однією з п'яти широко розповсюджених схем (Рисунок 5.1) [1,56,17,57]. Розглянемо дані схеми обробки та виберемо найбільш підходящу з них.

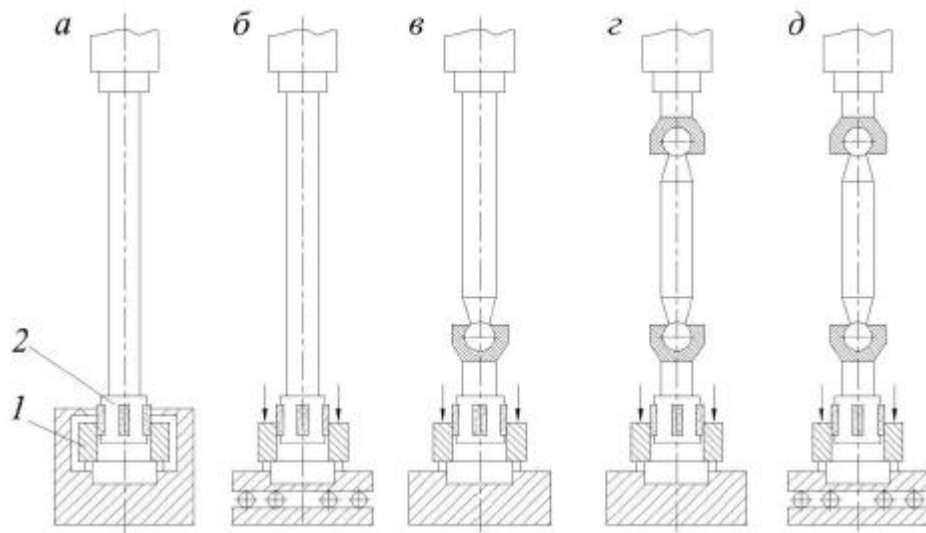


Рисунок 5. 1- Схеми обробки деталей машин хонінгуванням 1 - деталь, що обробляється; 2 – хонінгувальна головка

Відповідно до першої схеми хонінгування (Рисунок 5.1.а) передбачено жорстке кріплення хона до шпинделя верстата і плаваюче кріплення деталі в пристосуванні. не затискається, а лише обмежується від повороту, що викликається крутним моментом [1,56].

Друга схема (Рисунок 5.1 б) передбачає жорстке кріплення хона і оброблюваної деталі в плаваючому пристосуванні і застосовується для обробки дрібних і середньогабаритних деталей з опорною базовою площиною і перпендикулярною до неї віссю отвору [1,56].

Третя і четверта схеми обробки (Рисунок 5.1., г) використовуються для хонінгування великогабаритних корпусних деталей типу блоків циліндрів.

Хон закріплюється шарнірно, деталь жорстко. При неспіввідності шпинделя і отвору, що обробляється, до 0,03...0,08 мм застосовується одношарнірне кріплення хона (Рисунок 5.1, в), а при неспіввідності більше 0,08 мм - двошарнірне (Рисунок 5.1.г) [1,56].

П'ята схема (Рисунок 5.1, д) знаходить застосування при обробці довгих і точних отворів, наприклад, тонкостінних гільз, циліндрів блоків, корпусів гідророзподільників, коли важко забезпечити співвідність шпинделя та отвору, що обробляється. У цьому випадку, крім двошарнірного кріплення хона, деталь має плаваюче кріплення [1,56].

Так як при дослідженні способу хонінгування з попереднім надорожчанням використовуються заготовки невеликих розмірів з опорною площиною базовою і перпендикулярною до неї віссю отвору, то вибираємо другу схему обробки з жорстким кріпленням хонінгувальної головки і оброблюваної деталі в плаваючому пристосуванні (Рисунок 5). Однак ця схема хонінгування не забезпечує компенсації не паралельності осей оброблюваного отвору і хонінгувальної головки, так як дане пристосування, що плаває, може переміщатися тільки в одній площині і не має можливості нахилу. Тому необхідно шарнірно закріплювати хонінгувальну головку (Рисунок 5.2, а) або плаваюче пристосування (Рисунок 5.2, б) [1].

Недоліком шарнірного закріплення хонголівки і те, що у разі паралельності її осі з віссю оброблюваного отвору шарнірне закріплення призводить до непрямолинейности осі хона [58], що зумовлює виникнення радіальної складової Ррад сили поворотно-поступального руху Р (Рисунок 5). Це погіршує точність отвору, що обробляється. Також шарнірне закріплення хонголівки діаметром 30 мм знижує надійність останньої і може призвести до її поломки [1].

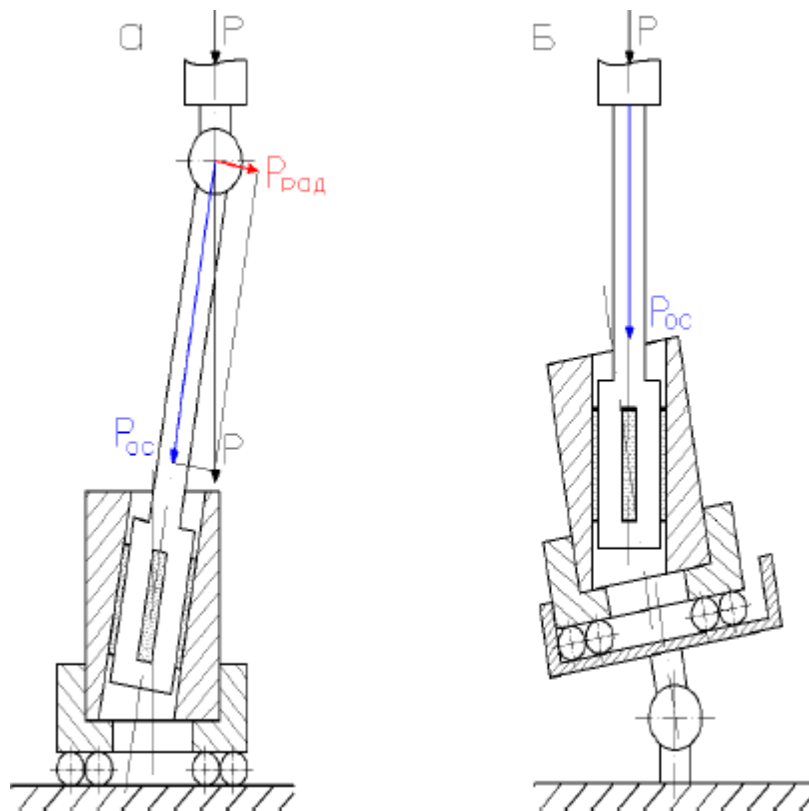


Рисунок 5.2-Схеми шарнірного закріплення хонінгувальної головки та пристосування.

У разі шарнірного закріплення пристосування сила P зворотно-поступального руху повністю переходить в осьову силу P (Рисунок 5.2, б).

Тому для дослідження способу хонінгування з попереднім нанодорожуванням, приймаємо схему обробки з жорстким кріпленням хонінгувальної головки і оброблюваної деталі плаваючою шарнірно закріпленому пристрої (Рисунок 5.2, б).

2.2 Використовуване обладнання для хонінгування

Хонінгувальний верстат

Хонінгувальний верстат моделі ОФ-38А (Рисунок 5.3) Цей верстат призначений для обробки хонінгування високоточних отворів діаметром від 20 до 80 мм і довжиною до 130 мм.



Рисунок 5.3 Верстат Хонінгувальний моделі ОФ-38А

Хонінгувальна головка.

Для цієї схеми хонінгування виготовлена хонінгувальна головка з жорстким кріпленням [1,59,17], яка представлена на малюнку 2.4. в отвір, що обробляється, і стиснення їх перед виведенням хона після закінчення обробки.

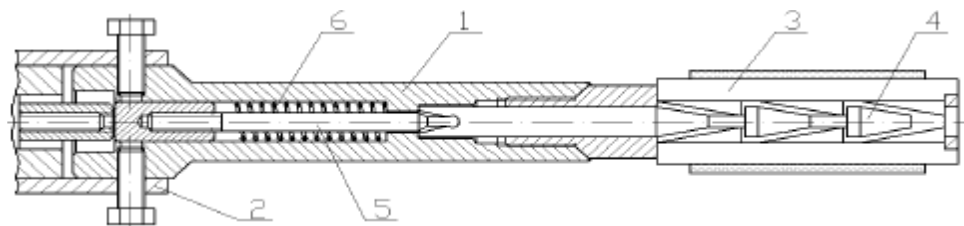


Рисунок 5. 4 - Хонінгувальна головка з жорстким кріпленням

Представлена хонінгувальна головка складається з корпусу 1, який жорстко закріплюється в шпинделі верстата 2. У пазах корпусу 1 встановлюються 4 державки з абразивними брусками 3. Зусилля розтиску до державок 3 передається через шток 5 і конічну голку розтиску 4. проводиться після підйому голки розтиску 4 пружиною 6 [1].

Пристрій для кріплення заготовок.

Для реалізації обраної схеми хонінгування запропоновано технічне рішення плаваючого закріпленого шарнірно пристосування, представленого на малюнку 2.5.

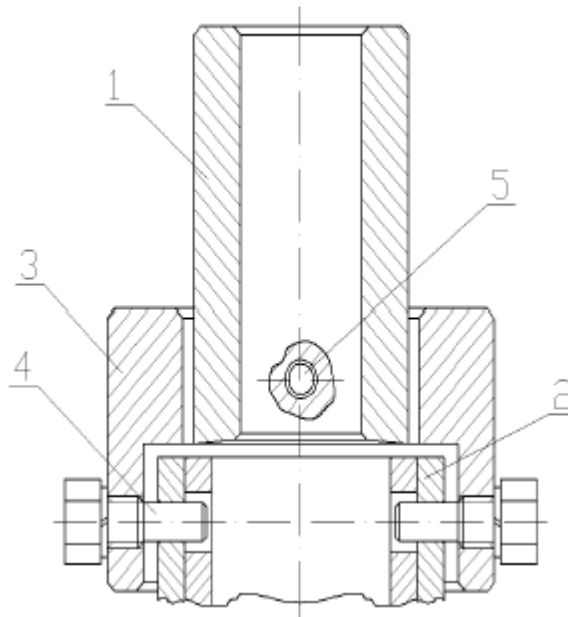


Рисунок 5.5 -Пристосування для встановлення та кріплення заготовок при хонінгуванні

Дане пристосування складається з муфти 3, закріпленої на підставі двома двома осями 4 з можливістю переміщення в горизонтальному напрямку і нахилу щодо цих півосей. Оброблювана заготовка 1 встановлюється в муфту 3 також на двох півосях 5 з можливістю переміщення в горизонтальному напрямку, перпендикулярному напрямку муфти переміщення, і можливістю нахилу щодо півосей 5, перпендикулярних півосям 4[1].

При такому закріпленні оброблена заготовка 1 може вільно переміщатися в межах 6 мм у будь-якому горизонтальному напрямку щодо основи 2 на двох перпендикулярних взаємних осях. Заготівля також має можливість змінювати напрямок своєї осі в межах 5° щодо вертикального положення [1].

