

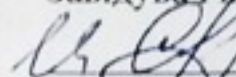
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Зварювальний факультет
Кафедра інженерії поверхні

«На правах рукопису»
УДК 621.785.53

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 І.В. Смирнов

«4» 10 2019 р.

Магістерська дисертація

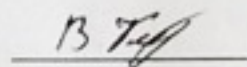
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: «Зміцнення шестерень гідравлічного насосу
іонно-плазмовим азотуванням»

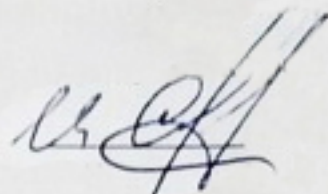
Виконав :

студент II курсу, групи ЗП-81мп
Колодій Владислав Олегович



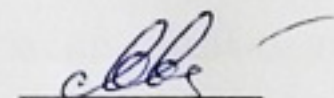
Керівник:

Зав. каф. Інженерії поверхні, проф., д.т.н. Смирнов І.В.



Консультант з охорони праці

Зав. каф. охорони праці, промисловості та цивільної
безпеки д.т.н., проф., Левченко О.Г.



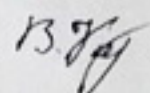
Рецензент:

к.т.н., доц., Перепітай А.О.



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент Колодій В.О.



Київ – 2019 року

Реферат

Актуальність теми. Шестеренчасті насоси широко застосовуються в гідросистемах тракторів, екскаваторів та комбайнів, так як у них простий пристрій, вони дешеві і мають високі початкові показники

Шестерні гідравлічних насосів працюють в складних умовах (передача обертового моменту, вібраційні навантаження). Це приводить до того, що вони є сильно навантаженими і повинні мати пружні властивості.

В зв'язку з тим, що промисловість недостатньо задовольняє потреби сільського господарства в запасних насосах, підвищення строку служби шестерень шестеренчастих насосів тракторних гідросистем став актуальною задачею, яка потребує наукового обґрунтування та практичного рішення.

Мета і задачі дослідження. Підвищення міцності шестерень гідравлічних насосів імпульсно-плазмовим азотуванням. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі.

1. Визначити умови експлуатації шестерень гідронасосів і основні види їх пошкоджень.
2. Провести аналіз існуючим методам підвищення міцності шестерень та вибрати оптимальний, дати його характеристику.
3. Дослідити вплив параметрів імпульсного плазмового азотування на властивості азотованих поверхонь та вибрати оптимальні режими ІПА.
4. Дослідити властивості поверхонь шестерень, зміцнених імпульсно-плазмовим азотуванням.
5. Розробити технологічний процес зміцнення шестерень ІПА на прикладі шестерні веденої НШ-250-4 гідравлічного шестеренчастого насосу НШ-250 .

Об'єкт дослідження – Процес зміцнення деталей імпульсно-плазмовим азотуванням (ІПА).

Предмет дослідження – Зміцнення шестерень гідравлічного насоса (ГН) імпульсно-плазмовим азотуванням (ІПА).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- обґрунтована доцільність зміцнення шестерень ГН ІПА шляхом підвищення твердості їх поверхонь за рахунок збільшення товщини азотованого шару та її рівномірності;
- досліджено, що розподілення твердості по шару являється функцією його газонасиченості по азоту і вуглецю. При ІПА насичення проходить в 1,5-2 рази інтенсивніше;
- встановлено, що товщина і будова дифузійного шару при ІПА залежать від температури, тривалості процесу, розрідження і складу азотовмісної атмосфери. При ІПА отримана екстремальна залежність росту дифузійного шару від тиску. Причому з підвищенням температури оптимальний тиск зміщується в область більших тисків від 133 Па при 500°C до 931 Па при 690°C.
- досліджено, що ІПА проходить в 1,5-2,0 рази інтенсивніше в порівнянні з ХТО при радіаційному та пічному нагріві. Так, азотований шар товщиною 0,55 мм при 550°C на сталі 18ХГТ утворюється при ІА за 14 годин, а при пічному газовому – за 30-35 годин. При цьому досягається значне в 3-5 раз скорочення загального часу технологічного циклу за рахунок зменшення часу нагріву і охолодження.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено технологічний процес зміцнення шестерень на прикладі шестерні НШ-250-4 гідравлічного насосу НШ 250 імпульсним плазмовим азотуванням.

Магістерська дисертація представлена: розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з реферату, 6-ти частин, висновків, переліку посилань, та додатків. Обсяг роботи: 118 арк. формату А4 та графічної частини - 9 аркушів формату А1

Ключові слова: Гідронасоси, шестерня, імпульсно-плазмове азотування.

Abstract

Actuality of theme. Gear pumps are widely used in hydraulic systems of tractors, excavators and combines, as they are a simple device, they are cheap and have high initial values. Hydraulic pump gears operate in difficult conditions (torque transmission, vibration loads). This leads to the fact that they are heavily loaded and should have elastic properties. Due to the fact that the industry does not sufficiently meet the needs of agriculture for replacement pumps, increasing the service life of gear pumps of tractor hydraulic systems has become an urgent task that needs scientific substantiation and practical solution.

The purpose and objectives of the study. Increasing the strength of the gear units of hydraulic pumps by pulsed-plasma nitriding. To achieve this goal, it was necessary to solve the following problems.

1. To determine the operating conditions of gear pumps and the main types of their damage.
2. To analyze the existing methods of increasing the strength of the gears and to choose the optimal one, to give its characteristic.
3. Investigate the influence of pulsed plasma nitriding parameters on the properties of nitrided surfaces and select the optimal IPA modes.
4. Investigate the properties of the surfaces of the gears, strengthened by pulsed-plasma nitriding.
5. To develop technological process of strengthening IPA gears on the example of gear driven NS-250-4 hydraulic gear pump NS-250.

Object of study - The process of hardening of parts by pulsed-plasma nitriding (IPA).

Subject of study - Strengthening of the gears of the hydraulic nose (GN) by pulsed-plasma nitriding (IPA).

The scientific novelty of the obtained results is the following:

- reasonable expediency of strengthening IPA GH gears by increasing the hardness of their surfaces by increasing the thickness of the nitrided layer and its

uniformity;

- investigated that the distribution of hardness across the layer is a function of its gas saturation for nitrogen and carbon. When IPA saturation is 1.5-2 times more intense;

- it is established that the thickness and structure of the diffusion layer at IPA depend on the temperature, the duration of the process, the dilution and the composition of the nitrogen-containing atmosphere. When IPA is obtained an extreme dependence of the growth of the diffusion layer on the pressure.

And with increasing temperature, the optimum pressure is shifted to the region of higher pressures from 133 Pa at 500°C to 931 Pa at 690°C.

- it has been investigated that IPA is 1.5-2.0 times more intense compared to CHP under radiation and furnace heating. Thus, a nitrated layer of 0.55 mm thick at 550 ° C on 18XGT steel is formed at IA for 14 hours, and at furnace gas for 30-35 hours. This achieves a significant 3-5-fold reduction in the total time of the technological cycle by reducing the time of heating and cooling.

The practical significance of the results obtained. The technological process of strengthening gears on the example of gearboxes NSH-250-4 of hydraulic pump NSH 250 by pulsed plasma nitriding is developed.

Master's dissertation presents: explanatory note and graphic part. The explanatory note consists of an abstract, 6 parts, conclusions, a list of references, and appendices. Scope of work: 100 sheets. A4 size and graphic part - 8 A1 sheets

Keywords: Hydraulic pumps, gear, pulse-plasma nitriding

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів.....	10
Вступ.....	11
1 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ	14
1.1 Аналіз шестерні НШ-250-4.....	14
1.2 Характеристика ГН та умови експлуатації їх шестерень	15
1.3 Огляд методів зміцнення шестерень гідравлічних насосів	19
1.4. Цементация сталі, її характеристика та способи.....	28
Нітроцементация та ціанування	28
1.5 Азотування та його основні способи	39
1.6. Плазмове азотування в імпульсному режимі	41
2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЗОТОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ.....	50
2.1 Загальна методика досліджень	50
2.2. Методики та методи дослідження фізико-механічних властивостей зміцнених поверхонь	51
2.3. Випробування на зносостійкість	57
2.4. Методика обробки результатів досліджень	59
3 Конструкторський розділ.....	61
3.1 Устаткування для проведення плазмового азотування в імпульсному режимі.....	61
3.2 Принципова схема установки.....	64
3.3 Контрольне пристосування для контролю похибки направлення зубів шестерні.....	67
4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	70
4.1 Дослідження процесу отримання азотованого шару в імпульсній плазмі та його особливості.....	74
4.2 Регулювання будови шару при імпульсно-плазмовому азотуванні.....	81
4.3 Розробка технологічного процесу імпульсного-плазмового азотування поверхонь шестерень	84

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ АЗОТУВАННІ	88
6 СТАРТАП ПРОЕКТ ЗМІЦНЕННЯ ШЕСТЕРЕНЬ АЗОТУВАННЯМ	98
Загальні висновки.....	106

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів

А - аустеніт

ВІПА – вакуумне імпульсне плазмове азотування

ВТМО - високотемпературна термомеханічна обробка

ГН – гідравлічний насос

ГНП – газополуменеве напилення

ЕДН – електродугове напилення

ЗЗП – захисні зміцнюючі покриття

ІА – іонне азотування

ІА - імпульсне іонне азотування

ІПА – імпульсне плазмове азотування

ІПТА - іонно-плазмове термоциклічне азотування

М - мартенсит

МО – механічна обробка

МТО – механіко-термічна обробка

НДС – напружено-деформований стан

ПА - плазмове азотування

П - перліт

ППД – поверхнєве пластичне деформування

С - сорбіт

СВЧ – струми високої частоти

Т - тростит

ТМО – термомеханічна обробка

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ТЦІА - термоциклічне іонне азотування

Ф - ферит

ХТО – хіміко-термічна обробка

Вступ

Актуальність роботи. Насоси шестеренчасті (НШ) широко застосовуються в гідросистемах тракторів, екскаваторів та комбайнів, так як у них простий пристрій, вони дешеві і мають високі початкові показники

Шестерні гідравлічних насосів (ГН) працюють в складних умовах (передача обертового моменту, вібраційні навантаження). Це приводить до того, що вони є сильно навантаженими і повинні мати пружні властивості. Шестерні стикаються з робочою речовиною – гідромастилом, і тому повинні бути стійкими від корозії та гідрокорозії.

В зв'язку з тим, що промисловість недостатньо задовольняє потреби сільського господарства в запасних насосах, підвищення строку служби шестерень шестеренчастих насосів тракторних гідросистем став актуальною задачею, яка потребує наукового обґрунтування та практичного рішення.

Проведений аналіз умов експлуатації і способів зміцнення шестерень сформулювати основні вимоги до технологічного процесу (ТП) підвищення міцності їх поверхонь в умовах абразивного, корозійного, кавітаційного зношування. Щодо зміцнення шестерень ГН ТП зміцнення їх поверхонь повинен задовольняти наступним основним вимогам:

- володіти високою продуктивністю і низькою трудомісткістю;
- характеризуватися незначними втратами зміцнюючого матеріалу;
- мати незначний термічний вплив з метою зниження короблення;
- отримувати поверхні необхідної геометрії без використання механічної обробки (МО).

Розробка нових ТП зміцнення шестерень, які мають високу продуктивність та забезпечують отримання якісних зносостійких покриттів і зміцнених поверхонь являється актуальною задачею для машинобудівної промисловості.

В останні роки в світовій промисловій практиці та серед дослідників відмічено зростання інтересу до процесів низькотемпературного насичення залізних сплавів азотом. В обговореннях і дискусіях на міжнародних форумах термістів в останні роки ця тема незмінно займає одне з центральних місць. Одночасно все більше з'являється повідомлень про виключно високу ефективність результатів широкого впровадження цих процесів в виробничий цикл на багатьох підприємствах, в тому числі ведучих промислових фірм та об'єднань різних країн світу. Більш того, намітилася явна тенденція до заміни традиційних високотемпературних методів цементації та нітроцементзації на азотування деталей основної номенклатури машинобудівного виробництва. Причиною "невичерпної" уваги до проблеми азотування являється той унікальний комплекс властивостей, який, в принципі, може бути одночасно досягнутий саме при низькотемпературному насиченні сталюї поверхні азотом. В цей комплекс підвищених властивостей входять зносостійкість, втомлювана міцність та опір корозії, тобто саме ті фактори, недостача яких являється причиною щорічних безповоротних втрат більше третини світового виробництва металу та близько 90% аварійних поломок машин. Іншою найважливішою відміною азотування є дуже мала величина деформації і короблення деталей якою можна знехтувати при вказаних процесах низькотемпературної обробки, в ході якої в сталі не відбуваються фазові переходи, як це має місце при інших видах поверхневого зміцнення (нітроцементзації, цементзації, індукційній та лазерній закалці тощо). В цілому процес азотування відноситься до числа найбільш ефективних методів підвищення поверхневої твердості, міцності, зносостійкості і корозійної стійкості сталюих виробів в таких середовищах, як повітря, вода, пара тощо.

Проведений аналіз літературних даних і патентної документації дозволив зробити висновок, що одним із перспективних напрямків вирішення проблеми підвищення міцності шестерень являється плазмове азотування (ПА) поверхонь деталей в імпульсному режимі, яке розробляється

на наукових принципах азотування. В працях Ю.М. Лахтина, Р. Чаттерджи-Фишера, Я.Д. Когана, Д.І. Котельникова, В.Г. Каплуна, Б.А. Ляшенко, А.В. Рудковського та ін. показано, що обробка в пульсуючій плазмі дозволяє: економити енергію; гарантувати відсутність переходу тліючого розряду в дуговий; забезпечити проникнення дифузанта до найбільш важкодоступних ділянок деталей (в отвори, щілини тощо); отримувати більш стабільні результати процесу. Висока стабільність розмірів при відсутності короблення, невеликі зміни шорсткості поверхні, а також простота методів парціального азотування скорочують витрати на додаткову обробку після азотування, прискорення процесу за рахунок імпульсної подачі напруги та струму і роблять ПА економічним процесом. До числа інших переваг слід особливо віднести відсутність забруднення оточуючого середовища. Імпульсне іонне азотування (ПА) являється абсолютно нешкідливим процесом. Він не наносить шкоди здоров'ю обслуговуючого персоналу.

1 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

1.1 Аналіз шестерні НШ-250-4

Деталь шестерня НШ-250-4 (див. рис. 1.1) ГН НШ-250 призначена для нагнітання робочої рідини у гідравлічні системи машин.

Дана деталь виготовлена із сталі 18ХГТ з твердістю 159-207 НВ. Сталь 18ХГТ використовується для виготовлення деталей, від яких вимагається висока поверхнева твердість, підвищена міцність та в'язкість середини, і які працюють під дією ударних навантажень. Хімічний склад сталі 18ХГТ наведений в таблиці 1.1. Марганець у сталі збільшує прогартовуємість, механічні властивості, особливо пружність. Хром збільшує стійкість до відпуску, прогартовуємість, зносо - та корозійну стійкість. Титан збільшує твердість, стійкість до відпуску, сприяє збільшенню зерна.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 18ХГТ (ГОСТ 4543-81), %

C	Si	Mn	Cr	Ti	P	S	Cu	Ni
					не більш			
0,17...0,23	0,17...0,37	0,8...1,1	1,0...1,3	0,03...0,09	0,035	0,035	0,30	0,30

Шестерня (див. рис. 1.1) має зубчастий вінець, дві цапфи, якими спирається на антифрикційні вкладиші обойми підшипника. З точки зору механічної обробки шестерні взагалі нетехнологічні, так як операція нарізання зубів із зніманням стружки проводиться малопродуктивними методами. Врешті деталь достатньо технологічна. Зубчасті поверхні можна обробляти на прохід. Конструкторські бази співпадають з технологічними. В конструкції деталі відсутні елементи, до яких доступ інструменту скрутний. Канавки для виходу шліфувального кола стандартної форми, що значно скорочує кількість використовуваного інструменту та кількість проходів. Проставлення повздовжніх розмірів полегшує наладку верстатів та скорочує

трудомісткість обробки. Наявність радіуса закруглення між цапфами та торцями зубчастого вінця підвищує стійкість інструментів при токарній обробці, а також полегшує підготовку інструменту та підвищує продуктивність обробки при шліфуванні.