Таким чином, оброблена заготовка, закріплена в даному пристосуванні, позбавляється лише можливості повороту навколо своєї осі та переміщення у вертикальному напрямку, і базується на жорстко закріпленій хонінгувальній

головці. Така схема обробки забезпечує високу точність отвору, що обробляється і надійність процесу обробки [1].

Вибір інструментальних матеріалів

Для дослідження способу хонінгування з попереднім надорожчанням на описаних вище сталях необхідно підібрати абразивний інструмент. Для цього, використовуючи рекомендації [60,61,62,63], необхідно вибрати найбільш підходящий для даного методу обробки та даних оброблюваних матеріалів абразивний матеріал інструменту, його зернистість, тип зв'язування та твердість [1].

Матеріал інструменту. При хонінгуванні заготовок із сталей перлітної та аустенітної структури найбільш широко в сучасному машинобудівному виробництві застосовують абразивний інструмент з електрокорунду білого марки WA, оскільки він має високу мікротвердість і рекомендується для обробки сталей при інтенсивних режимах. Для того, щоб результати дослідження нового способу хонінгування можна було порівняти з результатами процесу хонінгування, що застосовується на виробництві, вибираємо даний матеріал абразивного інструменту [1].

Електрокорунд білий – штучний абразивний матеріал, що складається з корунду (кристалічного окису алюмінію Al_2O_3) та одержуваний в електричних печах із технічного глинозему. При переході з розплавленого стану твердий окис алюмінію кристалізується в речовину Al_2O_3 . Порівняно з нормальним, білий електрокорунд має підвищену мікротвердість і крихкість, за хімічним та фізичним складом він більш однорідний, ніж нормальний електрокорунд. З білого електрокорунду одержують шліфзерно та шліфопорошки у широкому діапазоні розмірів зерен, які застосовують для виготовлення абразивного інструменту на різних зв'язках, а також шліфувальної шкірки [1,62].

З метою отримання можливості дослідження мікрогеометрії обробленої поверхні, необхідно отримати глибоку, явно виражену сітку слідів обробки, яка утворюється тільки після попереднього хонінгування. [1,64]. При

зніманні підвищеного припуску рекомендується застосовувати крупнозернистий інструмент із зернистістю до F120.

2.3 Оброблювані матеріали

Сталь 09Г2С - сталь конструкційна низьколегована для зварних конструкцій, що обумовлено особливостями сталі 09Г2С, за своїми властивостями ця сталь відноситься до морозостійких сталей, що витримують дуже низькі експлуатаційні температури. Застосування стали 09Г2С найдоцільніше у північних районах. Використовуємо прокат сортовий 09Г2С діаметром 60 мм у стані поставки, твердість НВ 112-127; межа витривалості $\sigma_b = 490$ МПа; межа плинності $\sigma_{0,2} = 345$ МПа.

Сталь 12Х18Н10Т згідно з ГОСТ 2590-2006. Сталь аустенітного класу застосовується для виготовлення деталей, що працюють до 600 °С, зварних апаратів та судин, що працюють у розведених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лугів та солей та інших деталей, що працюють під тиском при температурі від -196 до +600 °С, а за наявності агресивних середовищ до +350 °С. Хімічний склад та механічні властивості.

Використовуємо прокат сортовий 12Х18Н10Т діаметром 60 мм у стані постачання, твердість НВ 179; межа витривалості $\sigma_b = 510$ МПа; межа плинності $\sigma_{0,2} = 196$ МПа.

2.4 Вимірювальне обладнання

Для тарування швидкості зворотно-поступального руху використовувався атестований зразковий тахометр ІО-30. Для тарування зусилля подачі голки розтиску 1 використовувалося спеціальне прилад важеля на базі ваг 2 типу ВБЦ-10 ТУ 37.463.078-81 (Рисунок 5.6)

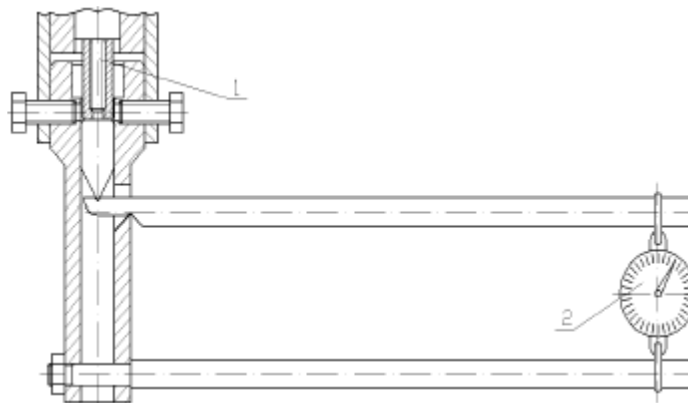


Рисунок 5.6 - Пристосування для тарування зусилля подачі голки розтискання

Для вимірювання параметрів шорсткості використовували профілограф-профілометр ПМ7 від виробника «АБРІС» на малюнку 2.7.

Прилад заснований на принципі обмацування поверхні алмазною голкою. Цей пристрій є оптико-механічним. Вимірювання параметрів шорсткості поверхні проводиться за системою середньої лінії відповідно до номенклатури та діапазонів значень, передбачених ГОСТ 2789-73. Прилад призначений для вимірювання шорсткості поверхні 5-12 класів чистоти. Похибка показань становить $\pm 2\%$.



Рисунок 5.7 - Профілограф-профілометр «Абрис-ПМ7»

Для вимірювання твердості сталей застосовували мікротвердомір ПМТ-3М (Рисунок 5.8), він призначений для зміни мікротвердості матеріалів, сплавів, скла, кераміки, і мінералів методом вдавлювання в алмазного наконечника Віккерса, що випробовується, з квадратною основою

чотиригранної піраміди, забезпечуючи мірою поглиблення індентора під впливом навантаження.

У мікротвердоміра ПМТ-3М розширена сфера застосування за рахунок використання додаткових змінних наконечників: чотиригранної піраміди Кнуппа з ромбічною основою для вимірювання мікротвердості тонких шарів і особливо крихких матеріалів, і тригранної піраміди Берковича для вимірювання мікротвердості дуже твердих тіл.



Рисунок 5.8 – Мікротвердомір ПМТ-3М.

Для визначення твердості поверхневого шару застосовували твердомір ТКМ-459М. Твердомір ультразвуковий ТКМ-459М реалізує вимірювання в основних стандартизованих шкалах твердості - НВ, НРС, НV

НУ1502D (Рисунок 5.9) є настільним одноканальним регульованим та стабілізованим джерелом живлення постійного струму. Постійна вихідна напруга та величина обмеження вихідного струму мають можливість плавного регулювання обертанням регуляторів на передній панелі.

Технічні характеристики:

Вихідна напруга: 0~15V точність установки 0.1V

Вихідний струм: 0~2A, точність установки 0.01A

Мінімальний рівень пульсацій: $\leq 0.5\text{mV}$

Мінімальний вплив навантаження: $\leq 0.01\% \pm 3\text{mV}$

Малий вплив напруги мережі: $\leq 0.01\% \pm 2\text{mV}$;

Плавна установка вихідних параметрів регуляторами грубо/точно

Режими стабілізації струму та напруги

Індикація: 3-розрядні LED-дисплеї на струм та напруга: напруга: $\pm 1\%$,
струм: $\pm 2\%$

Захист від короткого замикання

Живлення: 110/220V $\pm 10\%$.



Рисунок 5.9 – Джерело живлення, HY1502D.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ НАВОДЖУВАННЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВИРОБУ

4.1 Вплив водню на властивості металу та вивчення процесу

проникнення водню в метал.

Відомо, що проникнення водню в метали супроводжується підвищенням їхньої твердості та крихкості. Залізо, отримане катодним осадженням, настільки тверде, що дряпає скло, і його можна подрібнити тонким порошком. Як показали Стоддард, Шефферт [75] та інші, твердість катодного заліза зумовлена високим вмістом водню.

Взаємодія водню з металами включає ряд процесів: поверхневу фізичну адсорбцію, хімічну адсорбцію, дифузію, розчинення і хімічну взаємодію з утворенням певних хімічних сполук. Поверхнева, суто фізична адсорбція є початковою стадією процесу взаємодії водню з іншим елементом, його кінцева стадія – хімічна взаємодія з утворенням нової речовини.

Розрізняють два роди поверхневої адсорбції: фізичну адсорбцію та активовану адсорбцію. Всі гази адсорбуються приблизно однаковою мірою, і адсорбція залежить головним чином від природи поверхні адсорбенту. Процес фізичної адсорбції протікає з великою швидкістю і повністю оборотний. Зі збільшенням тиску фізична адсорбція підвищується, наближаючись до деякого значення, зазвичай відповідного мономолекулярного шару газу.

При низьких температурах адсорбовані молекули водню утримуються на поверхні слабкими ван-дер-ваальсовими силами. З підвищенням температури фізична адсорбція знижується, але прискорює процес активованої адсорбції з температури -800°C процес взаємодії водню із залізом є активованою адсорбцією. Активована адсорбція є необхідною попередньою стадією дифузії водню у металах. В даний час загально визнано, що водень дифундує у металах в іонізованому стані у формі протона. Якщо енергетичний стан атомів металу такий, що протон може бути утриманий їх електричним полем, то водень переміщається у ґратах від одного атома до іншого під впливом їх теплових коливань.

Оскільки адсорбція є процесом, що передує процесу дифузії, будь-яка зміна стану поверхні, що впливає на інтенсивність адсорбції, повинна змінювати швидкість дифузії. Справді, вплив фізичного стану поверхні та структури металу на процес дифузії дуже суттєвий. Надання поверхні шорсткості механічним шляхом, хімічним травленням або іншими способами збільшує площу, доступну адсорбції, завдяки чому значно підвищується швидкість дифузії газу при низьких тисках.

Для аналізу процесу надорожчання розглянемо хімічний склад сталей 09Г2С і 12Х18Н10Т і як ці склади впливають на інтенсивність проникнення водню.

Нікель Ni [75], VIII група періодичної системи. -1000С, у той час як фізичної адсорбцією водню на залозі можна знехтувати вже при температурах вище -1000С. -1830С до +200С нікель має досить високу адсорбційну здатність. Девіссон і Джермерс [78] читають, що присутність на поверхні кристала молекул газоподібного водню приводить до утворення в поверхневій зоні решітки, аналогічної решітки нікелю з подвоєним міжатомним відстанню. у вакуумі при 6000С, Іттербік [79] знайшов що в інтервалі температур 2000С-4000С кількість адсорбованого водню збільшується з підвищенням температури. Так само, як у залозі, дифузія водню в нікелі протікає транскристалічно: межі зерен і площині спайності не надають переважного впливу.

Марганець Mn [75], VII група періодичної структури. Дослідження системи водень-марганець зводилися в основному до вивчення оклюзійної здатності марганцю до гідридоутворення. Даних про поверхневу активність і адсорбційну здатність марганцю по відношенню до водню немає. Сівертс і Моріц [81] провели дослідження оклюзійної здібності марганцю в широкому інтервалі температури (від 200С до 13200С) при тиску 1 атм. Отримані ними дані показують, що оклюзійна здатність марганцю по відношенню до водню значно вища, ніж оклюзійна здатність нікелю, а також заліза та кобальту. При збільшенні температури від 200С до 5000С розчинність водню в марганці

зменшується, що свідчить про екзотермічність оклюзійного процесу; вище 5000С оклюзія набуває ендотермічного характеру і зростає з підвищенням температури. Повідомляється, що електролітичне поглинання водню марганцем при кімнатній температурі призводить до збільшення параметра решітки, причому це збільшення знаходиться в лінійній залежності від складу сплаву. До цього часу між воднем і марганцем не виявлено хімічної взаємодії, що супроводжується утворенням гідридів певного складу.

Хром Cr [75], VI група періодичної системи. Взаємодія водню із хромом у дослідженому інтервалі температур протікає дещо своєрідно. Порушення суворої послідовності у заповненні енергетичних рівнів, властиве хрому, безумовно визначає його поведінку стосовно водню. Крім того, істотно важливою є та обставина, що хром як хімічний елемент має змінну валентність, пов'язану з можливістю різного розподілу та перерозподілу електронів за енергетичними рівнями більшою мірою, ніж це властиво атомам металів з постійною валентністю. За даними Сівертса, оклюзія водню хромом в інтервалі температур від кімнатної до 250-3000С зменшується з підвищенням температури. Процес йде із виділенням невеликої кількості тепла. При проникненні водню в чистий хром знижує щільність хрому на 5,3%-13% залежно від складу гідридів хрому. Ще за присутності хрому у складі сплаву знижує швидкість дифузії водню. Наявність хрому в сплаві підвищує його опір корозії, так як хром зменшує здатність до абсорбції водню.

Залізо - Fe [75], Водень проникає в залізо у вигляді протонів, чим і пояснює його глибока проникаюча здатність. Адсорбуючись на дефектах структури –дислокаціях, межах блоків мозаїки та межах зерен, водень діє як сильна поверхнево-активна речовина та різко знижує міцність та пластичність заліза (воднева крихкість).

З підвищенням температури цей ефект зникає незворотно, мабуть, у зв'язку з утворенням молекулярного водню. Водень, поглинений залізом у твердому стані, знаходиться у залозі у вигляді твердих розчинів впровадження. При кімнатній температурі розчинність водню в α -Fe

вважатимуться $<0,005\%$. При нагріванні рівень поглинання залізом водню зростає. Поліморфне α γ -перетворення заліза або плавлення заліза викликає стрибкоподібну зміну розчинності в ньому водню. Більшість поглиненого водню може бути видалена відпалом заліза при 850-9000.

4.2 Дослідження процесу наводження при електролізі та вибір режимів наводження.

У нашій роботі розглядаємо метод надорожчання в електроліті за кімнатної температури, оскільки він виключає теплове деформування великогабаритних виробів. Надорожчання металів призводить до суттєвої зміни їх фізико-хімічних характеристик: змінюється об'єм кристалічних ґрат, з'являються механічні напруги, а при великих концентраціях водню, приблизно $2\text{см}^3/100$ грам [75] у поверхні з'являється воднева крихкість, тріщини. В основі існуючої концепції надорожчання лежить комплекс фізичних та фізикохімічних явищ на межі поділу фаз: адсорбція атомів водню на поверхні металу, розчинення його в приповерхневих шарах та об'ємі металу, взаємодія з дефектами структури, зміна енергії зв'язку Me-Me, утворення гідридів. В результаті надорожчання змінюється перенапряга відновлення водню, підвищується і анодна активність внаслідок збільшення дефектності структури металу та появи внутрішніх напруг [82].

Вивчення водневопроникності пов'язане з необхідністю оцінки впливу механізму появи адсорбованого атомарного водню на поверхні металу, його латеральної дифузії, природи зв'язку з підкладкою, умов адсорбції та абсорбції. Катодне відновлення водню лежить на поверхні електрода призводить до утворення водню адсорбції [1,75].

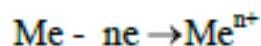
Основні хімічні рівняння процесу електроліту сірчаної кислоти представлені таблиці 3.1.

Таблиця 4. 1 Хімічні рівняння процесу електролізу сірчаної кислоти

Рівняння дисоціації електроліта: $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$			
Катодний процес		Анодний процес	
Катод (-)	До катоду – катіони H^+ . Відновлюються іони H^+ : $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$; $\varphi^\circ = 0,000 \text{ В}$	До аноду – аніони SO_4^{2-} та молекули H_2O . Окислюється вода: $H_2O - 2e \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+$; $\varphi^\circ = 0,815 \text{ В}$	Анод (+)
Сумарне рівняння електролізу: $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$ $H_2O - 2e \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+$ $H_2O = H_2 + \frac{1}{2}O_2$ Потенціал розкладення: $0,815 - 0 = 0,815 \text{ В}$			

У процесі надорожчання відбуваються такі процеси: загальне рівняння дисоціації електроліту – $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$; процес, що відбувається на катоді (поверхня заготівлі) – притягуються катіони H^+ , відновлюються іони H^+ : $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$, енергії не виділяється $\varphi^\circ=0,000 \text{ В}$; процес на аноді (титановий стрижень) – притягуються аніони SO_4^{2-} та молекули H_2O , окислюється вода: $H_2O - 2e \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+$, $\varphi^\circ=0,815 \text{ В}$.

На поверхні електрода існує процес розчинення металу в електролізі - прямий процес і процес відновлення деполяризаторів - зворотний процес [83]. Прямий процес проводиться навіть за відсутності впливу зовнішнього джерела струму його можна описати за допомогою сумарної реакції:

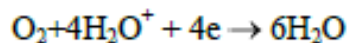
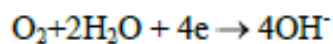


Рухи електронів, що виділяються з цієї реакції, створює струм на межі мембрани Іп. Значення струму залежить від якості металу, концентрації, складу електроліту та інгібіторів.

Зворотний процес – процес відновлення деполяризаторів, якими у звичайних умовах виступають іони водню, відповідно до реакції [84,85,86]



або розчинений молекулярний кисень



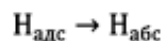
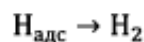
Рух електронів за рівняннями створює струм відновлення деполяризаторів Ік. Оскільки рівняння проходить у кислих розчинах, можемо вважати його як зворотне рівнянню (3.1) й у подальшому дослідженні ми нехтуємо рухом електронів по рівнянню.

При дії зовнішнього струму І встановлено рівняння струму відновлення деполяризаторів Ік

$$I_k = I + I_p$$

З рівняння можемо сказати, що збільшення зовнішнього струму І чи струму розчинення Іп призводить до збільшення значення струму відновлення деполяризаторів Ік.

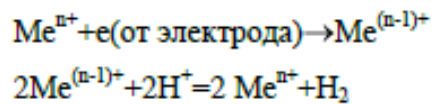
Твердофазна дифузія водню протікає в умовах протікання паралельних багатостадійних реакцій, що конкурують за загальний реагент [87, 88, 89, 90]:



За цією залежністю відбувається виділення водню в газову фазу, водень абсорбується металом. Ця схема переписується як катодного струму.

У роботі [1,91] містяться дані щодо впливу рН розчину на процес надорожчання. У середовищах при рН<6 анодний зсув потенціалу сильно збільшує швидкість проникнення водню. При рН = 6 - 8 швидкість проникнення різко падає, а при рН> 8 - практично незмінна. Атоми водню, що утворилися в лужних середовищах, легше рекомбінують Н2, знижуючи проникнення в метал, тобто знижується р.

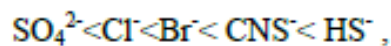
Припускаємо, що в лужних та нейтральних середовищах за наявності достатньої кількості інших позитивних іонів поблизу поверхні електрода створюється бар'єр або плівка, яка уповільнюється процес абсорбції водню. Так, як електрони переходять від електрода до іонів водень або гідроксонію через іони Me^{n+} та інші.



Таким чином, у нашій роботі будемо досліджувати процес надорожчання у кислих розчинах.

Істотний вплив на процес надорожчання має аніонний склад електроліту. У роботі [92] вивчено надорожчання заліза в розчинах HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, HNO₃. У процесі електролізу, солярна кислота виділяє хлорну пару, яка є отруйним газом, а при використанні H₃PO₄, HNO₃ спостерігаються менше надорожчання, більша корозія порівняно з H₂SO₄. Передбачається, що протікає взаємодія водню з NO₃⁻ і PO₄³⁻ - з утворенням сполук з більш низьким ступенем окислення азоту та фосфору в порівнянні з сіркою. Таким чином, у нашому дослідженні будемо використовувати сірчану кислоту як електроліт [1].

Промотори надорожчання за активністю [92] розташовують у ряд



За наявності CNS⁻ і SO₄²⁻ та інших негативних аніонів поблизу поверхні металу, аніони притягують атоми металу, послаблюють металеве з'єднання і збільшують поверхневу концентрацію іонів гідроксонію, навіть частково утворюють хімічні сполуки MeCNS і MeSO₄[1]. Завдяки цьому протон водню маленького радіусу легко проникає в металеві ґрати. Ці промотори також є інгібіторами процесу корозії металу, що створюють на поверхні електрода плівку, яка перешкоджає процесу розчинення металу, зменшує кількість позитивних іонів поблизу поверхні, збільшує ρ.

Ефективними промоторами надорожчання є ціаніди та роданіди. Їхня дія заснована на збільшенні частки водню, що проникає в метал від загального числа водню, що виділяється з розчину. У їхній присутності протікає реакція

Розглянемо вплив концентрації сірчаної кислоти на твердість поверхневого шару. За інших рівних умов опір електролітичного розчину монотонно залежить від числа розряду, тобто від концентрації електроліту.

При занадто малих концентраціях отримаємо великий опір і доведеться застосувати велику напругу, але велика напруга може викликати небезпеку для життя людини при дотриманні правил БЖД. У гальваніку використовується напруга від 6 до 24 В [1].

Збільшення зовнішнього струму чи концентрації сірчаної кислоти призводить до збільшення катодного потенціалу. У [1,92] наводяться дані щодо впливу на водневпроникність катодної поляризації. Швидкість проникнення водню у водних розчинах сильних мінеральних кислот зростає зі збільшенням катодної поляризації до потенціалу, що відповідає початку концентраційного обмеження реакції відновлення іонів гідроксонію. Подальше збільшення катодного потенціалу призводить до спаду струму проникнення, а потім його зростання при потенціалах відновлення H_2O [93]. Тому, щоб отримати максимальну кількість проникаючого водню, треба вибрати значення катодного потенціалу в певному діапазоні. При великому або низькому значенні катодної поляризації потрібний ефект не досягається.