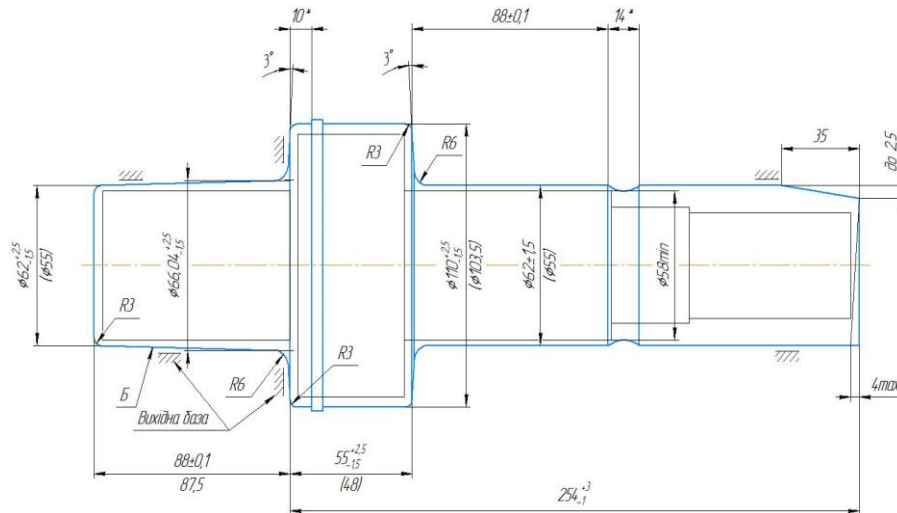


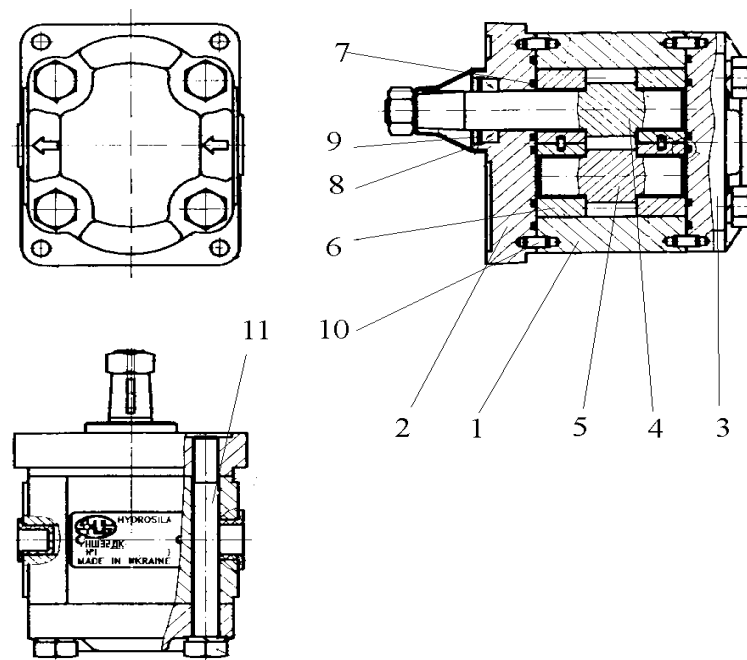
Рисунок 1.1 - Шестерня НШ-250-4

1.2 Характеристика ГН та умови експлуатації їх шестерень

ГН типу НШ (див.рис. 1.2) широко застосовуються в гідросистемах тракторів, екскаваторів та комбайнів, так як у них простий пристрій, вони дешеві і мають високі початкові показники.

Насос шестеренчастий (див.рис.1.2) складається з корпусу 1, кришок передньої 2 та задньої 3, в яких встановленні ущільнюючі кільця 7 для ущільнення стиків між корпусом та кришками, а також вузла, що качається і в який входять ведуча 4 та ведена 5 шестерні, чотири підшипники 6. На бокових поверхнях корпусу є по чотири різьбових отвори М8 для кріплення арматури всмоктуючого та нагнітаючого трубопроводів. В корпусі виконані розточки під шестерні та підшипники, які служать опорами шестерень та ущільнюють їх торцеві поверхні. Ведучий вал ущільнюється манжетою 8, яка фіксується у кришці стопорним кільцем 9. Кришки кріпляться до корпусу чотирма болтами 11 і центруються чотирма штифтами 10. Шестеренчастий

насос має робочий об'єм 63 см^3 . Технічна характеристика ГН на прикладі НШ-250 наведена нижче.



1-корпус; 2-кришка передня; 3-кришка задня; 4-шестерня ведуча; 6-шестерня ведена; 6-вузол підшипниковий; 7-ущільнююче кільце; 8-манжета; 9, 11-стопорне кільце; 10-штифт Рисунок 1.2 – Схема ГН НШ-250:

Для зменшення внутрішніх витрат робочої рідини в насосі використано автоматичне регулювання величини зазорів по торцям шестерень, яке відбувається за рахунок дії тиску рідини в порожнинах, які обмежені манжетами торцевого піджиму, які розміщені в ущільнюючих кільцях 7, на "плаваючих" підшипниках 6, які в результаті підтискання до торців шестерень забезпечують мінімальні зазори та відповідно, мінімальні витоки.

Шестеренчасті насоси гідравлічних систем відносяться до класу коловоротних роторних насосів. Деякі характерні особливості цих насосів такі:

- робочі органи трьох видів: статор, ротор та замикачі;
- напірна лінія завжди герметично відділена від приймальної.

Герметичне відділення напірної лінії від приймальної відбувається шляхом одночасного замикання при допомозі ротора, статора, замикача;

- в шестеренчастому насосі шліцьове розподілення рідини,

результатом чого є просочування по значній частині периметра. Робочий процес насоса супроводжується об'ємними та механічними втратами. Перепад тиску та оберти, при яких відбувається вижимання мастильного шару, визначають межу працездатності насоса.

Технічна характеристика насосу НШ-250

Робочий об'єм (+3%), см ³	250
Частота обертів, с ⁻¹	
- номінальна	25
- максимальна	32
- мінімальна	8,3
Номінальна об'ємна подача, л/хв., не менше	335,1
Тиск на виході, МПа	
- номінальний	20
- максимальний, короткочасно дозволений (до 1% від загального часу роботи) не більше	25
Тиск на виході, Мпа	
- мінімальний	0,08
- максимальний	0,15
Коефіцієнт подачі, не менше	0,86
Загальний коефіцієнт корисної дії, не менше	0,86
Маса, кг, не менше	45
Номінальна потужність, кВт	156,5/212,84
Габаритні розміри, мм	385x270x255
Температура оточуючого середовища, С ⁰	
- мінімальна	-60
- максимальна	+50
Характеристика робочої рідини:	
кінематична в'язкість, мм ² /с номінальна	30÷40
коефіцієнт подачі, не менше	0,94

Проведений мікрометраж показав, що у деяких шестерень після зношення на цапфах має місце слабо виражена конусність з напрямленням в бік шестерень. Це пояснюється, з одного боку, наявністю пружної деформації шестерні у втулках та, з іншого боку, наявністю спряження цапфа-втулка з контактом не по всій висоті втулки. У деяких шестерень на поверхнях цапф перед галтеллю утворюються загусениці. Ці ділянки поверхні цапфи невіддатні зношенню, так як вони спряжені з виточкою втулки з боку торця.

Поверхні торців шестерень становляться у разі зношення неплоскими. Ділянка поверхні торця шестерні, обмеженої колом головок та колом впадин, становляться випуклими: по відношенню до точки у вершині зуба випуклість складає до 0,05 мм і розташовується посередині торця. На ділянці торця, обмеженому колом впадин і галтеллю, утворюється канавка.

Розглянутий вид зношування торців шестерень пояснюється наявністю биття площини торців шестерні при виготовленні, порушенням точності приводу насоса, наявністю одночасного піджива втулок на холостому ході (насос працює на холостому ході 90% часу), коли зусилля гідравлічного стискання на верхні втулки менше, чим зусилля стискання через ущільнювання кільця розвантажувальної пластини.

Наявність конусності в криниці та пружної деформації корпусу у поясі верхніх втулок сприяє зсуву верхньої втулки опори шестерні відносно нижньої втулки, що створює умови для перекосу шестерні та підвищеного зношування торців коло головок зубців.

Профіль зуба зношується рівномірно по всій ширині зуба, а по евольвенті найбільшому зношуванню підлягають ніжки та головки зубців.

Як видно з вищесказаного шестерні працюють в складних умовах (передача обертового моменту, вібраційні навантаження). Це приводить до того, що вони є сильно навантаженими і повинні мати пружні властивості. Шестерні стикається з робочою речовиною – гідромастилом, і тому повинні бути стійкими від корозії та гідрокорозії.

В зв'язку з тим, що промисловість недостатньо задовольняє потреби сільського господарства в запасних насосах, підвищення строку служби шестерень шестеренчастих насосів тракторних гідросистем став актуальною задачею, яка потребує наукового обґрунтування та практичного рішення.

1.3 Огляд методів зміцнення шестерень гідравлічних насосів

Розглянемо методи зміцнення шестерень ГН, які працюють в умовах значних навантажень, перекошування у зчепленні, при великій кількості абразивних часток. Абразивні частки потрапляють у щілини між зубами через недостатньо надійне ущільнення кінців валу, що виступають. Шестерні працюють у дуже несприятливих умовах при одночасному перекошуванні та непаралельності валів. Перекошення у зчепленні виникають з багатьох причин. Однією з них є несиметричне розточування вінця шестерні по зовнішній ступиці. У цьому випадку напруга збільшується значно більше ніж тільки при перекошуванні або тільки при непаралельності.

Існує три основних напрямки зміцнення шестерень: 1) вибір геометричних параметрів; 2) вибір оптимальних параметрів режиму роботи насосів НШ; 3) застосування зносостійких матеріалів та використання різних видів зміцнення поверхонь шестерень. Найбільший ефект підвищення зносостійкості і довговічності шестерень дає використання всіх трьох заходів одночасно.

Розглянемо основні способи зміцнення шестерень, які піддаються різним видам зношування. Існуючі способи зміцнення по їх ефективності і використанню можна умовно розділити на 4 групи: 1) методи наплавлення компактных і порошкових зносостійких матеріалів; 2) методи зміцнюючої обробки: гартування нагріванням струмом високої частоти (СВЧ), поверхнево-пластичне деформування (ППД), тощо; 3) хіміко-термічна

обробка (ХТО); 4) термомеханічна обробка (ТМО), зокрема, високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО).

Серед різних методів зміцнення шестерень найбільше застосування знайшли наступні технологічні прийоми: 1) індукційне наплавлення твердих сплавів; 2) електродугове наплавлення; 3) газополуменеве напилення (ГПН); 4) плазмове наплавлення; 5) ХТО.

Розглянемо деякі з методів зміцнення шестерень ГН. В наш час відновлення шестерень насосів здійснюється їх перешліфуванням під ремонтні розміри [1]. Для перешліфовки торців шестерні шліфувальне коло спеціально заправляють. На його торцевому боці роблять канавку шириною 20 мм, глибиною 5-8 мм. По краю торця залишають кільцеву кромку шириною 2-2,5 мм, якою шліфують торці шестерень. Кромку також правлять. Канавку витирають наждачним каменем розміром 80x20x20 з керамічною зв'язкою зернистістю 24. В процесі шліфування канавку каменя періодично заглиблюють безпосередньо на робочому місці. Перед шліфуванням вивіряють та встановлюють задню бабку. Точність установки задньої бабки верстату в горизонтальній площині визначають на конусність після шліфування цапфи, а у вертикальній - по перехресувальним рискам на торці шестерні після шліфування. Для перешліфування торців шестерні застосовують шліфувальний круг ПП 300x23x127, зерно-120, твердість $СМ_1$ - $СМ_2$, зв'язка керамічна. Шліфують торці за наступним режимом: швидкість 37-55 м/с, частота обертання виробу за хвилину – 450, подача – 0,001 мм/об. Після виведення зношування виконують вигладжувння. Після чого шліфують другий торець. При шліфуванні цапф та зовнішнього діаметра використовують шліфувальний круг ПП 400x50x127 з зернистістю 120, твердістю $СМ_1$ – $СМ_2$ і керамічним змащуванням. Режим шліфування наступний: швидкість різання 24,5м/с, число обертів деталі 300 об/хв., подача 0,005 мм/об.

Широке розповсюдження при відновленні шестерень отримали різні способи наплавлення [2-4]. Індукційним наплавленням тільки в галузі

тракторного і автомобілебудування виконують більше 90% наплавочних робіт [2-4]. В основі метода індукційного наплавлення деталей лежить нагрівання і розплавлення присадочного матеріалу під дією СВЧ. Для наплавлення використовується спеціальна порошкоподібна шихта, яка складається із твердого сплаву і флюсів. Шихта нагрівається теплом, яке передається від поверхні основного металу, через це для забезпечення процесу наплавлення температура нагрівання поверхні основного металу повинна бути на 50-70 К вище температури плавлення порошку твердого сплаву, а швидкість підведення тепла до поверхні, що нагрівають, значно більше швидкості його відведення в глибину деталі і втрат в навколишнє середовище. До сплавів для індукційного наплавлення висувається ряд додаткових вимог: 1) частки повинні бути визначеної фракції (пиловидна фракція погіршує наплавочні властивості шихти, велика – рівномірність наплавленого шару); 2) сплав повинен мати мінімальну магнітну проникність, в протилежному випадку він може частково скидатись з деталі магнітним полем індуктора. До недоліків індукційного наплавлення, які обмежують область його застосування, можна віднести значне короблення оброблюваних деталей, наявність шлакових включень і раковин, відшарування в наплавленому шарі, нерівномірну ширину і товщину наплавленого шару по довжині деталі, важкість отримання поверхні деталі необхідної геометрії без наступної механічної обробки (МО) [2-6].

В виробництві застосовують ручне електродугове наплавлення електродами з послідуючим фрезеруванням зубів, а також ручне газове наплавлення з використанням в якості присадочного матеріалу – сормайту (див. рис. 1.3) [7].

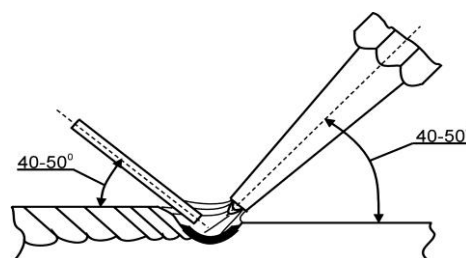


Рисунок 1.3 – Спосіб газового наплавлення

Більш вдосконалений метод електродугового та газового наплавлення зношених зубців в глиняних вогнетривких формах [2-4]. При цьому втрати металу на послідуочу МО мінімальні. Однак для цих способів характерні висока трудомісткість, низька технологічність, а відновленні зубці шестерень володіють низькими механічними властивостями.

З способів нарощування металу на зношену торцеву частину зуба заслуговує увагу спосіб автоматичного наплавлення під флюсом торців зубів шестерень з примусовим формуванням наплавленого металу в мідній формі [2-4]. Наплавочна форма та тіло шестерні утворюють зварну ванну, в яку подається електрод і флюс. За рахунок високої швидкості наплавлення, можливості максимального зниження теплової потужності дуги, а також інтенсивного відводу тепла у наплавочну форму і тіло шестерні – термічний вплив дуги на матеріал зуба мінімальний (що виключає повторну термічну обробку (ТО)). Ресурс роботи шестерень після їх відновлення складає 88% ресурсу нових, а собівартість 42-60% собівартості нових. Застосовується також технологія наплавлення торців шестерень стрічковим електродом під шаром флюсу при безперервному обертанні шестерні. Для процесу застосовують флюс марки АН-348А, стрічковий електрод – 4 (стальна стрічка марки У8А з перерізом 0,5x10, 0,4x12, 0,4x15 мм).

Для повнопрофільного (по довжині та ширині) відновлення зубів в використовується спосіб наплавлення зубів стрічковим порошковим електродом під шаром флюсу. При цьому електрод рухається вздовж зуба нерухомої шестерні і за один прохід забезпечує наплавлення зношеного профілю [2-4].

Приймаючи до уваги матеріал зубчастих коліс (легована сталь) пропонують застосувати аргонно-дугове наплавлення дугою прямої дії електродом що не плавиться з використанням присадочного дроту (Ст. 65Г) [2-4]. Наплавлення здійснюється без переривання дуги при малих коливаннях її теплової потужності – це забезпечує достатнє проплавлення основного

металу, необхідну величину зчеплення та задовільне формування наплавленого металу.

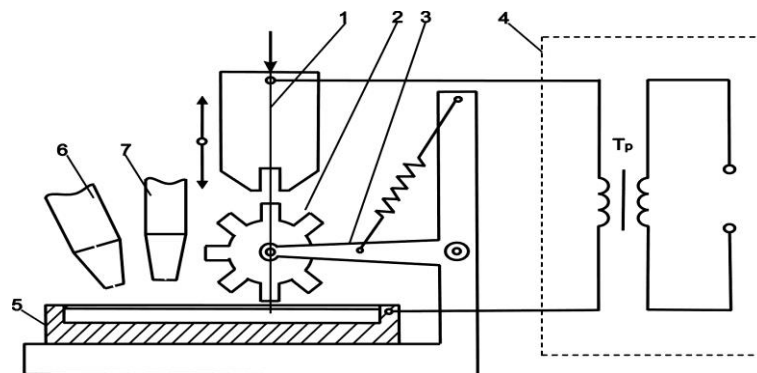
Пропонують також наплавляти зубці дротом – 30ХГСА та – 65Г в середовищі вуглецевого газу [2-4]. Після наплавлення шестерні проходять МО та ТО. При всьому діапазоні способів відновлення зубів шестерень наплавками їм притаманні такі недоліки: термічний вплив електричної дуги; зниження контактної втомлювальної міцності зубів на 25% і циклічної міцності на 35%; недостатня міцність зчеплення.

Електродугове наплавлення має низьку продуктивність, високу трудомісткість, велику зону термічного впливу і значне короблення деталі, наявність перемішування металу покриття з матеріалом деталі [2-6]. Крім того, при ручному наплавленні практично неможливо отримати тонкий і рівномірний шар, що ускладнює використання вказаної технології для зміцнення поверхонь деталей [2-6]. Розглянуті методи зміцнення не дозволяють отримувати шари з вмістом легуючих елементів більше 30-40% із-за розбавлення наплавленого металу основним і вигорання легуючих елементів. Деформація наплавлених деталей і процесі зміцнення потребує проведення додаткової розмірної механічної обробки, яка, в свою чергу, ускладнена із-за високої твердості наплавленого металу. Крім того, високотемпературне нагрівання, властиве більшості методів наплавлення, приводить до втрат властивостей твердих з'єднань. Так, при індукційному наплавленні, яке дає можливість регулювання температури і розмірів зони розігрівання, розплавлюється від 20 до 70 % часток ферохрому, які вводяться в наплавочну шихту [2-4].

Газополуменеве (ГПН) та електродугове напилення (ЕДН) застосовується при нанесенні тонкошарових зносостійких покриттів, а також для захисту деталей від дії агресивних середовищ (корозії) [8, 9]. При напиленні теплота газового полум'я або електричної дуги використовується для розігрівання часток напилюємого матеріалу до температури, близької до температури плавлення після чого здійснюється нанесення покриття на

поверхню деталі. ТП напилення забезпечує високу продуктивність і характеризується відносно невеликою трудомісткістю. Недоліками його являються інтенсивне окислення розплавленого металу, видалення вуглецю з металу покриття, значні деформації і залишкові напруження в деталі, неможливість введення тугоплавких з'єднань, низька продуктивність процесу [8, 9].

Авторами [10] розроблений спосіб відновлення шестерень за допомогою порошкових матеріалів. Н.Н. Дорожкіним [11] запропоновано відновлювати шестерні шляхом нанесення на зношену ділянку шихти із зносостійких порошків з пластифікатором та з послідуочим нагріванням для сушки нанесеного покриття і формування вихідного профілю зубів (див.рис. 1.4).



1 – верхній рухомий електрод; 2 – деталь; 3 – пристосування для підтримки деталі; 4 – джерело струму; 5 – нижній електрод з порошком; 6 – ємність для рідини; 7 – бункер для порошку: Рисунок 1.4 – Схема припікання порошку на вершини зубів шестерні ГН [11]

Серед сучасних прогресивних способів відновлення зношених деталей особливе місце займають методи ППД (див.рис.1.5) [12]. Ці методи ґрунтуються на використанні пластичних властивостей зношених деталей, конструктивна форма яких обумовлює в них значний запас цього матеріалу. При відновленні деталей зношування робочих поверхонь компенсується за рахунок пластичного перерозподілу матеріалу самої деталі. ППД застосовують для відновлення шестерень ГН, а саме пуансон,

переміщуючись по внутрішньому отвору нагрітої веденої шестерні, збільшує зовнішні діаметри шестерні і цапф з одночасним виправленням евольвенти. Торцеве зношення при цьому не відновлюється.

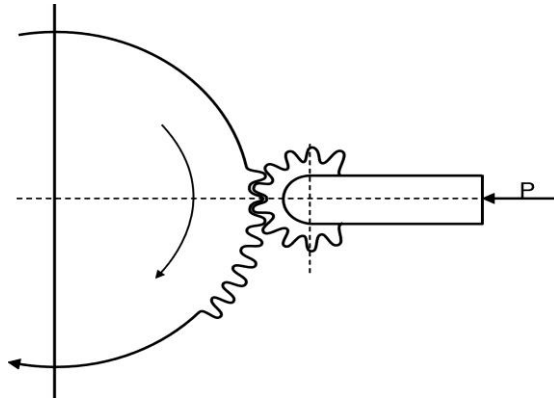


Рисунок 1.5 – Схема накатки пластичним деформуванням

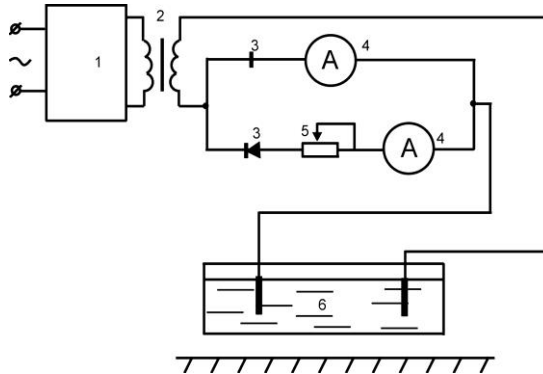
Основним недоліком відновлення шестерень припиканням і ППД є їх нагрів, що негативно впливає на структуру металу шестерні і потребує послідуочної ТО і ХТО. Шестерні нагрівають індукційним методом або в соляних ваннах до температури $900-1160^{\circ}\text{C}$ після чого осаджують в штампах на гідравлічних пресах. При осадженні переміщують метал з торцевих поверхонь до зношених зубів. Після МО роблять ТО шестерень. Однак цей спосіб не передбачає повнопрофільного відновлення при одночасному зношенню зубів як по довжині, так і по товщині. Цей недолік усувається при відновленні шестерень в матриці зубчастим дорном з індеторами [12].

Зношені шестерні можна відновлювати ротаційним деформуванням [12]. Деформація заготовок (зношеної шестерні) здійснюється за допомогою клинових або секторних індеторів встановлених на торцях пуансона. Профіль зуба формоутворюється за допомогою накатника.

Найбільш сучасним в наш час є спосіб відновлення шестерень, загальна технологія якого слідує: мийка, дефектація, наплавлення металу на неробочі поверхні, нагрів шестерень до температури $1200-1250^{\circ}\text{C}$, ППД, МО і

ТО, контроль [13, 14]. Границя витривалості зубів, відновлених за даною технологією підвищується на 15-20%.

Одним із способів відновлення деталей, виключаючим термічний вплив на структуру основного металу є гальванічне нарощування (див. рис.1.6) [15].



1 – регулятор однофазового струму (РОС); 2 – силовий трансформатор; 3 – вентильні елементи; 4 – амперметр; 5 – резистор; 6 – гальванічна ванна Рисунок 1.6 – Схема установки для нанесення гальванічних покриттів на асиметричному струмі

Шестерені ГН типу НШ можна відновлювати електролітичними металополімерними покриттями на основі заліза [15, 16]. Покриття отримують з суспензії, яка містить хлористе залізо – 600 г/л порошкоподібні поліаміди ПА 12-10 або епоксидну композицію П-ЕП-971 – 40-80 г/л та соляну кислоту.

Для відновлення цапф шестерень ГН використовують залізнення [16]. Залізні покриття отримують з гарячих хлористих електродів. ТП відновлення включає слідуючі операції: шліфування, обезжирювання, травлення, усталення, нейтралізацію та послідовну МО. Застосування залізнення при ремонті дозволяє підвищити зносостійкість поверхонь які труться.

ТО широко застосовується при виготовленні деталей машин. Однак вона малоефективна і не дозволяють суттєво підвищити зносостійкість ріжучих елементів деталей машин [17-19].

В останні роки все більше застосування получил новий вид обробки, яка називається термомеханічною (ТМО) [20]. В результаті такої обробки відбувається підвищення характеристик міцності в порівнянні з звичайною

ТО з збереженням на тому ж рівні або навіть збільшенням пластичності. Застосування високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО) дозволяє в середньому на 15-20 % підвищити зносостійкість сталі 45. Однак широкому застосуванню ВТМО перешкоджає недостатнє вивчення впливу її технологічних параметрів на зносостійкість і інші властивості вуглецевих сталей, які застосовуються в машинобудуванні.

Хіміко-термічна обробка (ХТО) поєднує термічний і хімічний вплив з метою зміни хімічного складу, структури та властивостей поверхневого шару металу або сплаву. Цей вид обробки широко застосовується для підвищення довговічності найбільш відповідальних деталей машин. Основні методи насичення, які використовують при ХТО, наступні [21. 22]:

- насичення із порошкових сумішей. Цей метод завдяки простоті ТП знайшов використання при цементації, алітуванні (алюмініуванні), хромуванні, тощо;

- прямоточний і циркуляційний методи дифузійного насичення із газових середовищ. Прямоточний газовий метод дозволяє регулювати активність насичуючої атмосфери (потенціал атмосфери), широко використовується при цементації, нітроцементації і азотуванні;

- дифузійне насичення із розплавів металів або солей, які містять дифундуючий елемент (з електролізом і без застосування електролізу). Рідинний метод дозволяє скоротити тривалість ТП, однак не завжди забезпечує високу якість поверхні і стабільність товщини дифузійного шару ;

- насичення із паст і суспензій (шлікерний спосіб). Ці методи не знайшли великого поширення, так як не завжди забезпечують отримання рівномірної товщини покриття і високої якості дифузійного шару. Хоча насичення із паст може бути рекомендовано для локального зміцнення поверхні та при обробці крупногабаритних деталей;

- дифузійне насичення з використанням вакууму. Насичення здійснюється із сублімованої фази випаровуванням дифундуючого елементу при високих температурах у вакуумі. Оброблювані вироби можуть

знаходиться в контактi з порошковою сумiшшю, яка мiстить дифундуючий елемент.

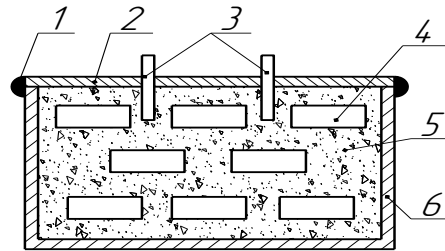
1.4 Цементация сталi, її характеристика та способи.

Нiтроцементация та цiанування

Цементация – процес ХТО, який полягає в дифузiйному насиченнi поверхневого шару сталi вуглецем при нагрiваннi в вiдповiдному середовищi [21-23]. Мета цементации – насичення поверхневого шару деталей машин вуглецем до концентрацiї 0,8 – 1,1% та отримання пiсля гартування високої твердостi при збереженнi пластичної серцевини [21-23]. Цементации пiдлягають деталi, якi виготовленi з низьковуглецевих сталей (0,1 – 0,2% С) марок 15,20 чи легованих низьковуглецевих сталей марок 20Г, 20Х, 20ХФ, 12ХН3А, 20Х2Н4А, 18ХГТ, 18Х2Н4ВА, 20ХГНР та iн. Цементация може проводитися в твердих, газообразних i рiдких вуглецевовмiстких середовищах, якi називаються карбюризаторами [21-23].

Найбiльш старим способом є цементация в твердому середовищi (в твердому карбюризаторi) [21-23]. При цьому способi цементации карбюризатором служить сумiш деревного вугiлля та вуглекислих солей (вуглекислого барiя – BaCO_3 , вуглекислого натрiя (соди) – Na_2CO_3 та iн.). Вуглекислi солi додаються до деревного вугiлля в кiлькостi 10 – 40%. В практицi цементации застосовують рiзноманiтнi склади карбюризаторiв. Для цементации в твердому карбюризаторi деталi розмiщують в цементацийний (сталевий) ящик i засипають карбюризатором. Упаковка деталей в ящик з карбюризатором повинна проводитися таким чином, щоб деталi з усiх сторiн були оточенi карбюризатором i не дотикались один одного, з стiнками та дном ящика. Ящик закривають кришкою та замазують вогнетривкою глиною. Через отвори в кришки в ящик вставляють стержнi з такої ж низьковуглецевої сталi, з якої виготовленi цементуєми деталi. Цi стержнi називаються «свiдками» i служать вони для контролю цементации. Ящик з

упакованими в ньому в карбюризаторі деталями (див.рис. 1.7) розміщують в піч та нагрівають до 900 - 950°C.



1 – замазка; 2 – кришка;

3 - свідки; 4 – деталі; 5 – карбюризатор; 6 – цементаційний ящик

Рисунок 1.7. – Упаковка деталей в ящик для цементзації

При нагріванні протікають такі процеси. Вуглець вугілля з'єднується з киснем повітря, який знаходиться в ящику, та утворюється окись вуглецю (CO). Цей процес можливо уявити такою реакцією:



Окис вуглецю розщеплюється на вуглекислий газ (CO₂) та вуглець, який утворюється у вигляді атомів (атомний вуглець):



Атомний вуглець проникає в поверхневий шар деталі. Так як деталі нагріті до 900 - 950° C, тобто вище верхньої критичної точки Ас₃, та в сталі при такій температурі утворюється γ-залізо, вуглець, проникаючи в сталь, розчиняється в γ-залізі з утворенням аустеніту:



На процес цементзації чинять вплив температура цементзації та час витримки при цій температурі. З підвищенням температури цементзації та збільшенням часу витримки збільшується глибина цементованого шару (див.рис. 1.8) [21-23].

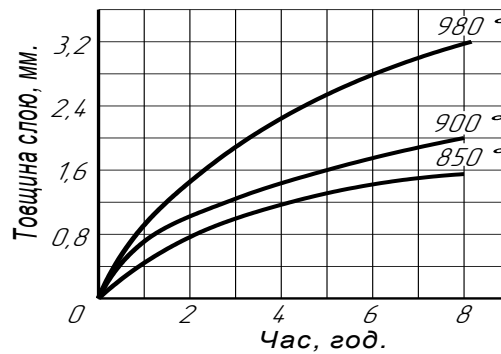


Рисунок 1.8 – Вплив температури та часу витримки на товщину цементованого шару твердим карбюризатором

Більш досконалою в порівнянні з цементациєю в твердому карбюризаторі являється газова цементация [21-23]. Газова цементация відома давно; вперше цей спосіб був запропонований і практично застосований П.П. Аносовим ще в тридцятих роках минулого століття. При газовій цементации науглецевування поверхні сталі проводиться газовим карбюризатором. Деталі нагрівають в спеціальних герметичних закритих печах, в які безперервним потоком подають цементуючий вуглецевмісткий газ. Такими газами є природні гази, а також штучні гази. Для газової цементации використовується і рідкий карбюризатор (бензол, піробензол, керосин, синтин та ін.), який подається безпосередньо в робочий простір печі. При високій температурі відбувається розщеплення рідкого карбюризатора, в наслідок чого утворюється цементуючий газ. Для газової цементации застосовують печі безперервної дії (муфельні та безмуфельні), стаціонарні печі (камерні, шахтні) та спеціальні агрегати [21-23].

Тривалість витримки при цементации залежить від того, якої глибини шар необхідно отримати. Звичайно цементация деталей проводиться з отриманням шару глибиною 0,5 – 2 мм [21-23]. Дуже часто, в залежності від умов праці, цементувати необхідно не всю поверхню деталі, а тільки її окремі частини. В таких випадках ті ділянки деталі, які не повинні підлягати цементации, захищають від проникнення вуглецю покриттям їх тонким шаром

міді (гальванічним способом), що дає найкращий захист від цементації, чи покривають їх спеціальними обмазками.

Контроль цементації проводиться наступним чином [21-23]. Перед закінченням цементації «свідків» виймають з ящика, гартують в воді, ламають, та по злому визначають глибину цементованого шару. Швидше шар цементації виявляється по макроструктурі. Глибина цементованого шару та розподілення вуглецю по глибині шару точно визначається по мікроструктурі. Цементований шар має три зони: заевтектоїдну (у поверхні) з структурою перліт + цементит (П+Ц), з вмістом вуглецю 1,1 – 0,8%, евтектоїдну, яка має структуру П(0,8% С), та перехідну (доевтектоїдну) з структурою ферит + перліт (Ф+П). Чим ближче до серцевини, тим менше в перехідній зоні П і більше Ф. За глибину цементованого шару звичайно приймають суму заевтектоїдної, евтектоїдної та половину перехідної зони. Після закінчення цементації ящики виймають з печі, охолоджують на повітрі, а потім розпаковують та виймають деталі.

Цементовані деталі в подальшому обов'язково підлягають ТО – гартуванню та отпуску. ТО необхідна по двом причинам: по-перше, для отримання високої твердості поверхні, і по-друге, для усунення перегріву сталі, так як в результаті тривалої витримки при високій температурі відбувається ріст зерна сталі. Для усунення перегріву та отримання нормальної структури, а також для надання високої твердості цементованому шару, деталі після цементації підлягають ТО. В залежності від призначення деталі використовують різноманітні варіанти ТО [21-23].

Не відповідальні деталі підлягають гартуванню безпосередньо з цементаційного нагріву з наступним низьким відпусканням [19, 21-23]. Зерно аустеніту (А), яке виросло в результаті тривалої цементації дає грубокристалічний мартенсит (М) відпускання в поверхневому шарі та крупнозернисту феритно-перлітну (Ф-П) структуру в середині деталі. Ці недоліки в значній мірі усуваються при використанні спадково дрібнозернистих сталей, використання газової цементації, скорочуючий час

перебування сталі при високій температурі. Використання охолодження при гартуванні до 750-800°C знижує внутрішнє напруження, а обробка холодом зменшує кількість залишкового А в цементованому шарі [19, 21-23].