Для визначення конкретного значення концентрації сірчаної кислоти, при якій досягається максимальна швидкість абсорбції водню, ми проводили низку експериментів (рис. 3.1).

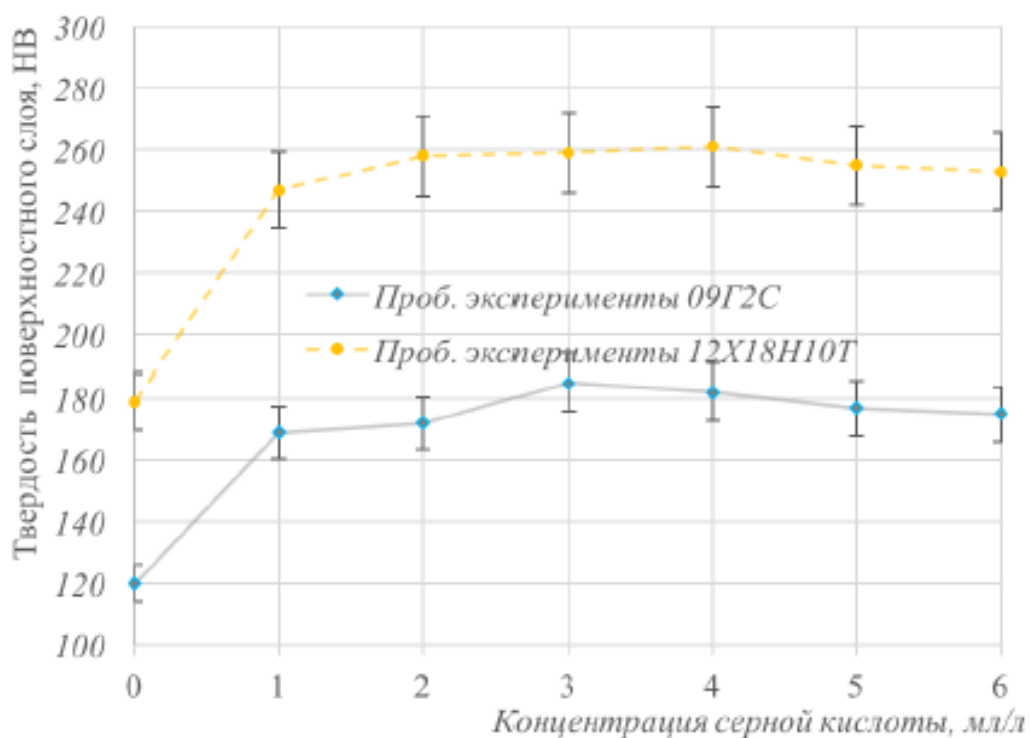


Рисунок 5.1 Залежність твердості поверхневого шару електрода (заготівлі) із сталі 09Г2С та 12Х18Н10Т від концентрації сірчаної кислоти при тривалості процесу 60 хв та щільності струму 7.5 А/м²

З графіка (рис. 3.1) видно, що максимальна твердість виходить при концентрації сірчаної кислоти поблизу значення 3 мл/л. Для зменшення витрати кислоти та зменшення ймовірності крихтіння будуватимемо математичну модель на інтервалі значень до 3 мл/л.

Розглянемо вплив густини струму на твердості поверхневого шару. За результатами наших експериментів побудуємо графік залежності твердості від щільності струму при тривалості процесу 60 хв і концентрації сірчаної кислоти 3 мл/л.

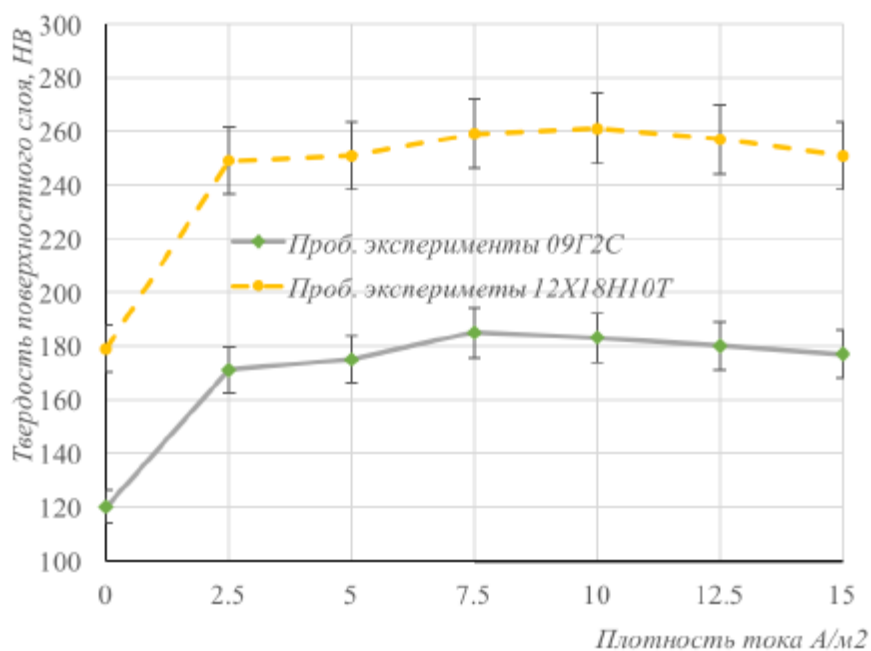


Рисунок 5.2 Залежність твердості поверхневого шару катода (заготівлі) від щільності струму при тривалості процесу 60 хв та концентрації сірчаної кислоти 3 мл/л.

З графіка (Рисунок 5.2) видно, що максимальна твердість виходить за щільності струму поблизу значення 7,5 А/м². Для зменшення витрати енергії та зменшення ймовірності крихкості будуватимемо математичну модель на інтервалі значень до 7,5 А/м².

Розглянемо вплив тривалості процесу на твердість поверхневого шару. мікротвердості феритних зерен стали залежно від часу надорожчання [75] показано, що мікротвердість збільшується протягом 90 хв, після цього знижується і навіть нижче ніж вихідне значення (Рисунок 5.4)

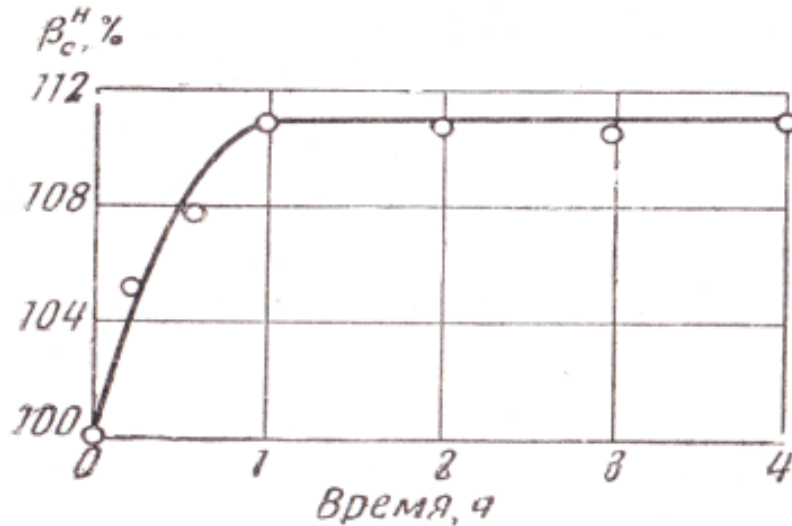


Рисунок 5.3 Вплив часу надорожчання на мікротвердість сталі 45

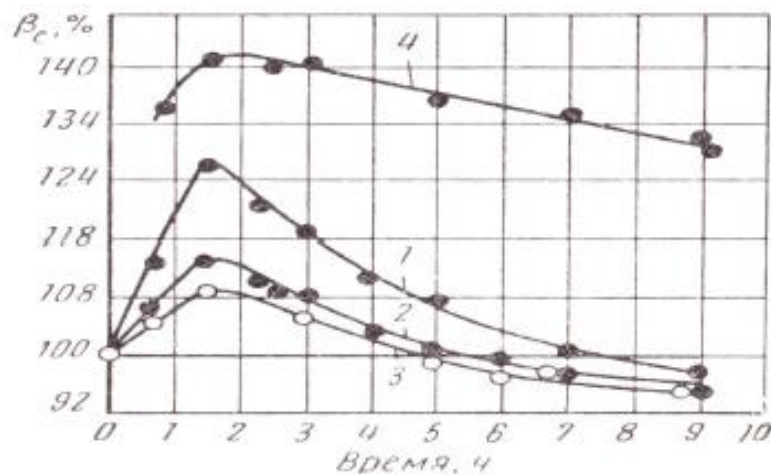


Рисунок 5.4 Мікротвердість зерен фериту в залежності від часу надорожчання при різній щільності струму.

Аналогічні залежності виявили у багатьох роботах, де автори досліджували вплив водню на твердість різних матеріалів.

За результатами наших експериментів на сталі 12X18H10T та 09Г2С встановлено, що максимальна твердість на поверхні спостерігається при тривалості 1,5 год. Подальше збільшення часу процесу незначно збільшує твердість на поверхні, а потім знижує в результаті крихкості. (Рисунок 5.5) [1].

Тому в рамках нашої роботи проводимо експерименти при часі надорожчання до 1,5 год., оскільки нас цікавить лише період зміцнення матеріалу.

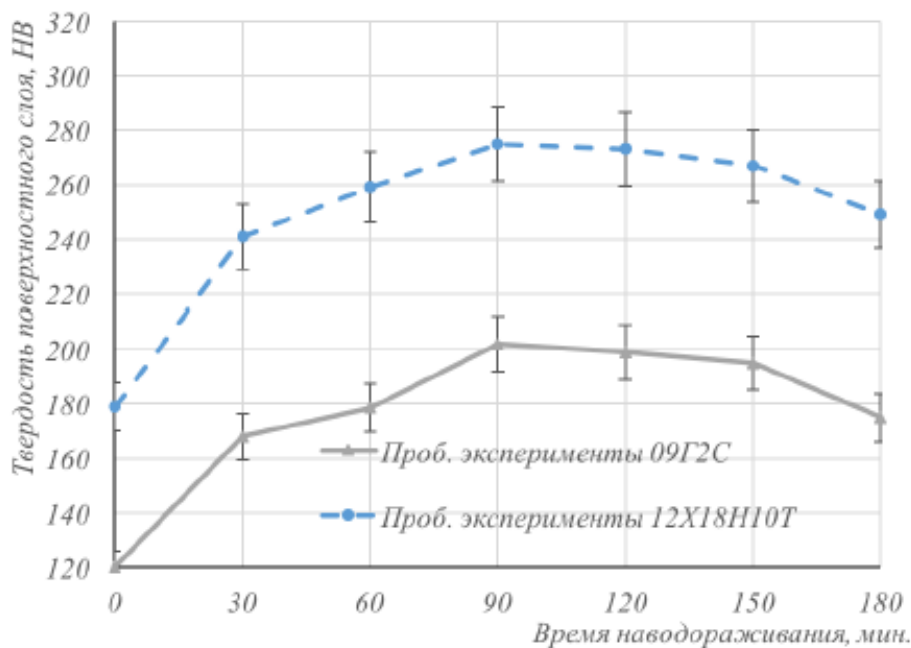


Рисунок 5.5 Залежність твердості поверхневого шару заготовлі від часу процесу (концентрація кислоти 3 мл/л, струм 7,5 А/м²)

З іншого боку необхідно досягти найбільшої твердості поверхні заготовки перед процесом хонінгування, так як м'які матеріали мають високу пластичність тобто велике значення відносного подовження. Відносне подовження можна представити як відношення висоти напливу до глибини шару, що знімається. Тому при одній глибині різання, м'які матеріали утворюють висоту напливу більше. У крихких матеріалів напливи руйнуються. Також при тому самому тиску розтиску, на м'яких матеріалах глибина впровадження абразивного зерна більша. Це говорить про те, що зі збільшенням твердості зменшується параметр шорсткості Ra. Для побудови математичної моделі впливу основних факторів надорожчання на параметр шорсткості Ra поверхневого шару після хонінгування будемо використовувати ті режими, при яких твердість збільшується до максимального значення.