При більш високих вимогах до структури деталі після цементації піддають охолодженню на повітрі, однократному гартуванню з нагрівом вище A_{c3} та низькому відпусканню [19, 21-23]. При цьому в серцевині і на поверхні деталі відбувається перекристалізація і подрібнення зерна. Але в поверхневому високо-вуглецевому шарі відбувається деякий перегрів, так як оптимальна гартувальна температура заевтектоїдних сталей – це температура вище A_{c1} , але нижче A_{cm} .

Дуже відповідальні деталі після цементації підлягають подвійному гартуванню з низьким відпусканням. При першому гартуванні з температурою на 30-50°C вище A_{c3} , відбувається перекристалізація серцевини деталі з утворенням дрібного аустенітного зерна, забезпечуючого дрібнозернистість продуктів роз'єднання. Одночасно при цьому цементит на сітка в поверхневому шарі розчиняється. При нагріві під друге гартування мартенсит, утворений після першого гартування, сприймає відпускання і при цьому утворюються шароподібні карбіди, підвищуючи твердість поверхневого заевтектоїдного шару. Крім того, при другому гартуванні з температури вище A_{c1} на 30-50°C забезпечується дрібне зерно в поверхневому шарі [19, 21-23]. Після такої ТО поверхневий заевтектоїдний шар буде мати структуру відпущеного мартенситу з включенням шароподібного карбіду. Структура серцевини визначається хімічним складом сталі. При цементації вуглецевої сталі через низьку прогартовуємість серцевина має Ф-П структуру. Деталі, виготовлені з вуглецевих сталей, охолоджуються при гартуванні в воді, а виготовленні з легованих сталей охолоджуються в мастилі [19].

Легована сталь при цементації дозволяє отримувати в середині структуру сорбіту (С), троститу (Т) або навіть мартенситу (М), але завдячуючи низькій концентрації вуглецю середина буде мати високу ударну

в'язкість В результаті ТО на поверхневому шарі утворюється структура М з карбідами із твердістю HRC 60 – 64. Структура серцевини вуглецевих сталей ферит (Ф) та перліт (П), а легованих – С чи Т [19, 21-23].

Для рідинної цементації застосовують ванни, які містять 75 – 85% вуглекислого натрію (Na_2CO_3), 10 – 15% хлористого натрію (NaCl) та 6 – 10% карбіду кремнію (SiC). При нагріванні карбід кремнію розщеплюється з виділенням атомарного вуглецю, який проникає в сталь. Рідинна цементація застосовується для обробки дрібних деталей, для яких достатній цементований шар невеликої глибини. Тому витримка при рідинній цементації звичайно невелика (45 – 90 хв), зерно сталі за цей час не встигає вирости і тому можливе загартування безпосередньо з цементаційної ванни. Цементация в рідкому середовищі застосовується дуже рідко [19, 21-23].

Поверхнєве насичення сталі одночасно вуглецем та азотом в газовому середовищі називають нітроцементациєю, а в розплавленій ціаністій солі – ціануванням [19, 21-23]. Мета цих процесів – отримання високої твердості та зносостійкості поверхні деталей з збереженням пластичної серцевини. Ціануванню та нітроцементациї підлягають деталі з сталей з 0,2 – 0,4 % С

При нітроцементациї деталі нагрівають при 850 – 870°C в газовій суміші, звичайно складаючої з ендогазу, до якого додають 5 – 15 % природного газу та 3 – 8 % аміаку [19, 21-23]. Після насичення поверхні деталей вуглецем та азотом їх підлягають гартуванню та низькому відпусканню; HRC 60 – 62. Нітроцементацию застосовують для обробки широкої номенклатури деталей.

При ціануванні деталі нагрівають при 820 – 960°C в розплавлених солях, які містять ціаністий натрій NaCN [19, 21-23]. Для отримання шару товщиною до 0,3 мм ціануванням ведуть при 820 – 860°C в ціаністих солях, які містять NaCN , NaCl , Na_2CO_3 . При нагріванні утворюючи в ванні атомарний азот та вуглець дифундують в сталь. Шар містить ~ 0,7 % С та ~ 1 % N. Потім деталі гартують безпосередньо з ванни та підлягають низькому відпусканню. Твердість шару HRC 58 – 62. Для отримання шару товщиною

до 2 мм ціанування ведуть при 930 – 960°C в ціаністій ванні, яка містить NaCN, NaCl, BaCl₂. Шар містить ~ 1 % C та ~ 0,3 % N. Потім деталі охолоджують на повітрі, проводять гартування та низьке відпускання. Недоліком ціанування є отруйність ціаністих солей [19, 21-23].

Проведений аналіз умов експлуатації і способів зміцнення деталей машин дозволяє сформулювати основні вимоги до ТП підвищення зносостійкості поверхонь тертя деталей машин, які працюють в умовах абразивного, корозійного, кавітаційного зношування. Щодо зміцнення деталей ТП зміцнення робочої поверхні повинен задовольняти наступним основним вимогам [24]:

- володіти високою продуктивністю і низькою трудомісткістю;
- характеризуватися незначними втратами зміцнюючого матеріалу;
- мати незначний термічний вплив з метою зниження короблення;
- отримувати поверхні необхідної геометрії без використання МО.

Розробка нових ТП зміцнення шестерен, які мають високу продуктивність та забезпечують отримання якісних зносостійких покриттів і зміцнених поверхонь являється актуальною задачею для машинобудівної промисловості.

1.4.1 Газове азотування при електронагріві та перспективи використання в промисловості

Встановлено, що електронагрів при азотуванні сприяє інтенсивному споживанню азоту поверхнею сталі та утворенню дифузійного шару за більш короткий час, ніж при нагріванні в печі, причому найбільша (в 5-10 разів) інтенсифікація спостерігається при відносно невеликій (до 5 годин) тривалості [25-29]. Крім цього, гартування і відпуск після азотування дозволяють в ряді випадків підвищити температуру процесу і завдяки цьому ще більше скоротити його тривалість, доводячи її до кількох хвилин. Тривалість процесу азотування з використанням електронагрівання додатково скорочується за рахунок зменшення часу на нагрів та подальше

охолодження деталі [25-29].

Іншою важливою перевагою азотування з нагрівом СВЧ є можливість місцевої обробки без нагріву всього виробу, що знижує деформацію виробу [25-29]. Досконало досліджено особливості і розроблено оптимальні режими азотування з електронагріванням найбільш азотуємих сталей 38ХМЮА, 25Х5МА; нержавіючих сталей 1Х13, 2Х13, 4Х13, 1Х18Н9Т та ін.; легованих сталей 40Х, 60С2; технічного заліза та високоміцного магнієвого чавуну з шаровидним графітом. Розроблено режими ТО після азотування, які дозволяють проводити процес насичення при високих температурах з отриманням твердих шарів [25-29]. Найбільшою перевагою азотування з індукційним нагріванням перед азотуванням в печі є різке (в десятки разів) скорочення процесу.

Відмінною особливістю установок, в яких проводиться дослідження азотування сталі з нагрівом СВЧ, являється конструкція камери для насичення азотом [25-29]. Ця конструкція залежить від типу генератора і конфігурації оброблюваних виробів. Аміак підводився через нижній кінець труби, а відпрацьований газ відводився через верхню її частину. металічний піддон і азбоцементну кришку для ущільнення замазували глиною. Деталі збирали в особливих пристроях, які дозволяли проводити одночасне азотування 12 втулок або плунжерів. Для нагрівання зразків і деталей використовуються як лампові, так і машинні генератори. За рахунок зменшення анодної напруги лампового генератора вдається досягнути значного зменшення швидкості нагріву і тим самим збільшити тривалість дії СВЧ. В більшості цих дослідів нагрів складав 50% і охолодження також 50%.

Перехід на азотування з нагрівом СВЧ скорочує тривалість обробки, зменшує витрату аміаку, прискорює весь цикл, знижує вартість обробки і скорочує процент браку [25-29]. Однак перехід на азотування з індукційним нагріванням пов'язаний з серйозними складнощами. До них, по-перше, відноситься складність одночасної обробки великої кількості деталей. По-друге, складно підтримувати впродовж тривалого часу однакову температуру

як для поверхні одного виробу, так і для різних виробів партії.

Найбільш перспективним є процес короткочасного (2-10 хвилин) високотемпературного азотування з наступним гартуванням і відпуском, який можна використовувати для отримання твердих поверхневих шарів на вуглецевих, легованих і нержавіючих сталях в тих випадках, коли допустиме деяке короблення деталей. Впровадження високотемпературного азотування з використанням електронагрівання не потребує великих затрат і високовартісного обладнання [25-29].

Іншим перспективним процесом вважають використання високочастотного нагрівання для антикорозійного азотування сталі. Температуру цього процесу можна підвищити до 600-650°C; допустима різниця температур до 50-100 град в різних частинах одного виробу і в різних виробках партії. Для отримання шару 0,02-0,04 мм потрібно 10-25 хвилин замість 1-3 год. при нагріванні в печі. Підвищення температури процесу до 650-700°C при відносно повільному (10-15 хв.) нагріві дозволяє отримати задовільні результати навіть без ізотермічної витримки [25-29].

1.4.2 Азотування в рідкому середовищі

Результати насичення сталі азотом при нагріві сталі СВЧ в водному розчині NH_3 представлені в таблиці 1.2 [25-29]. Біля нагрітої поверхні сталюого зразка випаровується рідина, створюючи газову рубашку, в склад якої входить аміак. При розкладанні аміаку азот знаходиться в атомарному стані і швидко насичує поверхневий шар сталі.

Таблиця 1.2 - Результати азотування сталі в рідкому середовищі

Сталь	Температура, °C	Глибина шару, мм, після витримки, хв.			
		5	10	15	20
38ХМЮА	600	0,05	0,08	0,12	0,13
10	800	0,09	0,13	0,19	-
45	800	0,03	0,08	0,10	-

Твердість по Віккерсу азотованої сталі 38ХМЮА плавно змінювалася

від 800-1120 кгс/мм² (на поверхні) до 300-350 кгс/мм² (на глибині 0,21 мм). При азотуванні сталі 10 протягом 10 хвилин був отриманий шар з поверхневою міцністю HV₅500 [25-29].

1.4.3 Азотування в пастах

Для азотування в якості джерела активного азоту можна використовувати пасту, в яку входять азотовмісні солі, наприклад амонійно-хлоридні [25-29]. Цю пасту, яка містить зв'язку, наносять на поверхню виробу шаром товщиною 1,5-2,5 мм. Для попередження стікання при розплавленні пасту закріплюють на виробі спеціальним вогнетривким каркасом. Азотування проводять при 800-1000°C протягом 1-2 хвилин. При цьому формуються дифузійні шари, для утворення яких при звичайному методі азотування потрібно від 5 до 90 годин.

1.4.4 Насичення інших металів ті сплавів

Азотування найбільш перспективний метод поверхневого зміцнення титанових сплавів, так як дозволяє відносно просто досягати значного підвищення поверхневої твердості (до 1200-1300 кгс/мм²) і зносостійкості [26, 27]. Процес проводять в атмосфері очищеного азоту при 900-1050°C з витримкою від 8 до 50 годин і отримують шари 15-100 мкм. Високі температури і тривалі витримки призводять до сильного росту зерен β -фази титана і зниження механічних властивостей.

Використання електронагрівання для азотування титану показали принципову можливість значного скорочення тривалості азотування [26, 27]. На сплавах ВТ4 і ВТ6 при азотуванні з використанням переривчастого нагрівання (850-1100°C) СВЧ протягом 2 хвилин був отриманий зміцнений шар глибиною 30 мкм з мікротвердістю поверхні 2000 кгс/мм².

Досліджування азотування титанових сплавів при нагріванні високочастотною низькотемпературною плазмою проведено Л. К. Грущаним [26, 27]. Визначено значне прискорення процесів насичення в порівнянні з традиційними процесами. Так, на сплаві ВТ4 при 850°C протягом 45 хвилин

при тискові 0,8 мм.рт.ст. глибина азотованого шару складала 70 мкм.

Розроблено метод зміцнення поверхні виробів із цирконію ті інших металів насиченням в рідкому середовищі з індукційним високочастотним нагріванням [25-27]. Процес проводять аналогічно азотуванню сталі в рідкому середовищі з нагрівом СВЧ. Вироби з цирконію занурюють в 28 %-вий розчин NH_3 , нагрівають до 1000°C на глибину 0,5 мм від поверхні, витримують і охолоджують в тій же рідині. За 2 хвилини на цирконію утворюються зміцнені шари глибиною 0,4-0,6 мм.

Найчастіше електронагрівання використовують для газових процесів насичення і осадження. В роботах Ю. М. Лахтина і Я. Д. Когана [26. 27] показана можливість значного розширення температурного інтервалу газового азотування молібдену і ніобію при електронагріванні. Азотування молібдену проводили в середовищі NH_3 в інтервалі $800-1400^\circ\text{C}$ з радіаційним нагрівом і контактним нагріванням. Температурні залежності приросту маси і глибини шару в умовах радіаційного нагріву мали виражений максимум при 1130°C . Підвищення температури вище 1130°C призводило до різкого зниження приросту маси та глибини шару. У випадку азотування при контактному електронагріванні шар нітриду молібдену Mo_2N продовжував рости по експоненціальному закону до 1400°C . Підвищення температури утворення Mo_2N до 1400°C при контактному електронагріванні пов'язано з пригніченням процесів дисоціації нітридів за рахунок збільшення парціального тиску азоту біля поверхні зразків. Крім того, при електронагріванні дисоціація NH_3 проходить безпосередньо біля поверхні металу і кількості атомарного азоту достатньо для продовження насичення до 1400°C . У випадку об'ємного нагріву при $1150-1200^\circ\text{C}$ атомарний азот в атмосфері печі практично відсутній внаслідок рекомбінації атомів азоту.

При азотуванні ніобію використання нагріву внутрішнім джерелом тепла дозволяє підвищити верхню температурну межу процесу азотування і утворення нітридів ніобію з 1200°C (при нагріві в печі) до 1500°C (електронагрівання) [25-27].

1.5 Азотування та його основні способи

Азотуванням являється ХТО, яка складається з дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом (азотом і вуглецем) при нагріванні у відповідному середовищі. Мета азотування – отримання поверхні деталей високої твердості та зносостійкості чи стійкості проти корозії (антикорозійне азотування) [19, 21, 22, 25-28].

Для азотування деталі нагрівають (при 500 – 700 °С) в спеціальній герметично закритій печі, через яку пропускають аміак NH_3 . При нагріві аміак розчиняється з утворенням атомарного азоту, який поглинається поверхнею сталі і проникає в глибину деталі. Для отримання високої твердості та зносостійкості шару застосовують спеціальні сталі, наприклад сталь, яка містить хром, молібден, алюміній.

При азотуванні такої сталі при 500 – 550 °С азот утворює хімічні з'єднання, які називаються нітридами (нітриди заліза Fe_2N , хрому CrN , алюмінію AlN та ін.), які надають шару дуже високу твердість (до 1200 HV). Недолік азотування – тривалість процесу (до 90 год). Азотуванню підлягають циліндри моторів і насосів, зубчаті колеса, штампи, пуансони та ін. Антикорозійному азотуванню підлягають в основному вуглецеві сталі при 600 – 700 °С з витримкою 0,5 – 1 год.

Азотування найчастіше проводиться при 500-600°С (низькотемпературне азотування) [25-28]. Азотуванню можна піддавати сталі перлітного, феритного та аустенітного класів, а також чавуни. В останні роки все ширше використовується високотемпературне азотування (600-1200°С) феритних і аустенітних сталей та тугоплавких металів (Ti, Mo, Nb, V та ін.) [25, 26]. В результаті азотування сталь набирає: а) високу твердість, яка не змінюється при нагріванні до 400-450°С; б) високу зносостійкість та низьку схильність до задирів; в) високу межу витривалості; г) високу кавітаційну стійкість; д) гарну опірність корозії в атмосфері, прісній воді та парі.

В процесі азотування оброблювані вироби зазнають незначної деформації. Азотований шар добре шліфується і полірується.

Процес низькотемпературного газового азотування (див.рис. 1.9) проводиться в частково дисоційованому аміаку, в суміші аміаку з азотом, аміаку і попередньо дисоційованому аміаку [25-27]. Для активації процесу в аміачно-водневу суміш вводять кисень або повітря. Широке використання знаходять атмосфери на основі частково дисоційованого аміаку і вуглецьвмісних компонентів: природного і світильного газу, ендогазу, екзогазу, продуктів піролізу синтину, гасу, спирту тощо. Для азотування використовують і розплави ціанід-ціанатних солей (рідинне азотування).

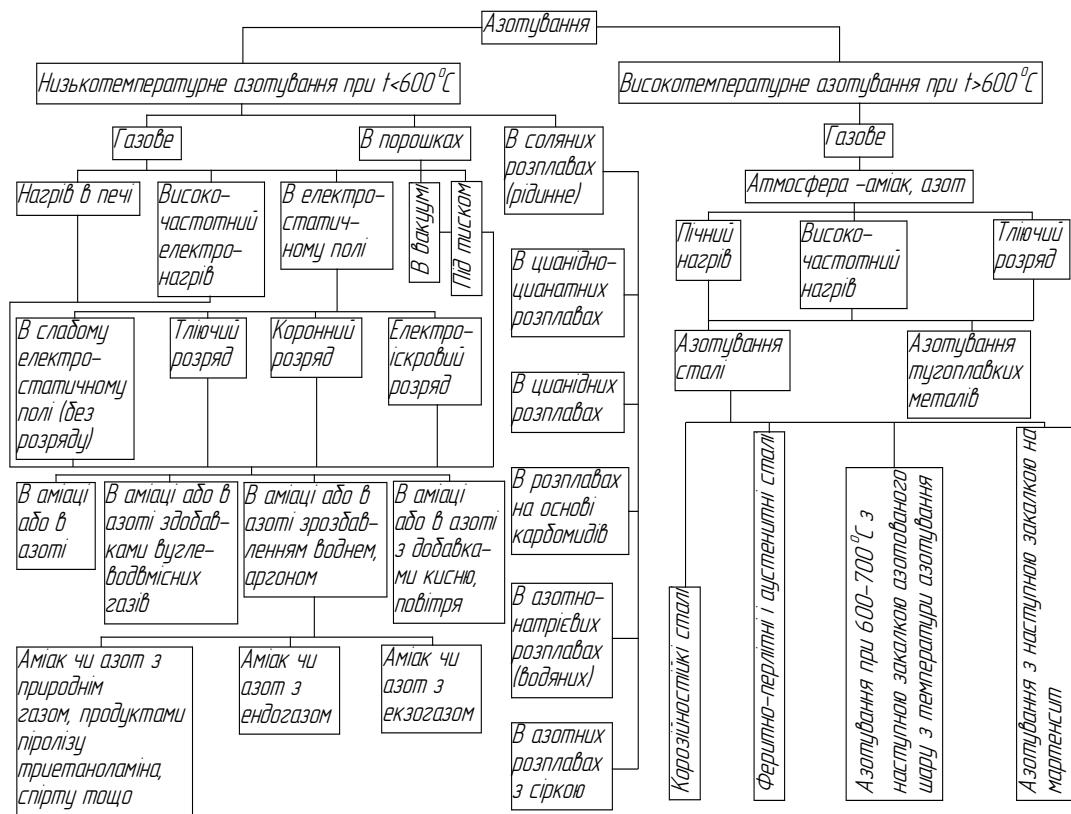


Рисунок 1.9 - Основні способи азотування

При низькотемпературному азотуванні (при температурі нижче евтектоїдного перетворення в даній системі) незалежно від того в якому середовищі проводиться обробка, відбувається переважне насичення сталі

азотом і в дифузійному шарі утворюються тільки азотисті фази (див.рис.1.9). Вуглець (кисень) впливає лише на формування на поверхні нітридної фази, яка в залежності від цього може бути карбонітридною або карбооксінітридною [25].

Не дивлячись на очевидність переваг азотування по відношенню до інших методів поверхневого зміцнення, застосовність його довгий час залишалася пріоритетом унікальних випадків машинобудівного виробництва: деталей літальних апаратів, морських суден, особливо прицевійних станків тощо. Більш широкому розповсюдженню методу заважала винятково висока трудомісткість ТП, неможливість «глибокого» поверхневого зміцнення, хрупкість поверхневих зон азотованого шару, різке погіршення шорсткості азотованої поверхні, спотворення геометричних розмірів деталей.

Проведений аналіз літературних даних і патентної документації дозволив класифікувати основні способи азотування по температурним режимам і складу поверхневого шару (рис. 1.9).

1.6 Плазмове азотування в імпульсному режимі

В працях Ю.М. Лахтина [26, 27, 30, 32], Чаттерджи-Фишера Р.[25], Я.Д. Когана [26, 27, 30, 31], Д.І. Котельникова [32], Каплуна В.Г. [33], Ляшенко Б.А. [34-37], Рудковського А.В. та ін. [34-37] показано, що одним із перспективних напрямків вирішення проблеми підвищення довговічності швидкозношуваних деталей, насамперед шестерень, являється плазмове азотування (ПА) поверхонь деталей в імпульсному режимі, яке розробляється на наукових принципах азотування. Головною особливістю плазми являється колективний характер всіх взаємодій і станів частинок, які її складають. Із досвіду газового азотування в аміаку відомо, що підвищення тиску сприяє посиленню дифузії азоту в поверхневий шар деталей [29]. В вакуумі дифузія азоту в металічну поверхню дуже незначна, якщо не застосовуються

додаткові технічні засоби, які підсилюють її.

Впродовж останніх років проводяться роботи по підвищенню продуктивності та зниженню енергоємності процесу ПА. Одним із перспективних методів досягнення поставленої мети являється використання ПА в імпульсному режимі. Так, в [27] обговорюється питання азотування в плазмі тліючого розряду. Заміна постійного струму при розряді пульсуючим призводить до підвищення якості обробки деталей і дозволяє отримати ряд технологічних переваг:

- знизити температуру азотування (в деяких випадках до 300°C), що дає можливість повністю уникнути короблення деталей;
- отримати азотований шар з поверхневою зоною нітридів або без неї (шар нітридів характеризується підвищеною щільністю, що виключає кінцеву доводочну МО деталей – шліфовку, поліровку);
- усувати локальні перегріви деталей.

Технологія азотування в тліючому розряді з успіхом почала використовуватися в 30-і роки [30, 36 - 38]. Під час другої світової війни майже всі документи по газовому азотуванню в тліючому розряді були знищені, а отримані в 30-і і 40-і роки результати частково втрачені. Завдяки створенню в 1957 році Спільною по розвитку досліджень тліючого розряду Кельнського науково-дослідного інституту було закладено новий фундамент технології ПА в тліючому розряді [38-48]. Отримані в цьому інституті результати і розроблені способи ПА, які отримали назву «іонітрування», знайшли промислове використання в цілому світі.

В літературі [49-54] розглянуто питання стосовно іонного азотування (ІА) та вуглеазотування деталей машин виготовлених з різних матеріалів (сталей, чавунів, порошкових матеріалів) на установках і по технологіям, розроблених фірмою Klockner Ionon GMBH. Описані типові уніфіковані установки фірми для проведення ІА різноманітних типорозмірів деталей. Показано можливість використання контролерів і мікропроцесорів для керування процесом. Розглянуто приклади ІА конкретних деталей: шнеків і

екструдерів термопластавтоматів, крупномодульних зубчастих коліс, тощо. Основні переваги ІА по відношенню до традиційних методів поверхневого зміцнення (гартуванням СВЧ, газовим і рідинним азотуванням) [49-54]:

- може виконуватись при низьких температурах; Це дозволяє використовувати його без розміцнювання серцевини виробу при проведенні процесу;

- рівномірність товщини утворюваного шару, збагаченого азотом.

В залежності від механізму утворення зарядоносіїв та умов на електродах розряди мають безліч різновидів. При зміні умов виникає взаємоперетворення одних форм розрядів в інші. На рис. 1.10 залежність форми газового розряду від щільності струму і напруги між електродами показана у вигляді статичної вольт-амперної характеристики [49-54].

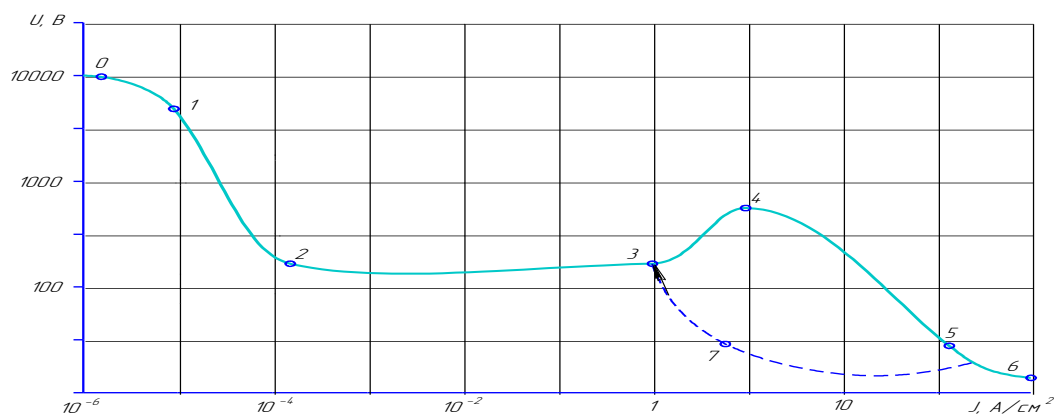


Рисунок 1.10 - Статична вольт-амперна характеристика газового розряду

Так, при щільності струму $j < 1$ мкА/см² зарядоносіїв мало і для підтримання каналу провідності необхідна дуже висока напруга U між електродами. Це відповідає області несамостійного розряду (ділянка 0-1). Якщо зменшити опір зовнішнього ланцюга розряду, то процес утворення зарядоносіїв буде розвиватися ефективніше. Це призведе до зниження розрядної напруги і встановлення нормального тліючого розряду (ділянка 2-3), для якого характерна сталість напруги в широкому діапазоні щільності струму. Подальше зменшення опору зовнішнього ланцюга та збільшення

щільності струму в каналі провідності визивають спочатку підвищення розрядної напруги і щільності струму (ділянка 3-4 відповідає аномальному тліючому розряду), а потім утворення електричної дуги, яка горить при напрузі в декілька десятків вольт. Утворення заряджених частинок в дузі лавиноподібно (ділянка 4-6). Такий хід розвитку розряду повторюється при кожному запалюванні електричної дуги. Якщо збільшувати опір зовнішнього ланцюга розряду і цим обмежувати щільність струму в каналі провідності, процес піде в зворотному напрямку з невеликим зміщенням (гістерезисом) від точки 5 до точки 7 і далі – по кривій 3-2-1-0.

Гістерезис викликаний тим, що на ділянці із щільністю струму $1-10 \text{ А/см}^2$ починає проявлятися пінч-ефект. Він полягає в тому, що власне магнітне поле струму починає стискати канал провідності, і тим сильніше, чим вище щільність струму. Канал стає тоншим, а кількість заряджених частинок в ньому зростає. При цьому зростає концентрація енергії, що і викликає перехід від механізму провідності газу по типу тліючого розряду до механізму провідності по типу електричної дуги. Тип, або форма розряду залежить від складу, кількості та умов утворення і зникнення часток, які переносять електричні заряди.

Використання плазмового нагріву тліючим розрядом і газорозрядної плазми пов'язано з різким підвищенням потужності установок по відношенню до потужності відомих раніше пристроїв для іонної очистки, обробки, радіотехнічних приладів тощо. Однак переходи тліючих розрядів в електричні дуги викликають згоряння, розплавлення і вихід з ладу оброблюваних плазмою виробів.

Вирішення проблеми дали дослідження [35-38, 49-54]. Виявилось, що незалежно від умов запалювання розвиток дугового розряду починається обов'язково з тліючого. Навіть самі короткочасні електричні дуги, які існують мільйонні долі секунди, розвиваються по траєкторії (див.рис. 1.10). Стійкий стан дифузної плазми (див.рис. 1.10, відрізок 2-3) може тривати від одної мільйонної долі секунди до декількох десятків і сотень секунд в

залежності від умов на катоді і в міжелектродному просторі. Дифузійне горіння тліючого розряду повинно забезпечуватись протягом багатьох годин при різних умовах, в тому числі і при плазмовій обробці різноманітних виробів, які знаходяться під від'ємним потенціалом і являються катодом.

Складність виготовлення швидкодіючих потужних дугогасників і стабілізованих джерел живлення призвело до використання тліючого розряду, який живився від випрямляча, коли плазма пульсує, оскільки випрямлена напруга, що подається на електроди, змінюється від нуля до максимуму кожен соту долю секунди.

На рис. 1.11 показано осцилограми зміни напруги джерела живлення $U_{д.ж}$ (штрихові ділянки), напруги на розрядному проміжку U_T , U_d (суцільні лінії) і розрядного струму I_T , I_d (штрих пунктирні ділянки). Їх легко отримати на екрані осцилографа, якщо підключити до електродів тліючого розряду відповідні датчики. Осцилограми показують, що струм між електродами протікає з переривами, тобто плазма тліючого розряду „працює„ менше однієї сотієї долі секунди. Вони ж підтверджують, що в будь-якому випадку розвиток плазми починається з пробою (див.рис. 1.11, точка 1). Потім виникає дифузна плазма тліючого розряду (ділянка 2-3).

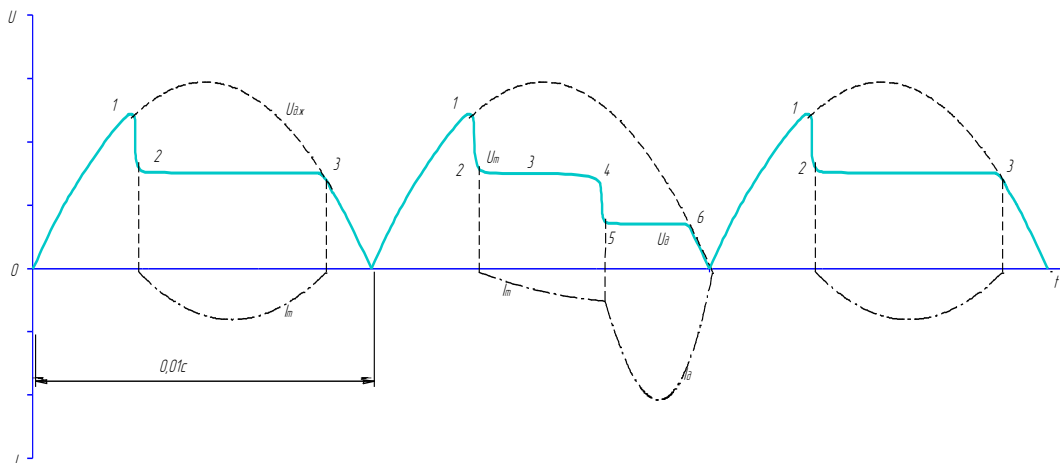


Рисунок 1.11 - Осцилограми зміни напруги, що подається від джерела живлення тліючого розряду, напруги на електродах і струму в розряді

При втраті стійкості тліючий розряд трансформується в дуговий (ділянка 4-6), що супроводжується зниженням розрядної напруги U_d і збільшенням розрядного струму I_d (середній півперіод). Потім напруга падає до нуля і розряд зникає. З початком нового півперіоду процес зародження, розвитку і розпаду газорозрядної плазми повторюється.

Сталь 45 піддавали азотуванню при 525°C, 4 і 8 годин. Застосовували як звичайне газове азотування в аміаку, так і азотування в тліючому розряді з пульсацією струму протягом процесу. Виявлені наступні переваги пульсуючої плазми: зниження споживання енергії;

- рівномірність товщини азотованого шару по контуру деталей, яка особливо наочно виявляється в отворах та інших важкодоступних для азотування місцях;

надійна гарантія відсутності збою тліючого розряду з виникненням дугового.

При пульсуючій плазмі порівняно з звичайним газовим азотуванням в аміаку отримали більшу товщину азотованого шару і підвищену твердість поверхні [55, 56]. На відміну від звичайного процесу ХТО в тліючому розряді електричний ланцюг розробленої установки має переривник постійної напруги. Це забезпечує переривчасте протікання струму через робочу розрядну камеру і відповідно переривчасте виникнення-припинення плазми і катоду (деталей). Процес виконується в умовах додаткового „зовнішнього„ підігріву деталей елементами опору. Приводяться характерні параметри процесу азотування (наприклад, для мартенситностаріючих сталей): температура близько 500°C; напруга 750 В; струм при розряді 30 А; тривалість розряду в елементарному циклі 70 мкс; тривалість паузи 800 мкс. Обробка в пульсуючій плазмі дозволяє [36, 52, 57, 58]:

- економити енергію;
- гарантувати відсутність переходу тліючого розряду в дуговий;
- забезпечити проникнення дифузанта до найбільш важкодоступних ділянок деталей (в отвори, щілини тощо);

- отримувати більш стабільні результати процесу.

В наробітках інших як вітчизняних так і зарубіжних фірм та підприємств [35-58] вказується на можливість ІА різноманітних деталей машин (розподільчих та колінчастих валів, клапанів, пружин тощо), різних сталей (вуглецевих, низько-, середньо- та високолегованих, мартенситностаріючих), різних видів чавунів а також титану та його сплавів.

В цілому процеси азотування відносяться до числа найбільш ефективних методів підвищення поверхневої твердості, міцності, зносостійкості і корозійної стійкості сталейних виробів в таких середовищах, як повітря, вода, пара, тощо. Твердість азотованого шару значно вище, ніж у цементованої сталі, і зберігається при нагріванні до високих температур (600-650°C), тоді як твердість цементованого шару зберігається до 200-225°C [55, 56].