Таким чином, насичення поверхні воднем проводиться в електролітичній установці з титановим анодом (Рисунок 5.6). Як електроліт

використовується водний розчин H_2SO_4 з концентрацією 1; 2; 3 мл/л, щільність струму надорожчання становить 2,5; 5; 7,5 А/м², тривалість 30 хв., 60 хв., 90 хв.



Рисунок 5.6- Установка для проведення процесу наводження

а. Зміна твердості за глибиною надорожченого шару

У процесі дослідження було встановлено залежність зміни твердості за глибиною зразка у напрямі нормалі від поверхні. Зробивши процес надорожчання, розрізали заготівлю пилюкою, шліфували отриманий розріз, недопускаючи нагрівання вище 40°C, і за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3М через кожні 0.1 мм від поверхневої поверхні проводили вимір твердості. (Рисунок 5.7).

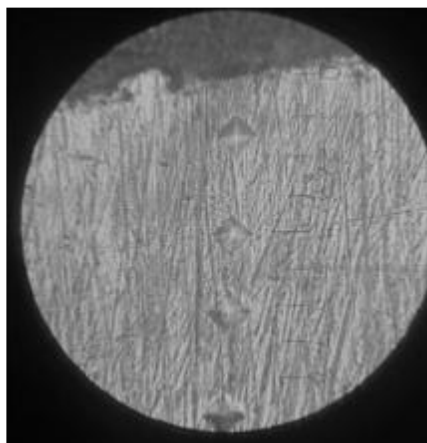


Рисунок 5.7. Заміри твердості зразка за глибиною надорожчання

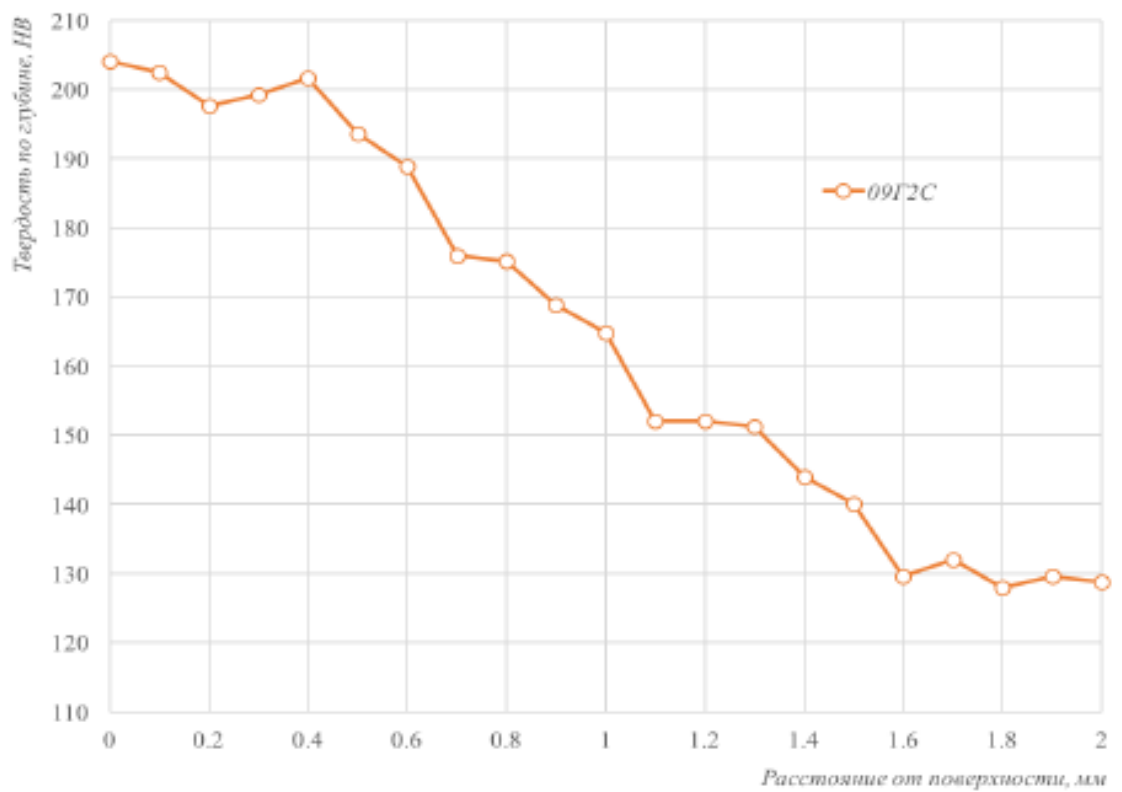


Рисунок 5.8 - Залежність твердості виробів із 09Г2С від глибини.

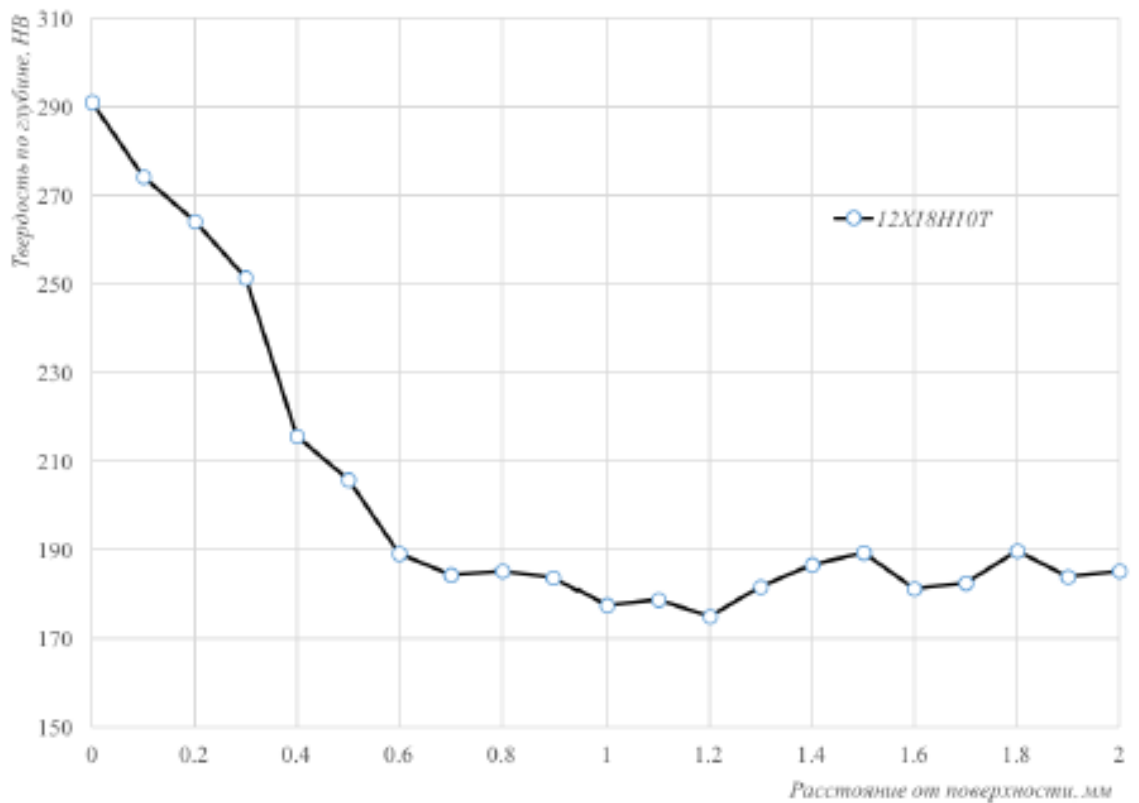


Рисунок 5.9 - Залежність твердості виробів із 12Х18Н10Т від глибини.

Експериментальні дані показали, що за одну годину водень проникає в сталь 09Г2С до глибини до 1,2 мм (Рисунок 5.8) , а в сталь 12Х18Н10Т до глибини 0,6 мм (Рисунок 5.9). Водень проникає в сталь перлітного класу на

більшу глибину, ніж у сталь аустенітного класу. Це можна пояснити малою швидкістю дифузії з гранецентрованими ґратами у сталей аустенітного класу, коли іони водню не так легко можуть переходити від одного атома металу до іншого через ізотропне залягання атомів водню в центрі кубів.

Оскільки припуск на хонінгування становить не більше 0,2 мм і твердість на глибині 0,2 мм досить висока, глибина проникнення водню забезпечує кращу якість обробленої поверхні. Залежність була встановлена при попередньому надорожчанні з раціональними режимами (тривалість надорожчання $X1 = 60$ хв, концентрація сірої кислоти $X2 = 3$ мл/л, щільність струму $X3 = 7,5$ А/м²).

Для порівняння ефективності запропонованого процесу низькотемпературного надорожчання з відомими хіміко-термічними методами розглянемо основні показники процесів для виробів із сталей перлітного класу у таблиці 3.2. [94]

Таблиця 3.2. Порівняння хіміко-термічних методів підвищення твердості

Параметр	Наводородження	Цементация	Борування	Ціанування
Час, час	1	1	2 - 6	3,5
Глибина зміцнення, мм	1	1	0,15–0,35	0,8
Температура °С.	20 - 25	970	800-1200	890

Як видно з наведеної таблиці процес низькотемпературного надорожчання, який проводиться в умовах кімнатних температур, забезпечує достатню глибину зміцненого шару з підвищенням твердості поверхневої на 50-60% при тривалості процесу 1 годину, що порівняно за часом з процесом цементации. Інші процеси вимагають значно більшого часу. Але головна його перевага в тому, що він унеможлиблює температурну деформацію великогабаритних виробів.

Слід зазначити, що запропонований процес попереднього низькотемпературного надорожчання може застосовуватися і для хонінгу

малогабаритних виробів. До того ж, він вигідно відрізняється зменшеною енергоємністю.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОФІЛЮ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПІСЛЯ ХОНІНГУВАННЯ З ПОПЕРЕДНІМ НАВОДЖУВАННЯМ

Для отримання об'єктивної оцінки впливу надорожчання на якість поверхневого шару оброблюваної деталі проведено профілакування досліджуваної поверхні після хонінгування на довжині ділянки $L = 4$ мм, що відповідає класу шорсткості ГОСТ 2789-73 [95,96,97].