Метод іонного (плазмового) азотування один із найбільш перспективних для зміцнення поверхневих шарів швидкозношуваних деталей машин. При цьому перевагу слід віддати способу ПА в імпульсному режимі, так як в цьому випадку гарантується:

- збереження в деталі властивостей і первинної структури матеріалу;
- можливість варіювання температурою процесу (350-660°C);
- отримання азотованого (γ' , ϵ , $\gamma'+\epsilon$) дифузійного шару;
- можливість впливати на механічні властивості;
- відсутність забруднення оточуючого середовища;
- отримання монофазного нітридного γ' -шару, що дає можливість отримувати в'язкий шар з'єднань, не дивлячись на його високу твердість;
- незалежний вибір температури азотування і пов'язані з цим можливості глибокого азотування.
- стабільність розмірів при відсутності короблення;
- невеликі зміни шорсткості поверхні; що скорочує витрати на додаткову обробку після азотування;

- прискорення процесу за рахунок імпульсної подачі напруги та струму [34].

В наш час плазмовому азотуванню підлягають деталі довжиною до 14 м і масою до 24 т.

Висновки за розділом. Постановка мети та задач досліджень

На підставі проведенного огляду літератури та патентно-інформаційних досліджень можна зробити слідуючі висновки:

- в зв'язку з тим, що промисловість недостатньо задовольняє потреби сільського господарства в запасних насосах, підвищення строку служби шестерень шестеренчастих насосів тракторних гідросистем актуальна задача, яка потребує наукового обґрунтування та практичного рішення;

- проведений аналіз умов експлуатації і способів зміцнення шестерень ГН дозволяє сформулювати основні вимоги до ТП підвищення зносостійкості їх поверхонь, що працюють в умовах абразивного, корозійного, кавітаційного зношування;

- ТП зміцнення поверхонь шестерень ГН повинен задовольняти наступним вимогам: володіти високою продуктивністю і низькою трудомісткістю; характеризуватися незначними втратами зміцнюючого матеріалу; мати незначний термічний вплив з метою зниження короблення деталей; отримувати поверхні деталей необхідної геометрії без використання подальшої МО;

- розробка нових ТП зміцнення шестерен з високою продуктивністю та забезпеченням якісних зносостійких покриттів і зміцнених поверхонь являється актуальною задачею для машинобудівної промисловості;

- проведений аналіз літературних даних і патентної документації дозволив класифікувати основні способи азотування по температурним режимам і складу поверхневого шару;

- одним із перспективних напрямків вирішення проблеми підвищення міцності шестерень, являється ПА їх поверхонь в імпульсному режимі, яке розробляється на наукових принципах азотування;

- ПА в імпульсному режимі має наступні переваги порівняно із звичайним газовим азотуванням: зниження споживання енергії; рівномірність і більша товщина азотованого шару, підвищена твердість поверхні.

В пропонуємій роботі ставилась мета підвищення міцності шестерень ГН ІПА. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі.

1. Визначити умови експлуатації шестерень ГН і основні види їх пошкоджень.

2. Провести аналіз існуючим методам підвищення міцності шестерень та вибрати оптимальний, дати його характеристику.

3. Дослідити вплив параметрів ІПА на властивості азотованих поверхонь та вибрати його оптимальні режими.

4. Дослідити властивості поверхонь шестерень, зміцнених ІПА.

5. Розробити ТП зміцнення шестерень ІПА на прикладі шестерні НШ-250-4 ГН НШ-250.

2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЗОТОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

2.1 Загальна методика досліджень

.....

Загальна методика досліджень полягала в наступному.

.... На першому етапі оцінювався вплив основних технологічних параметрів процесу ПА в імпульсному режимі на якість зміцнених поверхневих шарів деталей. При цьому досліджувались особливості утворення азотованого шару, уточнювалися параметри процесу: тиск, напруга та струм запалювання, напруга та струм дифузної аномальної плазми, склад робочої атмосфери, швидкість іонного очищення деталей, швидкість процесу азотування. Одночасно ставилась задача диференціювати ступінь впливу кожного із вказаних параметрів з метою виявлення найбільш ефективних шляхів керування якістю отримуваних шарів.

.... Другий етап досліджень полягав в аналізі технологічних особливостей процесу ПА в пульсуючому режимі і проводились дослідження по вибору оптимальної технологічної схеми зміцнення поверхневих шарів деталей.

.... В подальшому досліджувались кількісні характеристики поверхневих шарів, які були отримані методом ПА в пульсуючому режимі: твердість, товщина, структура, глибина азотованого шару. Проводилось вимірювання механічних властивостей зміцнених поверхонь:

.... - на розтяг з метою визначення таких характеристик міцності та пластичності матеріалу як межі міцності та текучості, відносного видовження та поперечного звуження;

- на згин для визначення жорсткості зразка;

.... - на ударний згин для оцінки ударної в'язкості (порогу холодноломкості) азотованого шару на основі механізму його руйнування;

... - на кручення для визначення модуля зсуву та межі текучості при зсуві і межі міцності при крученні азотованого шару;

- на втомлювальну міцність поверхні, що зміцнюється;

... На останньому етапі проводилась оцінка експлуатаційних властивостей зміцнених деталей, насамперед їх зносотійкість і корозійна стійкість.

... На прикладі щестерні НШ 250-4 ГН оцінювалася ефективність використання ПА в пульсуючому режимі для зміцнення поверхневих шарів, що піддаються зношуванню. Матеріалом деталі послужила сталь 18ХГТ (табл. 1.1).

2.2 Методики та методи дослідження фізико-механічних властивостей зміцнених поверхонь

2.2.1 Дослідження товщини, структури, твердості і глибини азотованого шару.

Візуальний контроль не дозволяє судити про товщину і структуру азотованого шару, він може надати інформацію про порушення процесу азотування. Різний колір деталей одної садки або навіть наявність плям на деталях дають підставу вважати, що в ході процесу було порушено технологію. Тому, як один з найпростіших методів контролю цей метод використовувався в ході досліджень [59].

Наявність тріщин досліджується методом магнітного порошку[59-61], який оснований на використанні магнітних полів розсіювання в районі тріщин. При досліджуванні деталей намагнічували, потім на досліджувану поверхню наносили суспензію тонкого порошку заліза в рідкій оливі. В полях розсіювання поверхневих дефектів частинки заліза, суспендовані в оливі, концентрувалися і розташовувалися так, що визначали тріщини (див.рис.2.1).

Найбільш надійну оцінку результатів азотування дають металографічні дослідження, які дають відомості про товщину та будову азотованого шару [62-65].

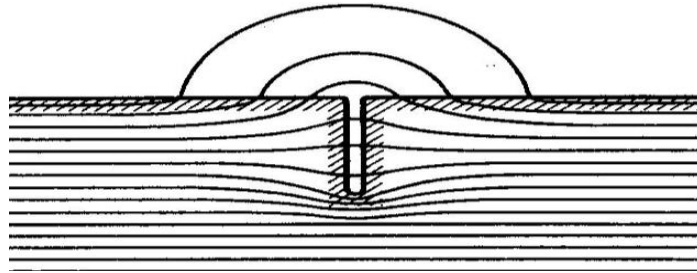
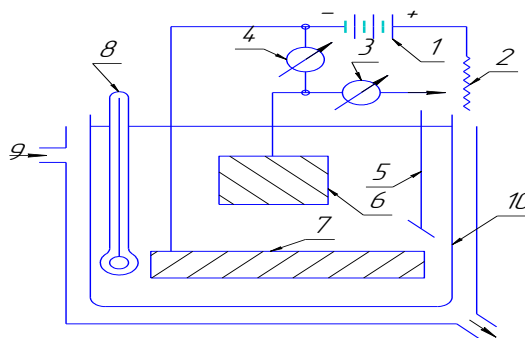


Рисунок 2.1 - Розсіювання магнітного потоку на дефекті поверхні

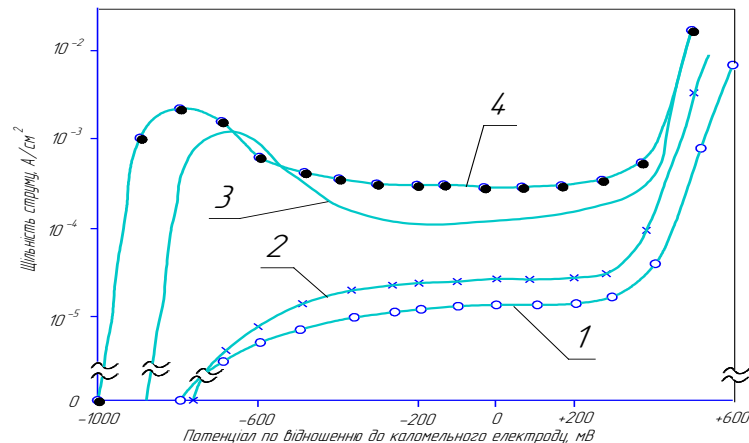
В досліджуваному місці на деталі відбирався зразок, який заливався в смолу, шліфувався, полірувався. Потім зразок травився відповідним реактивом. Перед шліфовкою зразок гальванічно покривався шаром міді товщиною 15-20 мкм, для отримання шліфу з прямою кромкою, без завалу. Підготовлені таким чином зразки оцінювалися при 100-500-кратному збільшенні на мікроскопі МИМ-8 [62-65].

Для хімічного травлення використовувались наступні реактиви: ніталь - 2-4%-вий спиртовий розчин азотної кислоти [62-65]. За допомогою цього реактиву оцінювалася товщина і якість дифузійного шару. Для оцінки фазового складу азотованого шару використовувалось електролітичне травлення в розчині їдкого натру на установці для електролітичного травлення (див.рис. 2.2) [62-65].



1 –джерело постійного струму; 2 –реостат; 3 –амперметр; 4 –вольтметр; 5 – мішалка; 6 –зразок (анод); 7 –катод; 8 –термометр; 9 –охолоджувальна вода; 10 –скляна посудина з електролітом Рисунок 2.2. - Принципова схема установки для електролітичного травлення

При електролітичному травленні в їдкому натрі нітридні фази (Fe_2N , Fe_4N) в шарі з'єднань зафарбовуються по-різному і стають помітні для зору. Розділення окремих фаз можливе тому, що кожна структурна складова має свою, що відрізняється від інших залежністю щільність струму – потенціал. На рис. 2.3 ця залежність показана для деяких нітридів заліза.



1 – α -залізо; 2 – γ' -нітрид; 3 – Fe_3C (екстрапольовані дані); 4 – ϵ -нітрид, що містить 1,18% С та 7,95% N Рисунок 2.3 - Криві щільність струму – потенціал для деяких структурних складових азотованих сталей:

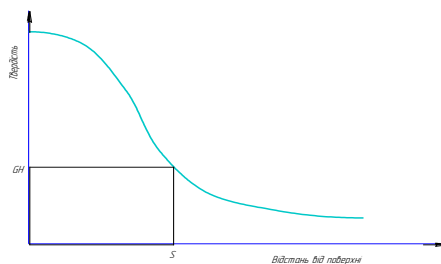
Твердість поверхні, що отримується при азотуванні, а також глибина азотованого шару являються критеріями оцінки експлуатаційної придатності азотованих деталей. Профіль розподілення твердості відповідає розподіленню азоту по глибині.

Для вимірювання твердості не потрібно виготовляти спеціальні шліфи, оскільки вони можуть бути виконані на шліфах, відібраних для контролю товщини і структури азотованого шару [66-68].

Вимірювання мікротвердості по Віккерсу проводилося на металографічних шліфах [68]. Цей метод розглядається відособлено, так як необхідні вимірювальні пристрої вбудовано в оптичний мікроскоп. Поєднання твердометра з оптичним мікроскопом дозволяє проводити вимірюванні мікротвердості з великим збільшенням. Тому можна цим методом вимірювати мікротвердість окремих структурних складових, таких як голки нітридних виділень, спеціальних нітридів, тощо. При використанні

великого збільшення мікроскопа відбитки від індентора можна поставити в потрібних місцях, гарно сформовані і легко виміряні.

Глибина азотованого шару визначається на підставі вимірювання твердості. [66-68]. Крім того, стандарт встановлює граничне значення твердості, необхідні для визначення глибини азотованого шару. Цей метод застосовується для деталей, незалежно від властивостей азотованого шару. Глибина азотованого шару визначалася як відстань від поверхні в нормальному до неї напрямку до точки, в якій мікротвердість відповідала встановленому граничному значенню. В нормальному перерізі азотованої деталі на різних відстанях від поверхні проводились вимірювання мікротвердості. По отриманим значенням будується крива залежності мікротвердості від відстані до поверхні (див.рис. 2.4.).



Риунокс 2.4 - Визначення товщини азотованого шару S по мікротвердості (GH –граничне значення мікротвердості)

2.2.2 Контроль і вимірювання механічних властивостей.

Для перевірки конструкційних властивостей азотованих деталей або зразків використовується обмежена кількість методів.

Метою досліджень на розтяг являється визначення таких характеристик міцності та пластичності матеріалу, як межа міцності, межа текучості, відносне видовження та поперечне звуження. Дослідження проводились на стандартних зразках, геометричні розміри яких забезпечують відтворюваність і порівнянність отриманих результатів [69-72].

Механічні характеристики визначалися по виміряним значенням сили, розрахункової довжини і поперечного перерізу. У азотованих зразків вплив

азотованого шару обмежено поверхневим шаром товщиною до 0,4 мм. Так як значення міцності основного матеріалу сильно залежать від отриманих результатів, дуже важко кількісно виділити долю зміни міцності, пов'язану з азотуванням. Тому дослідження міцності за допомогою досліджень на розтяг різним образом азотованих зразків із одної і тієї ж сталі не дають визначених результатів по відношенню підвищення або зниження міцності. Напроти, порівняння результатів досліджень на розтяг азотованих і не азотованих зразків із сталей з рівною міцністю показало цілком помітні зміни характеристик міцності. Азотування призводить до підвищення межі міцності і межі текучості при одночасному зниженні відносного видовження і звуження. Додатково покращується жорсткість, особливо на зразках тонких перерізів. Тому, щоб визначити вплив азотованого шару, який займає лише частину загального перерізу рівномірно навантаженого зразка, на властивості міцності, використовувалися зразки з відносно тонким перерізом, так як в цьому випадку менший вплив коливань міцності основного матеріалу.

Дослідження на згин проводилися по стандартній методиці [69-72]. Важливим використанням досліджень на згин являється визначення жорсткості зразка. Дослідження на згин проводилися на плоских зразках.

Дослідження на ударний згин з надрізом служать для оцінки якості на основі механізму руйнування матеріалу. При дослідженнях на ударний згин зразок, який лежав на двох симетрично розташованих опорах, руйнувався одним ударом бойка маятника. При цьому вимірювалася робота, яка була затрачена на руйнування зразка. Так як процес дослідження призводить до руйнування зразка, то дослідження проводилися на стандартних зразках, а не на деталях [69-72].

Затрачена на руйнування зразка робота являється мірою в'язкості досліджуваного матеріалу. Висока робота руйнування відповідає високій в'язкості досліджуваного матеріалу.

Створений при азотуванні шар дуже твердий і дуже крихкий. Розчинений в металі азот і виділені голкоподібні нітриди також підвищують

твердість сталі. Тому можна чекати, що в результаті азотування виникає окрихчування поверхневого шару деталі. Це припущення підтвердилося дослідженнями на ударний згин азотованих зразків. В результаті азотування крива температурної залежності ударної в'язкості (поріг холодноломкості) зсувається в сторону більш високих температур, тоді як значення ударної в'язкості, що відповідає температурам вище і нижче порогу холодноломкості, змінюються незначно.

Дослідження на кручення служать для отримання діаграми деформації при крученні і для визначення модуля зсуву і межі міцності при крученні. На відміну від випробувань на розтяг і згин при крученні маємо двоосний напружений стан [69-72]. При навантаженні крученням зовнішні волокна або зовнішній шар циліндричного зразка навантажуються в першу чергу. При перевищенні межі текучості при зсуві в зовнішньому шарі виникає пружно-пластичний напружений стан, тоді як в зовнішніх волокнах (шарах) зразка має місце чисто пружний стан. При правильному виборі моменту кручення та швидкості скручування, а також тривалості дослідження, які допускають тільки пластичну деформацію поверхневого шару, можна отримати інформацію про міцність при крученні азотованого шару. Отримані параметри міцності при крученні за допомогою співвідношень теорії пружності можуть бути перераховані в параметри статичної міцності матеріалу.

Циклічні випробування на круговий згин служать для визначення поведінки матеріалів чи деталей при тривалих або періодично повторюваних циклічних навантажень з середнім значенням навантаження, рівним нулю, і симетричним амплітудним значенням напружень стискання і розтягу. Головною метою випробувань являється визначення межі втомленості матеріалу [69, 72]. При дослідженнях на круговий згин циліндричні зразки, які обертаються навколо поздовжньої осі навантажуються з постійним моментом згину, в результаті чого матеріал зазнає синусоїдально змінного (з частотою обертання зразка) згинному напруженню.