Частина філограм оброблюваної поверхні звичайним хонінгуванням сталі перлітної структури 09Г2С показана на малюнку 4.1, а аустенітної структури 12Х18Н10Т представлена на малюнку 4.3. За даними профілактограм видно, що поверхня характеризується наявністю великої різновисотності, профіль виступів має малий кут, тобто. представляє вузький ріжучий клин, радіуси закруглення якого малі. Це призводить до того, що утворена хонбрусом поверхня характеризується високими виступами і глибокими гострими западинами, які при великих динамічних навантаженнях можуть бути концентратором напруги і джерелом тріщиноутворення.

Також представлені частини філограм поверхонь, отриманих після хонінгування з попереднім нанодорожуванням сталі перлітної структури 09Г2С на малюнку 4.2, а аустенітної структури 12Х18Н10Т на малюнку 4.4 при раціональних режимах (тривалість процесу наво-дорожування $X1 = 60$ хв/2 концентрація; ; щільність струму $X3 = 7,5$ А/м²).

Досліджувані філограми отримані при хонінгуванні абразивним інструментом з електрокорунду білого БП 4х5х70 WA F120 O 6 VA при тиску розтиску брусків 0,4 МПа, швидкості поворотно-поступального руху 8 м/хв і швидкості обертання хонголови 4.

Частини філограм оброблюваних поверхонь представлені на довжині траси інтегрування 4 мм при збільшенні горизонтальному 20:1 і вертикальному 2000:1.

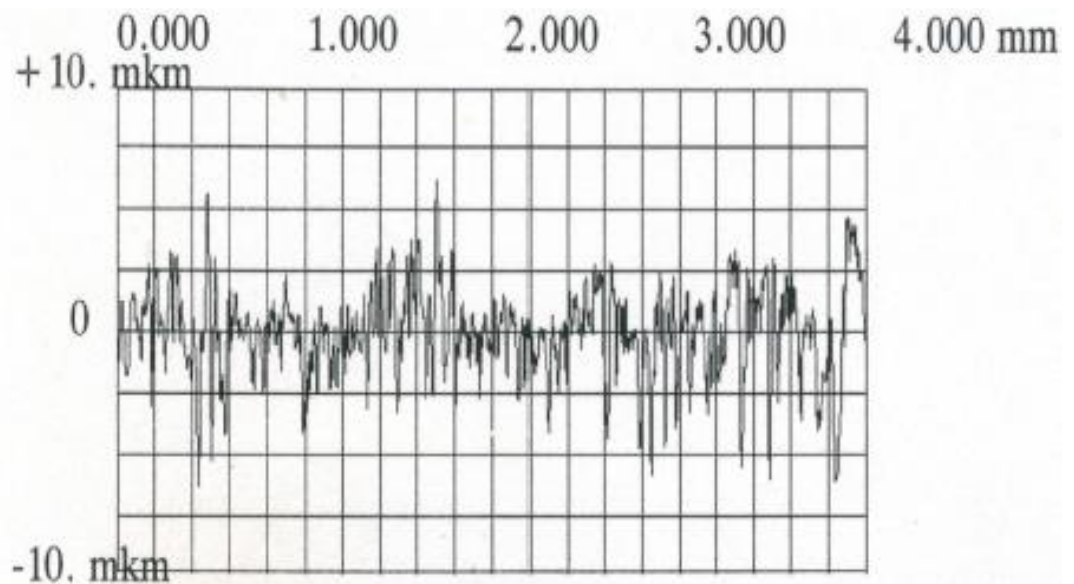


Рисунок 5.1 - Профілограма обробленої поверхні сталі 09Г2С,
отриманої звичайним хонінгуванням
($R_a = 1,35$ мкм)

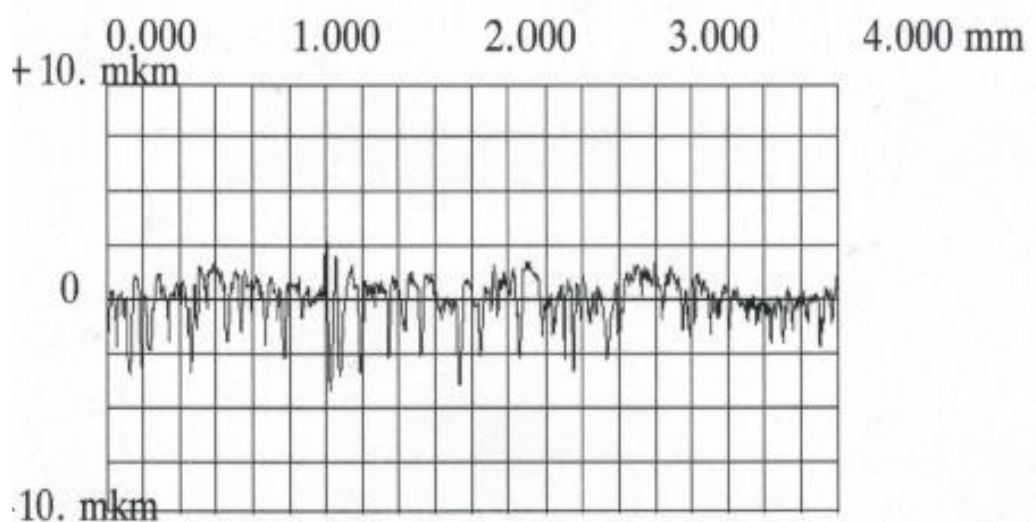


Рисунок 5.2 - Профілограма обробленої поверхні сталі 09Г2С,
отриманої хонінгуванням з попереднім надорожчанням
($R_a = 0,86$ мкм)

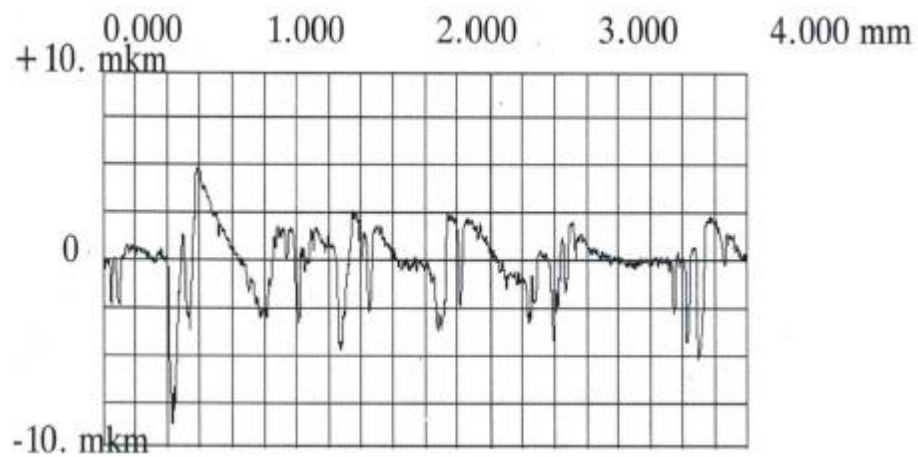


Рисунок 5.3 - Профілограма обробленої поверхні нержавіючої сталі 12X18H10T звичайним хонінгуванням
($R_a = 1,14$ мкм).

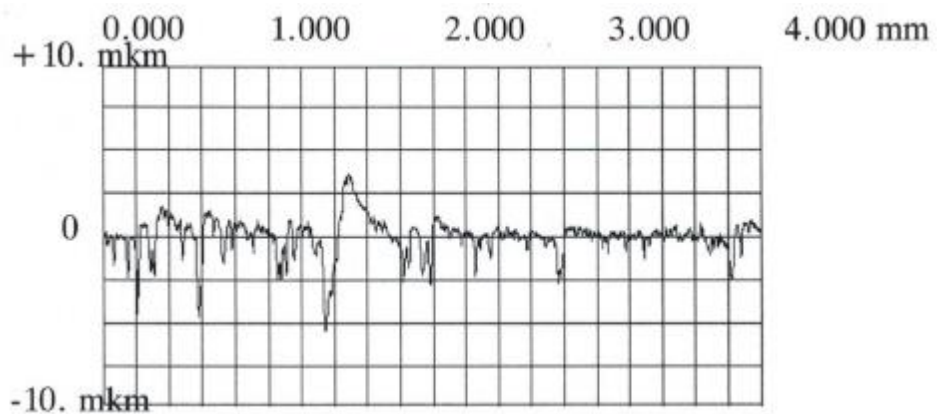


Рисунок 5.4 - Профілограма обробленої поверхні нержавіючої сталі 12X18H10T, отримана хонінгуванням з попереднім надорожчанням ($R_a = 0,79$ мкм)

За отриманими філограмами проаналізуємо вплив надорожчання на мікропрофіль хонінгованої поверхні за такими показниками:

Найбільша висота профілю R_{max} – відстань між лінією виступів профілю та лінією западин профілю в межах базової довжини. R_{max} характеризує висоту шорсткого шару, найбільшу глибину застосування виступів і початок контакту поверхонь.

Середнє арифметичне відхилення профілю R_a - середнє арифметичне з абсолютних відхилень профілю в межах базової довжини.

Висота нерівностей профілю по десяти точках Rz – середнє значення абсолютних висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини.

Також для аналізу представлені відносні опорні криві профілю поверхонь сталі 09Г2С (Рисунок 5.5) та 12Х18Н10Т (Рисунок 5.6), що характеризують розподіл матеріалу у шорсткому шарі. З отриманих опорних кривих видно, що при хонінгуванні з попереднім наводженням, порівняно з обробкою при звичайному хонінгуванні, опорні криві отриманих поверхонь змістилися вправо і вгору, що свідчить про краще заповнення мікропрофілю матеріалом.

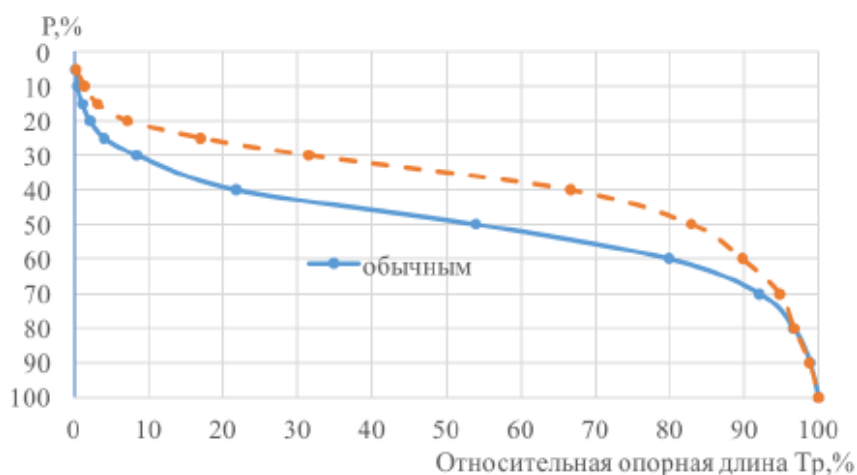


Рисунок 5.5 - Опорні криві обробленої поверхні сталі 09Г2С хонінгуванням

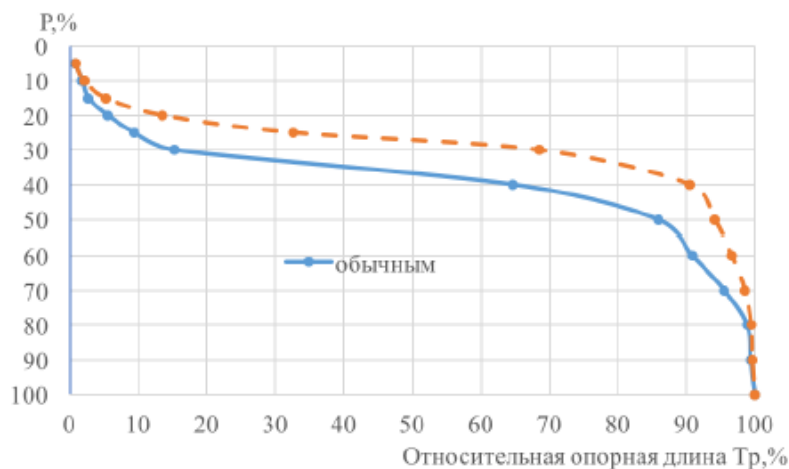


Рисунок 5.6- Опорні криві обробленої поверхні сталі хонінгуванням 12Х18Н10Т

Порівнюючи параметри, що характеризують мікропрофілі оброблених поверхонь після звичайного хонінгування і після хонінгування з попереднім надорожчанням, відзначаємо, що за всіма показниками мікропрофілю оброблених поверхонь хонінгуванням з попереднім надорожчанням досягнуто значно кращих результатів. Так значення параметра Ra на сталі 09Г2С знижується на 36% а на сталі 12Х18Н10Т знижується на 31%, значення параметра Rz на сталі 09Г2С знижується на 35% а Rz на сталі 12Х18Н10Т знижується на 32%, Rmax на сталі 09Г2С, на сталі 12Х18Н10Т знижується на 34%, кількість перетинів профілю з середньою лінією в межах базової довжини p на сталі 09Г2С зменшується на 18%, на сталі 12Х18Н10Т на 6%, відносна опорна довжина профілю на рівні середньої лінії t_2 на сталі 09Г2С зменшується на 12% а на сталі 12Х18Н10Т на 12%. Радіус заокруглення виступу профілю ρ на сталі 09Г2С підвищується на 163%, а на сталі 12Х18Н10Т на 88%, кут нахилу бокових сторін профілю до середньої лінії на сталі 09Г2С знижується на 47% а на сталі 12Х18Н10Т на 43. Таким чином, можна обґрунтовано стверджувати, що поверхні виробів із сталей 12Х18Н10Т і 09Г2С, отримані способом хонінгування з попереднім наводненням, задовольняють найбільш повно експлуатаційним вимогам.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОНІНГУВАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ГІДРО- ТА ПНЕВМОЦИЛІНДРІВ ІЗ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Стратегічні цілі:

- здатний застосовувати інструментарій формалізації інженерних, науково-технічних завдань, використовувати прикладне програмне забезпечення при розрахунку, моделюванні та проектуванні технічних об'єктів та технологічних процесів;
- здатний забезпечити ефективне використання та надійну роботу наземних транспортнотехнологічних засобів;
- здатний використовувати прикладні програми проектно-конструкторських розрахунків вузлів, агрегатів та систем наземних транспортно-технологічних засобів та їх технологічного обладнання.

6.1. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

В таблиці 6.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 6.1

Постановка цілей факультативного заняття

Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4

Сформувати вміння проводити	I-IV рівень	Базові знання з	Сформовані вміння у здобувачів освіти щодо
-----------------------------	-------------	-----------------	--

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
аналіз існуючих методів хонінгування отворів великогабаритних пневмо-і гідроциліндрів зі сталі 12X18H10T і морозостійкої сталі 09Г2С було виявлено, що дані методи не дають значного підвищення якості поверхонь «м'яких» низьковуглецевих сталей і потрібно підвищення твердих сталей. Описувати методи попереднього підвищення твердості оброблюваної поверхні, такі як азотування, цементація, нітроцементація, лазерне легування поверхневого шару. Пояснювати причини не використання існуючих методів: зниження морозостійкості виробів з морозостійкої сталі 09Г2С, так як матеріал з великою		дисципліни «Гідравлічн і та пневматичн і системи наземних транспортн о-технологічн их засобів»	аналізу існуючих методів хонінгування отворів великогабаритних пневмо-і гідроциліндрів зі сталі 12X18H10T і морозостійкої сталі 09Г2С було виявлено, що дані методи не дають значного підвищення якості поверхонь «м'яких» низьковуглецевих сталей і потрібно підвищення твердих сталей. Описані методи попереднього підвищення твердості оброблюваної поверхні, такі як азотування, цементація, нітроцементація, лазерне легування поверхневого шару. Пояснені причини не використання існуючих методів: зниження морозостійкості виробів з морозостійкої сталі 09Г2С, так як матеріал з великою твердістю стає крихким на морозі, зниження корозійної стійкості виробів з нержавіючої сталі 12X18H10T

твердістю стає крихким на морозі, зниження корозійної			внаслідок вибивання атомів хрому атомами вуглецю або азоту, і
---	--	--	---

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
<p>стійкості виробів з нержавіючої сталі 12X18H10T</p> <p>внаслідок вибивання атомів хрому атомами вуглецю або азоту, і наявність неминучих теплових через необхідність нагрівання виробів до температур 700-1200°C; описувати новий низькотемпературний метод підвищення твердості оброблюваної поверхні великогабаритних гідро-пневмоциліндрів із цих сталей: попереднє наводження в умовах кімнатних температур в електролітичній ванні в низькоконцентрованому розчині сірчаної кислоти та з малою щільністю струму. На основі вивчення явища проникнення водню в поверхневі шари металів і, пов'язане з цим зміна їх структури та</p>			<p>наявність неминучих теплових через необхідність нагрівання виробів до температур 700-1200°C; описані новий низькотемпературний метод підвищення твердості оброблюваної поверхні великогабаритних гідро-пневмоциліндрів із цих сталей: попереднє наводження в умовах кімнатних температур в електролітичній ванні в низькоконцентрованому розчині сірчаної кислоти та з малою щільністю струму. На основі вивчення явища проникнення водню в поверхневі шари металів і, пов'язане з цим зміна їх структури та властивостей міцності, встановлені, що процес низькотемпературного надорожчання має в часі дві стадії. Описана перша стадію початкового підвищення твердості відбувається рахунок проникнення атомів водню в кристалічну</p>

властивостей міцності,			решітку металу, змінюючи її обсяг, що зумовлює збільшення
---------------------------	--	--	---

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
<p>встановлювати, що процес низькотемпературного надорожчання має в часі дві стадії. Описувати першу стадію початкового підвищення твердості відбувається рахунок проникнення атомів водню в кристалічну решітку металу, змінюючи її обсяг, що зумовлює збільшення твердості. Характеризувати другу стадію - це граничне насичення воднем і його взаємодія з дефектами структури металу, зміна енергії металевого зв'язку, утворення гідридів, що в кінцевому підсумку призводить до крихкості міжфазних кордонів, зниження властивостей міцності. Описувати дослідження у широкому діапазоні вплив</p>			<p>твердості. Охарактеризована друга стадія - це граничне насичення воднем і його взаємодія з дефектами структури металу, зміна енергії металевого зв'язку, утворення гідридів, що в кінцевому підсумку призводить до крихкості міжфазних кордонів, зниження властивостей міцності. Описане дослідження у широкому діапазоні вплив основних параметрів процесу надорожчання: щільності струму, концентрації електролітичного розчину та часу процесу на збільшення твердості оброблюваної поверхні та зниження параметра шорсткості Ra. Описане дослідження впливу процесу надорожчання на глибину проникнення водню у структуру металу. Створювати математичну модель впливу режимів надорожчання на величину середнього арифметичного</p>

			відхилення профілю Ra поверхні після хонінгування з
--	--	--	---

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
<p>основних параметрів процесу надорожчання: щільності струму, концентрації електролітичного розчину та часу процесу на збільшення твердості оброблюваної поверхні та зниження параметра шорсткості Ra. Описувати дослідження впливу процесу надорожчання на глибину проникнення водню у структуру металу. Створювати математичну модель впливу режимів надорожчання на величину середнього арифметичного відхилення профілю Ra поверхні після хонінгування з попереднім нанодорожуванням. Надавати рекомендації до застосування раціональних режимів процесу попереднього нанодорожування,</p>			<p>попереднім нанодорожуванням. Надані рекомендації до застосування раціональних режимів процесу попереднього нанодорожування, що виключають явище крихкості та забезпечують поліпшення якості обробки поверхні виробу зі сталей 09Г2С та 12Х18Т10 з одночасним підвищенням продуктивності процесу. Здійснений порівняльний аналіз щодо часу, що витрачається на попереднє підвищення твердості, що показують ефективність запропонованого процесу порівняно з відомими хіміко-термічними способами.</p>

1	2	3	4
<p>що виключають явище крихкості та забезпечують поліпшення якості обробки поверхні виробу зі сталей 09Г2С та 12Х18Т10 з одночасним підвищенням продуктивності процесу. Здійснювати порівняльний аналіз щодо часу, що витрачається на попереднє підвищення твердості, що показують ефективність запропонованого процесу порівняно з відомими хіміко-термічними способами.</p>			

6.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Баланюк Г. В. Підвищення точності та якості багаторізевого розточування ступінчастих отворів на основі дослідження динаміки технологічної системи : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Баланюк Ганна Василівна ; МОН України, Одеський нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2018. – 23 с. 713825 К 621.9

2. Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Барандич Катерина Сергіївна ; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". – Київ, 2018. – 22 с. К 128902 621.7

3. Батигін Ю. В. Устаткування для практичної реалізації індукційного нагрівання в сучасних технологіях машинобудування / Ю. В. Батигін, О. С. Сабокар, В. А. Стрельнікова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 4. – С. 70-74. – Бібліогр.: с. 73 (5 назв). P/O126.

6.3. Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття

План викладення теми: «Вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей».

1. Аналіз проблем удосконалення процесу хонінгування та шляхи їх вирішення сутність способу хонінгування.

2. Фізико-хімічні основи методу підвищення твердості оброблюваних поверхонь сталевих виробів шляхом попереднього низькотемпературного наводження і вплив основних режимів процесу наводнення на збільшення твердості поверхневого шару.

3. Математичні моделі впливу основних параметрів попереднього надорожчання на параметр шорсткості Ra.