Відомо, що в результаті насичення азотом поверхневого шару азотованих деталей в ньому виникають напруження стискання. Ці стискаючі напруження позитивно впливають на довговічність матеріалу при циклічному навантаженні [69, 72]. На кривих Велера це проявляється в тому, що для азотованих зразків криві зміщені вправо, до більших значень числа циклів, і вгору, до більш високих значень межі втомлюваності. Вплив основного матеріалу, геометрії зразка і параметрів азотування (часу і температури) на підвищення втомлювальної міцності дуже великий. В цілому з підвищенням температури і тривалості азотування, тобто із збільшенням глибини азотованого шару, втомлювальна міцність більш чи менш сильно зростає. Для отримання максимальної межі втомленості параметри азотування і міцність основи повинні суворо відповідати марці оброблюваного матеріалу.

2.3 Випробування на зносостійкість

Найважливішою метою азотування являється підвищення зносостійкості деталей.

При технологічних випробуваннях зносостійкості в якості основних характеристик, що вимірюються прийнято зменшення маси досліджуваного зразка при зношенні на одиницю шляху тертя або на одиницю часу [73-74]. Цей показник не дає інформації щодо фізичних процесів, що відбуваються. Однак процес зношування в значній мірі залежить від структури поверхні матеріалу, а також від її твердості. Сама по собі твердість не має суттєвого значення для зносостійкості, у всякому разі структуру поверхні враховувати необхідно.

Азотовані шари зазвичай мають дуже високу твердість. Однак для оцінки поведінки деталі в умовах зношування цього недостатньо. При розгляді необхідно враховувати характер контр тіла при зношуванні, вид

змащення, структуру і властивості матеріалу, характер очікуваного зношення.

Дослідження зносостійкості зміцнених поверхневих шарів проводяться в три етапи: лабораторні, стендові і натурні (експлуатаційні дослідження) [73-74]. Лабораторні дослідження проводились на машині Х4-Б. Були прийняті наступні умови: шлях тертя – 15 м, тиск в зоні контакту – 0,96 МПа. В якості еталону використовувалась сталь 45 загартована до твердості 480-500 НВ. Дослідження проводили на абразивній електрокорундовій шкурці зернистістю 120-160 мкм по методиці [73-74].

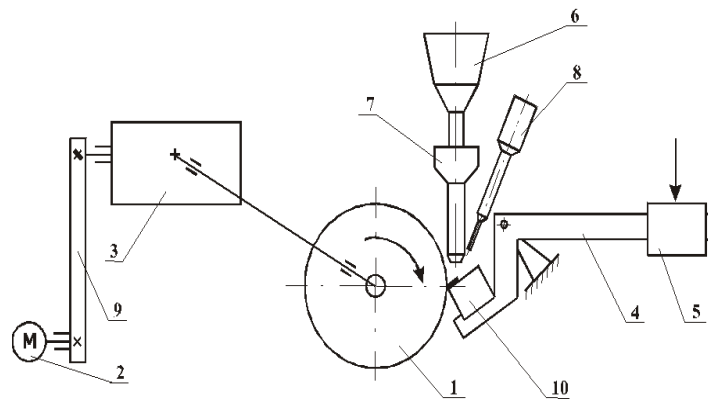
Аналіз умов експлуатації тертьових поверхонь більшості деталей машин дозволив використовувати для стендових досліджень установку по схемі зношування вільним абразивом (метод Брінеля). В установці частки абразиву, захоплювані диском який обертається, витирають лунку на кожній кромці зразка, який притискається з певним зусиллям до циліндричної поверхні диска (рис. 2.5) [73-74].

Диск (1) встановлений на горизонтальній вісі і приводиться в обертання від електродвигуна (2) через редуктор (3). Редуктор (3) з'єднаний з електродвигуном (2) при допомозі пасової передачі (9). Диск виготовлений із м'якої маловуглецевої сталі Ст. 3. Швидкість обертання диску ($0,37 \text{ сек}^{-1}$) вибиралась із умови усунення підвищеного нагрівання при терті. Зразок (10) кріпиться на площадці Г-подібного важеля (4) і притискається до диска (1) з зусиллям, яке створюється тягарем (5), який може переміщатися по важелю (4). Абразив певної зернистості поступає із бункера (6) в лійку (7), а звідти до поверхні тертя.

Для моделювання корозійних явищ, які проходять при окисленні оливи, в зону тертя додатково подавалась рідина з підвищеною хімічною активністю (водяний розчин соляної кислоти). Крім хімічної корозії подача рідини в зону тертя дозволила підсилити зношувальну дію абразивних часток [73-74]. подача рідини здійснювалась із посудини (8) ємністю 0,5 л. Через шланг з капілярним наконечником (рис.2.5). В якості абразива

використовувався кварцевий пісок з розміром зерен 0,1-0,2 мм. Навантаження на зразок складало 150 Н, час одного іспиту 300 с. Витрати абразиву – $15-17 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$. Тілом для зношування служив диск із сталі Ст. 3 діаметром 100 мм і товщиною 3,5 мм. Після кожного циклу іспитів провидилась заміна диска. В якості еталону була прийнята сталь 45 з твердістю 420-500 НВ. Для кожного зразка виконувались 3-кратні іспити.

Для всіх модельних систем спільним являється те, що зношування визначається через визначений час шляхом зважування. В результаті визначається швидкість зношування, яка є типовою для вибраної пари при заданих умовах.



1 –диск; 2 –електродвигун; 3 –редуктор; 4 –важіль; 5 –тягар; 6 –бункер; 7 –лійка; 8 –посудина; 9 –пасова передача; 10 –зразок

Рисунок 2.5 - Схема установки для стендових досліджень змцнених деталей:

2.4 Методика обробки результатів досліджень

Обробку експериментальних даних проводили відповідно до загальних принципів математичної статистики [75]:

вибіркове середнє

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

де x_i — результат i -го вимірювання; n — число вимірювань.

вибіркова дисперсія

$$S = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.2)$$

сумарна похибка

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{об}}^2} \quad (2.3)$$

де $\sigma_{\text{пр}}$ - похибка приладу; $\sigma_{\text{в}}$ - похибка відліку; $\sigma_{\text{об}}$ - похибка обчислень.

Систематична похибка не оцінювалась.

При $s > 3\sigma_{\Sigma}$ істотні лише випадкові помилки. Тоді можливо обрахувати полуширину інтервалу, задавшись коефіцієнтом довіри a

$$\Delta x = t_{a,n-1} \cdot s, \quad (2.4)$$

де $t_{a,n-1}$ — коефіцієнт Стюдента.

Відносна похибка вимірювання

$$\varepsilon = (\Delta x / \bar{x}) 100\%. \quad (2.5)$$

Довірительний інтервал

$$\mu = x \pm \Delta x. \quad (2.6)$$

Висновки за розділом

У другому розділі запропонована загальна методика досліджень, методи та методики досліджень фізико-механічних властивостей азотованих шарів та експлуатаційних характеристик зміцнених деталей.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Устаткування для проведення плазмового азотування в імпульсному режимі

Дослідження процесу імпульсного плазмового азотування в пульсуючому режимі для зміцнення шестерень ГН здійснювалося на спеціальній установці (див.рис. 3.1), розробленій в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України [76-78]. Установка включає в себе місткість вакуумну, підвіску, контролери закриття кришки та подачі води, блок вимірювання тиску та температури, блок контролю та регулювання, задатчик температури, блок живлення, клапани напуску атмосферного повітря та азоту, попередньої та вакуумної відкачки, балон з азотом та повітряний фільтр із повітрезабірником (див.рис. 3.1-3.3).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд установки для ПНА

Контроль електричних параметрів (напруга, струм) здійснювався по спеціально відтарованому вольтметру типу Э 365-1 та спеціально відтарованому амперметру типу Э 8021 з трансформатором струму ТТ, які встановлені в первинному колі установки на пульті керування. Оцінка величини електричного струму та напруги у вторинному колі здійснювався по спеціально відтарованому вольтметру типу М 4200/0÷600В та спеціально

відтарованому амперметру типу М 4200/0÷75мА з шунтом ШВ-1/0÷30А, які розміщено на пульті керування.

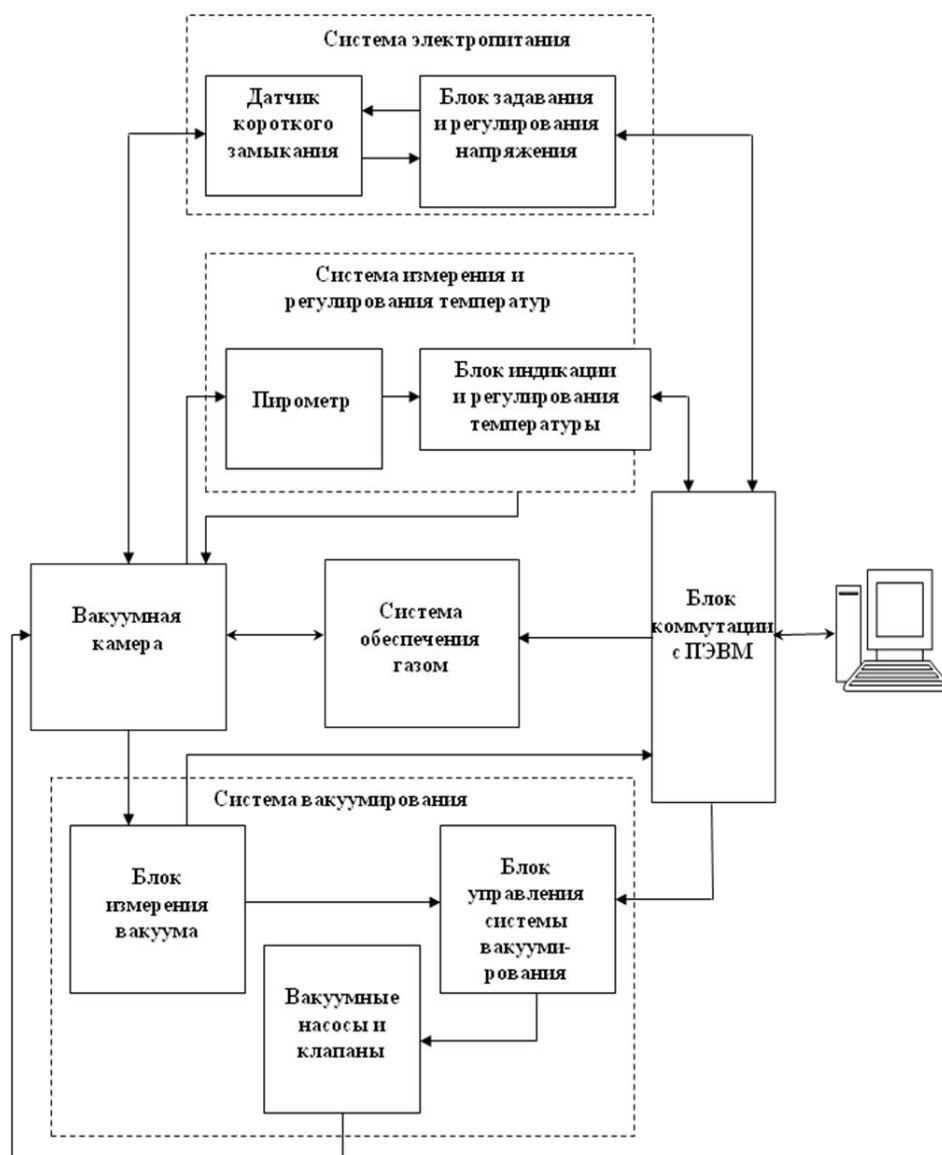


Рисунок 3.2 - Структурная схема установки ИПА

Оцінка величини тиску в камері для азотування здійснювалася за допомогою спеціально відтарованого іонізаційно-термопарного вакуумметра типу ВИТ-2 та мілівольтметра ШЗ1315.

Температуру в процесі ІПА вимірювали та контролювали за допомогою хромель-копелевого перетворювача манометричного термопарного типу ПМТ-2. Його показники реєструвалися цифровим мілівольтметром типу ШЗ1315.

Для проведення процесу ІПА і створення необхідної для процесу азотовмісної атмосфери застосовувалися стандартні газові балони для азоту. Для проведення деяких дослідів також мали застосування стандартні газові балони для аргону та пропан-бутану. Всі виробничі гази повинні мати високу ступінь очистки та бути висушеними.

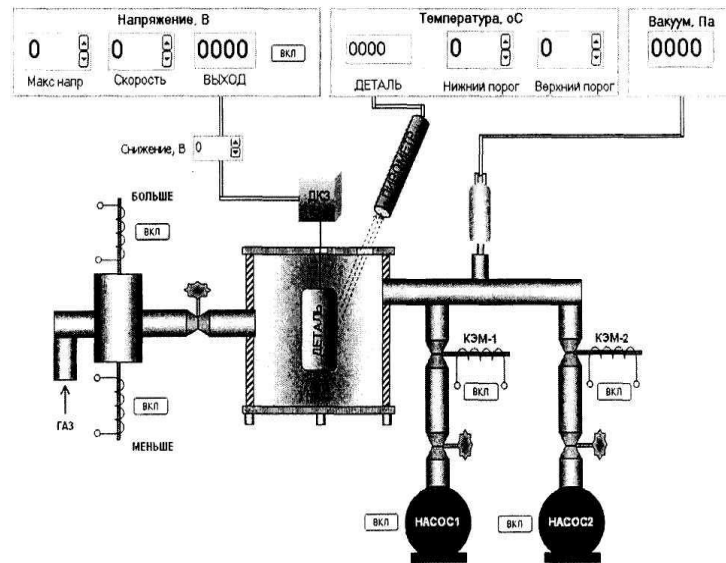


Рисунок 3.3 - Автоматизированная система контроля и управления ТП ІПА

Параметри установки для дослідження процесу ІПА в пульсуючому режимі для зміцнення поверхневих шарів шестерень наступні:

1.	Потужність номінальна, кВт	25
2.	Первинна напруга, В	220
3.	Напруга тліючого розряду, В	50...1200
4.	Номінальна сила струму розряду, А	30
5.	Тривалість імпульсу, мкс	20
6.	Період імпульсу, мкс	0...200
7.	Скважність імпульсу	0...10
8.	Об'єм робочої камери, м ³	0,36
9.	Максимальна маса оброблюваних деталей, кг	2000
10.	Робочий тиск газів, Па	10...1000
11.	Кількість камер азотування, шт	1
12.	Розміри робочого простору, мм:	
	Діаметр	600
	Висота	1250
13.	Габаритні розміри, мм:	
	Діаметр	700
	Висота	1475

3.2 Принципова схема установки

Установка для іонно-вакуумного азотування (див.рис. 3.4.) в імпульсному режимі складається з вакуумної місткості 1 де за допомогою спеціальної підвіски 2 підвішуються оброблювані деталі 3, на які подається від'ємний потенціал. Закриття кришки вакуумної місткості 1 контролюється датчиком контролю закриття кришки 4. В систему охолодження вмонтовано датчик контролю наявності води 10. При відсутності води в охолоджувальній системі чи не закритті кришки вакуумної місткості подається блокувальний сигнал на блок живлення 9 і струм розряду до вакуумної місткості не подається.

Вимірювання температури і тиску всередині вакуумної місткості відбувається за допомогою хромель-копелевого перетворювача манометричного термопарного типу ПМТ-2 (6) і спеціально відтарованого іонізаційно-термопарного вакуумметра типу ВІТ-2 (5) відповідно. Результати вимірювання подаються до блоку контролю і регулювання 7, звідки оброблений сигнал направляється до блоку живлення 9, задатчик температури 8 і клапан напуску азоту 15. Завдяки скерованому сигналу задатчика температури виконується регулювання робочої напруги блоку живлення, а отже відбувається керування температурним полем процесу азотування.

Відкачка атмосфери з вакуумної місткості відбувається за рахунок форвакуумного насосу 14 через клапан попередньої відкачки 12 та клапан вакуумної відкачки 13. Клапан попередньої відкачки слугує для запобігання виходу з ладу форвакуумного насосу та попереднього відкачування атмосфери з вакуумної місткості до тиску 10...15 мм. рт. ст. По досягненню визначеного тиску відкривається клапан вакуумної відкачки.

Для створення потрібної робочої атмосфери до вакуумної місткості подається робочий газ (азот) із балону 16. кількість газу регулюється клапаном напуску азоту 15.

Після закінчення процесу азотування і охолодження садки в вакуумну місткість через повітрязабірник 18, повітряний фільтр 17 та клапан напуску атмосфери 11 подається атмосферне повітря до досягнення нормального атмосферного тиску. Після чого відбувається відкриття вакуумної місткості та добуваються оброблені деталі.