6.4. Аналіз базових умов навчання

В таблиці 6.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 6.2

Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
<p>Робочі рідини гідравлічних систем. Гідролінії та елементи їхнього з'єднання</p>	<p>Дисципліна «Гідравлічн і та пневматичн і системи наземних транспортн о-технологічн их засобів»</p>	<p>Метод – комбіноване опитування Форма – фронтальна Засіб – тестові завдання. Приклад питань: Гідравлічними машинами називають... 1. машини, що виробляють енергію та повідомляють її рідини. 2. машини, які повідомляють проходить через них рідини механічну енергію, або отримують від рідини частину енергії та передають її робочим органам. 3. машини, здатні працювати лише за їх повному зануренні в рідину з повідомленням їм механічної енергії привода. 4. машини, що з'єднуються між собою системою трубопроводів, якими рухається робоча рідина, що віддає енергію Гідропередача – це... 1. система трубопроводів, якими рухається рідина від одного гідроелемента до іншого. 2. система, основне призначення якої є передача механічної енергії від двигуна до виконавчого органу у вигляді робочої рідини. 3. механічна передача, що працює за допомогою дії на неї енергії рідини, що рухається. 4. передача, в якій рідина під дією перепаду тисків на вході та</p>	<p>Нагадування основних моментів</p>

1	2	3	4
		<p>виході гідроапарата, повідомляє його вихідну ланку рух.</p> <p>Яка з груп перерахованих переваг не відноситься до гідропередач?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. плавність роботи, безступінчасте регулювання швидкості, висока надійність, малі габаритні розміри. 2. менша залежність моменту на вихідному валу від зовнішньої навантаження, що додається до виконавчого органу, можливість передачі великих потужностей, висока надійність. 3. безступінчасте регулювання швидкості, малі габаритні розміри, можливість передачі енергії великі відстані, плавність роботи. 4. безпека роботи, надійне змащення частин, що труться, легкість включення і вимикання, свобода розташування осей і валів наведених агрегатів. <p>Насос, в якому рідина переміщається під дією відцентрових сил, називається...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. лопатевий відцентровий насос 2. лопатевий осьовий насос 3. поршневий насос відцентрової дії 4. диференціальний відцентровий насос. 	

1	2	3	4
		<p>Потужність, яка відводиться від насоса у вигляді потоку рідини під тиском називається</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. підведена потужність. 2. корисна потужність. 3. гідравлічна потужність. 4. механічна потужність <p>Гідравлічний ККД насоса відображає втрати потужності, пов'язані</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. з внутрішніми перетікання рідини всередині насоса через зазори рухомих елементів. 2. з появою сили тертя між рухомими елементами насоса. 3. з деформацією потоку робочої рідини в насосі та з тертям рідини об стінки гідроапарата. 4. з непостійною витратою рідини в нагнітальному трубопроводі 	

6.5. Проектування мотиваційних технологій навчання

На рис. 6.2 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 6.3 – текст мотивації до нашого заняття

Таблиця 6.3

Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація	
	1	2
Вступна мотивація Приєм: віднесення	Однією з найважливіших завдань технічного прогресу в галузі машинобудування є підвищення надійності та довговічності роботи машин і механізмів. поверхні, кращого фізико-механічного стану поверхневих шарів металу та скороченням	

1	2
до ситуації	<p>у часі технологічного процесу. Саме на остаточних операціях формується поверхневий шар деталей, що визначає їх експлуатаційні властивості.</p> <p>В даний час для фінішної обробки великогабаритних гідрої пневмоциліндрів з низьковуглецевих морозостійких перлітних і нержавіючих аустенітних сталей нафтової та хімічної промисловості, розміри яких лежать в інтервалі 1,2 м - 1,5 м і вище, на виробництві часто застосовують розкочування замість отворів дає низьку точність розмірів і геометричної форми.</p> <p>У процесі хонінгування подібних сталей утворюються задираки і напливи металу, збільшується шорсткість, що є наслідком високої пластичності матеріалу, що обробляється. фінішних операцій. Тому необхідно вдосконалювати процес. Проблема вдосконалення процесу хонінгування отворів великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів є актуальною, оскільки пов'язана із забезпеченням надійності роботи цих відповідальних виробів.</p>

6.6. Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці

6.4

Таблиця 6.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
I	Фронтальна	Лекція з елементами бесіди, ілюстрація, демонстрація	Презентаційні слайди з теми плакати, відеоматеріали з теми.
II	Фронтальна	Лекція-пояснення, демонстрація	

III	Фронтальна	Лекція-бесіда-диспут, ілюстрація	
IV	Фронтальна	Лекція-демонстрація	

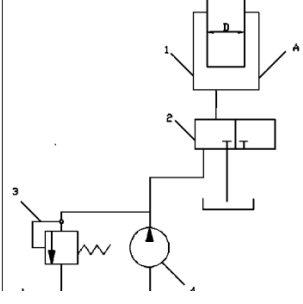
6.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 6.5.

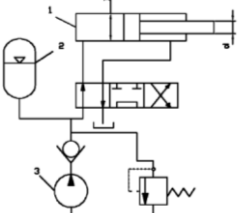
Таблиця 6.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III, IV	Фронтальна	Вправи, самостійна робота	Завдання 1: На малюнку 1 показано принципову схему гідроприводу з плунжерним гідроциліндром 1. Ущільнення плунжера діаметром $D = 200$ мм у цьому манжетному гідроциліндрі. Насос 4 розвиває тиск $p_H = 5,5$ МПа і постійну подачу $Q_H = 16$ л/хв. Через неповне відкриття (дроселювання) гідророзподільника 2 падіння (втрата) тиску олії в напірній гідролінії, тобто в трубопроводі, що з'єднує насос 4 з гідроциліндром 1 досягає $\Delta p = 0,5$ МПа. Витік масла в гідроапаратурі становить $\Delta Q = 0,3$ л/хв.

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
			

Продовження табл. 6.5

1	2	3	4
			<p>Коли у пневмоакумуляторі 2 (мал. 5) газ займає робочий об'єм $V_0 = 18 \text{ дм}^3$, тиск олії в ньому $p_0 = 20 \text{ МПа}$ гідроприводі, визначити, який тиск p_H розвиває насос 3 в кінці зарядки пневмоакумулятора 2 якщо його маневровий об'єм $V_m = 3 \text{ дм}^3$. Прийняти показник політропи $n = 1,3$.</p> 

6.8 Проектування контрольних дій з теми

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 6.6

Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
IV рівень	Фронтальна форма (завдання на всіх одне, мета завдання одна,	Закріплююча бесіда	Питання: 1. Назвіть фізико-хімічні засади методу підвищення твердості оброблюваних поверхонь сталевих виробів шляхом попереднього низькотемпературного наводження.

Продовження табл. 6.6

1	2	3	4
	оцінюван ня однакове, виконую ть кожен індивідуа льно і самостій но)		<p>2. Опишіть дослідну установку для низькотемпературного насичення поверхні виробу воднем.</p> <p>3. Дослідите у широкому діапазоні зміни вплив основних параметрів процесу надорожчання: щільності струму, концентрації електролітичного розчину та часу процесу на збільшення твердості оброблюваної поверхні.</p> <p>4. Дослідите вплив процесу надорожчання на глибину проникнення водню у структуру металу.</p> <p>5. Побудуйте математичну модель залежності параметра шорсткості R_a від режимів надорожчання при хонінгуванні з попереднім надорожчанням.</p> <p>6. Виявіть раціональні режими процесу хонінгування з попереднім надорожчанням, що виключають процес крихтіння, та що забезпечують поліпшення якості обробки поверхні виробів з сталей 09Г2С і 12Х18Н10Т та підвищення продуктивності процесу в загалом.</p>

4.9 Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Сценарій заняття з теми заняття «Вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей»

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Вітання, фіксація відсутніх, перевірка зовнішньої обстановки в аудиторії. Вітання викладача. Студенти підтверджують присутності у момент переключки, налагоджуються на здійснення навчальної діяльності.
2	Повідомлення теми і мети заняття	Повідомлення теми заняття: «Вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей». Мета: сформувати вміння у здобувачів освіти щодо вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей.
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей». Текст для формування внутрішньої мотивації представлений в табл. 4.3.
4	Актуалізація базових знань	Проведення фронтального опитування. Метод – письмове опитування. Форма – фронтальна. Засіб –тестові завдання. Перелік тестових питань представлений в таблиці 4.2.
5	Формування ООД	Викладач викладає новий навчальний використовуючи методи традиційні – пояснення, бесіда, демонстрація та інноваційні – лекція-дискусія з елементами мозкового штурму відповідно за плану заняття, який представлений у п. 4.3.

Продовження табл. 6.7

1	2	3
6	Формування ВД	Викладач проводить закріплення навчального матеріалу за допомогою методу – рішення задач,

		видаючи кожному студенту картки-завдання з вправами. Приклад вправ представлений в табл. 4.5.
7	Формування КД	Викладач проводить студентам контрольні питання, які представлені в таблиці 4.6.
8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття. Видає домашнє завдання: Написати реферат по темі.

Висновки до розділу 6

В даному розділі було виконано розробку факультативного заняття з теми «Вдосконалення процесу хонінгування великогабаритних гідро- та пневмоциліндрів із низьковуглецевих сталей» для фахівців в галузі машинобудування, а саме: сформульована дидактична мети практичного заняття, розроблений аналіз базових умов навчання, обраний тип мотивації та сформульований її текст, сформовані системи задач і завдань для вирішення і виконання на практичній роботі, розроблені способи формування орієнтовної основи діяльності та формування виконавчих дій, організація виконання завдань та рішення задач, контролю сформованих умінь та розроблений сценарій факультативного заняття.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу існуючих методів хонінгування отворів великогабаритних пневмо-і гідроциліндрів зі сталі 12Х18Н10Т та морозостійкої сталі 09Г2С було виявлено, що дані методи не дають значного підвищення якості поверхонь «м'яких» низьковуглецевих сталей і потрібно підвищення твердості поверхонь. Існуючі методи попереднього підвищення твердості оброблюваної поверхні, такі як азотування, цементація, нітроцементація, лазерне легування поверхневого шару та інших не можуть бути використані з ряду причин. Серед них: зниження морозостійкості виробів з морозостійкої сталі 09Г2С, так як матеріал з великою твердістю стає крихким на морозі, зниження корозійної стійкості виробів з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, внаслідок вибивання атомів хрому атомами вуглецю або азоту, і наявність неминучих необхідності нагрівання виробів до температури 700-1200°С.

Розроблено новий низькотемпературний метод підвищення твердості оброблюваної поверхні великогабаритних гідропневмоциліндрів з цих сталей: попереднє нанодорожування в умовах кімнатних температур електролітичної ванні в низькоконцентрованому розчині сірчаної кислоти і з малою щільністю струму.

Наведено порівняльні дані щодо часу, що витрачається на попереднє підвищення твердості, що показують ефективність запропонованого процесу порівняно з відомими хіміко-термічними способами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
2. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
3. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
4. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2024. – 82 с.

7. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

8. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

9. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

10. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

11. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

12. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

13. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

14. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

15. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>