3.2.1 Електрична схема установки

При ввімкненні автомату АВ1 напруга живлення мережі 380 В через фази А, В, С подається в електричну схему (див.рис. 3.5). При цьому, для включення двигуна форвакуумного насосу М через пускач ПМ6 потрібно натиснути кнопку „Пуск”, пускач ПМ6 вмикається і своїм контактом блокує кнопку „Пуск”. Також необхідно, щоб пускач ПМ1 був вимкнений (керування клапаном напуску атмосфери (контакти ПМ1 дозволяють ввімкнути пускач вмикання форвакуумного насосу)).

Після ввімкнення двигуна форвакуумного насосу вмикається кнопка „Пуск” ПМ3 – керування клапаном попередньої відкачки. Своїми нормально розімкнутими контактами ПМ3 подає живлення на клапан попередньої відкачки КЛ3 – виконується попередня відкачка вакуумної місткості.

По досягненню заданого тиску (10...15 мм. рт. ст.) вмикається керування клапаном вакуумної відкачки ПМ2, яке подає живлення на клапан вакуумної відкачки КЛ2. При ввімкненні магнітних пускачів ПМ2 і ПМ3 також вмикається світлова сигналізація, яка інформує про стан клапанів (ввімкнено/вимкнено). Після вакуумування камери до $1 \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст. кнопкою „Пуск” вмикається керування клапаном напуску азоту ПМ4, яке своїми контактами ПМ4 вмикає клапан напуску азоту КЛ4. Стан ввімкнено/вимкнено контролюється світловою сигналізацією D11, D12.

Після напуску азоту в вакуумну камеру до тиску 100...500 Па вмикається кнопка „Пуск” ПМ5 керування блоком живлення, при цьому кінцевий вимикач контролю води ВКЛ1 і кінцевий вимикач контролю

закриття кришки вакуумної місткості повинні бути натиснуті, тим самим подаючи живлення на відповідні пускачі ПМ7 і ПМ8. Нормально розімкнуті контакти магнітних пускачів ПМ7 і ПМ8 замикаючись при цьому (наявність води, кришка закрита) забезпечують дозвіл подачі живлення на магнітний пускач ПМ5 керування блоком живлення.

Відповідна ввімкненню світлова сигналізація інформує про стан відповідних пускачів ПМ7 і ПМ8. Вмикаючи пускачем ПМ9 блок контролю і регулювання, подається живлення на блок контролю і регулювання, вимірювачі тиску і температури, датчик температури.

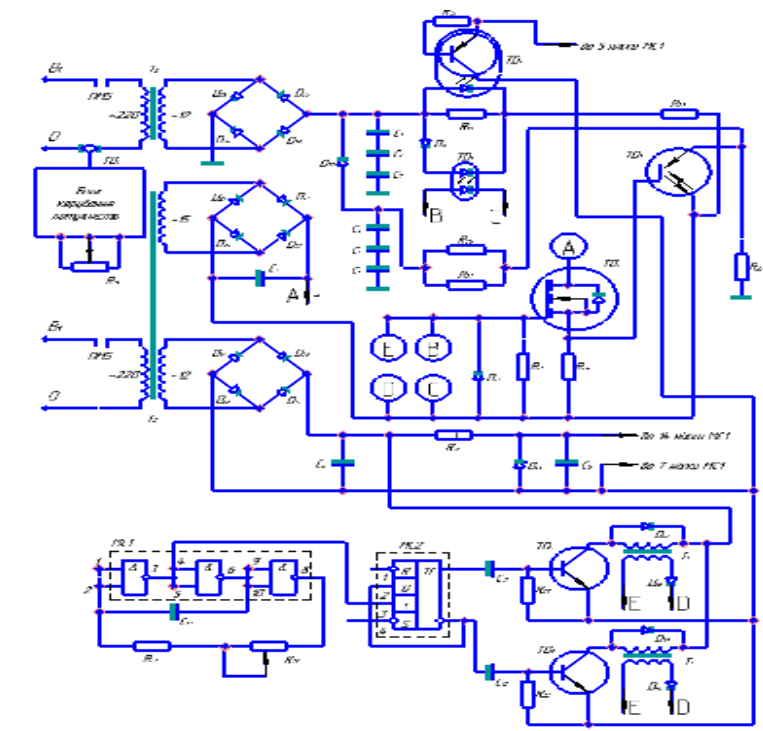


Рисунок 3.5 - Електрична схема установки для ППА

Розглянемо принцип роботи блоку живлення з ключем. При подачі живлення фази B_1 через магнітний пускач ПМ5 напруга поступає на трансформатор Т2, де напруга мережі 220 В трансформується в робочу напругу 0...500 В, яка задається блоком керування потужністю. Випрямлена напруга через діоди D23...D26 поступає на згладжуючі конденсатори C1...C6, через шунтуючий резистор R19 і струмообмежувальний резистор R22 поступає на ключ TD2, який комутує напругу живлення (перетворює

постійну напругу в імпульсну). На ключ TD2 під'єднано навантаження R23 (деталі, що азотуються в вакуумній камері).

Для задачі імпульсів заданої частоти і періоду в схемі використано мультівібратор на мікросхемі MC1. З виходу 4 MC1 імпульси подаються на тригер MC2, який забезпечує на своїх виходах скважність імпульсів рівною двом. З виходу тригера MC2 імпульси подаються на підсилювачі, що сформовано на транзисторах TD5 і TD6 в колекторах яких стоять навантаження – імпульсні трансформатори. Виходи імпульсних трансформаторів ввімкнено на вхід ключа TD3, який подає напругу керування на затвор потужного ключа TD2. При цьому, якщо в навантаженні виникає коротке замикання, падіння напруги на резисторі R19 прикладається до оптотранзистора TD7, який подає потенціал керування на ніжку 5 MC1.

Таким чином MC1 перестає генерувати імпульси, тим самим ключі TD3 і TD2 не видають в навантаження імпульсну напругу. Одночасно з виникненням короткого замикання падіння напруги на R19 прикладається до оптопари TD1, вихід якої шунтує затвор керуючого ключа TD3. В схемі також мається можливість забезпечення вмикання малих струмів через резистори R20, R21. Трансформатор T3 призначений для живлення ключа TD3, а також схем MC1, MC2.

3.3 Контрольне пристосування для контролю похибки направлення зубів шестерні

Контрольні пристосування використовують для перевірки заготовок, деталей та вузлів машин. Пристосування для перевірки деталей використовують на проміжних етапах обробки (міжопераційний контроль) і для заключного приймання, виявляючи точність розмірів, взаємного положення поверхонь і вірність їх геометричної форми [79, 80]. Контрольні пристосування збільшують продуктивність праці контролерів, покращують умови їх роботи, збільшують якість і об'єктивність контролю. Контрольні

пристосування ділять на пасивні та активні [79, 80]. Пасивні використовують після операцій обробки. Активні встановлюють на верстатах, вони контролюють деталі в процесі обробки, подаючи сигнал на органи верстата або робітнику на перерву в обробці або зміну умов її виконання при виникненні браку [79, 80].

Розглянемо контрольне пристосування, яке використовується для контролю похибки направлення зубів шестерні. Креслення контрольного пристосування представлено на рисунку 3.6, а,б.

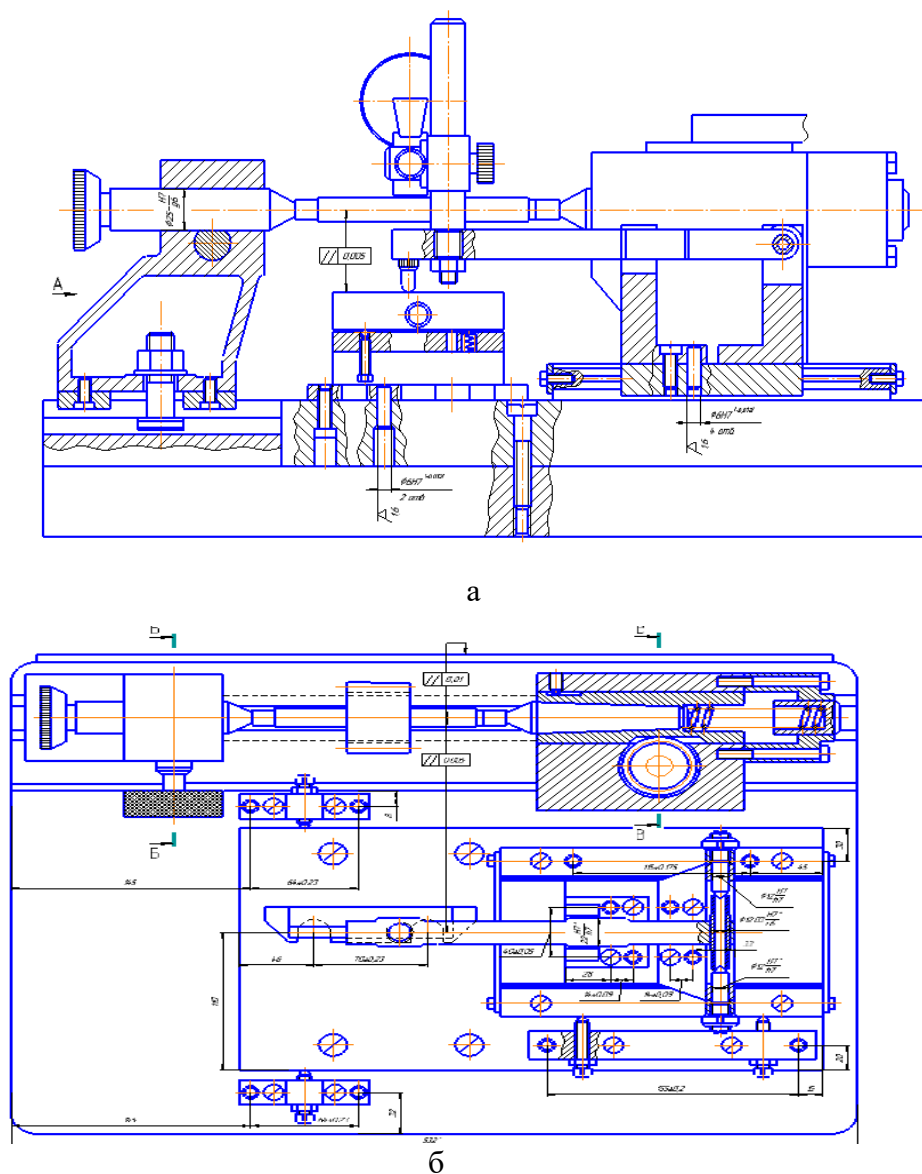


Рисунок 3.5 - Контрольне пристосування для контролю похибки направлення зубів шестерні

Принцип роботи пристосування полягає в наступному: перед початком виконання контролю шестерні вимірювальний прилад (індикатор) необхідно встановити на "0". Це досягається шляхом установки індикатора за допомогою еталонного зразка, який встановлюється на місце контрольованої деталі (див.рис. 3.6,а).

Деталь встановлюється між центрами правої та лівої бабки за допомогою рукоятки на правій бабці, яка втягує центр в середину. Індикатор кріпиться на стійці, яка встановлюється на індикаторну лапу. Індикаторна лапа з'єднана з рухомою плитою (рис.3.5,б). Рухомість плити відбувається за допомогою призми та шариків, які розміщуються між призмами. Після того як провели всі необхідні установки, переміщуємо рухому плиту вручну і при цьому спостерігаємо відхилення індикатора від нульової позначки, цим самим контролюємо похибку направлення зуба шестерні.

Висновки по розділу

В розділі представлена характеристика і принцип роботи спеціальної установки для дослідження процесу іонно-вакуумного азотування в пульсуючому режимі для зміцнення шестерень ГН та розроблено контрольне пристосування для контролю похибки направлення зубів шестерні.

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

На основі теорії термоциклічної втоми і явища аномального масо переносу при імпульсному впливі в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України розроблено технологію ІПА в тліючому розряді при циклічному зміні температури за рахунок періодичної подачі напруги розряду [81]. Створення поля циклічних термічних напружень на поверхні оброблюваної деталі забезпечує прискорення дифузії. Форма електричного циклу подачі енергії забезпечує створення термічних напружень, які максимально прискорюють дифузійні процеси. Технологія має такі переваги [34-36, 81]:

- використовується нагрів тільки поверхневого шару деталі без прогріву її серцевини. Нагрівання відбувається за рахунок енергії тліючого розряду, тому немає необхідності використовувати печі;
- циклічні нагріви та охолодження деталі створюють термічні напруги в поверхневому шарі, що в 2-3 рази прискорює дифузійні процеси і відповідно скорочується час обробки;
- форма і розміри деталі і чистота її поверхні залишаються без змін, тому не потрібна фінішна МО;
- скорочення тривалості обробки, циклічний характер швидкісного дискретного енерговводу і нагрів тільки поверхневого шару скорочують витрати електроенергії до 10 разів.

Технологія іонно-плазмового термоциклічного азотування (ІПТА) захищена патентами України [57, 56] і не має аналогів у вітчизняній та світовій практиці. Попередні промислові випробування підтвердили можливість заміни газової азотації і цементації на ІПТА в суміші азоту та аргону. Для формування дифузійних шарів використовувалася розроблена в Інституті проблем міцності НАН України універсальна установка «ВІПА-1» (рис. 4.1.). Технологічне обладнання виконано в класичному для ІПА

двохкамерному варіанті (див.рис. 4.1). Розміри деталей, що обробляють, до \varnothing 500 при висоті до 1400 мм.



Рисунок 4.1 - Універсальна установка «ВІПА-1»

Технологічні параметри формування зміцнених шарів: температура термоцикування - 550 ± 30 °C, тиск - 25-150 Па, час обробки - 10 годин, співвідношення реакційних газів – 80% Ar + 20% N₂.

Для порівняльної оцінки зразків, оброблених термоциклічних режимом, були використані зразки, оброблені ізотермічним способом (постійна температура 550 °C). В якості основи використовували зразки зі сталі 40X13 розміром 30x30 мм і товщиною 10 мм (див.рис. 4.2). Зміцнення поверхонь зразків відбувалося рівномірно по всьому периметру, що повинно забезпечувати рівномірну товщину дифузійного шару.



Рисунок 4.2 - Зразок у камері установки

У відповідності теорії аномального масопереносу головним чинником

являється швидкість деформування деталі і її поверхневого шару при виникненні термічних напружень. Цей чинник залежить від форми термічного циклу – величина розмаху термічних напружень, швидкості нагріву, рівня максимальної і мінімальної температури циклу, а також від тривалості витримки при максимальній температурі циклу [34-36, 81].

Швидкість деформування під дією термічних напружень може бути збільшена за рахунок зміни швидкості нагріву в термічному циклі. Дискретний енерговвод багаторазово підвищує швидкість нагріву. Він реалізується подачею в тліючий розряд імпульсної напруги. Цим усувається також небезпека виникнення дугового розряду. Для досягнення максимально можливих швидкостей нагріву необхідно вести обробку на межі переходу тліючого розряду в дуговий [34-36, 81].

Шляхом вибору величини розмаху термічних напружень, які не призводять до термовтомного пошкодження деталі, встановлюється глибина прогріву, сумірна з глибиною зони дифузійного насичення. Одна з головних вимог – не досягти межі текучості під дією термічних напружень, щоб уникнути пластичних деформацій та порушення форми. Якщо півцикл нагріву керується за допомогою напруги тліючого розряду, то півцикл охолодження – некерований, відбувається радіаційно та, частково, конвективно [34-36, 81].

В світовій практиці іонного азотування (ІА) використовують аміак. Екологічна перевага нової технології полягає у відмові від використання аміаку. Обробка відбувається тліючим розрядом у суміші аргону з азотом. Цим також усувається негативний вплив водню на серцевину деталі – водневе окрихчення та воднева корозія. Переваги нової технології [34-36, 81]:

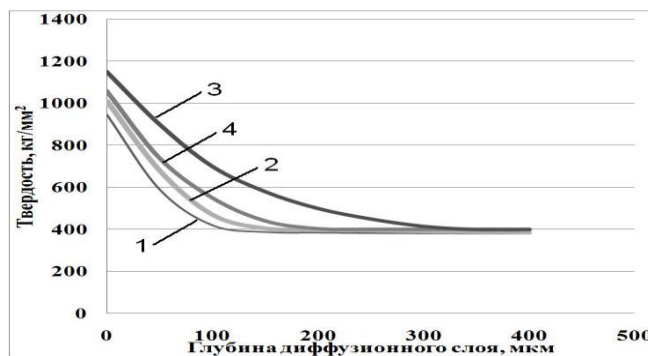
- пришвидшення процесу азотування в 3 рази, що підвищує продуктивність технологічного обладнання;
- підвищення твердості поверхні на 20% при відсутності деформаційних поводок, зміни форми, розмірів та чистоти поверхні. Це –

фінішна операція;

– зниження в 10 разів електровитрат за рахунок скорочення тривалості обробки, за рахунок відсутності пічних пристроїв та наскрізного прогріву деталі, а також за рахунок пауз в електроживленні в півциклі охолодження деталі.

Нову технологію слід розглядати як альтернативу класичній цементації з наступним гартуванням. Слід підкреслити, що американський стандарт ASTM A 706 обмежує і забороняє гартування з відпуском і фінішною механічною обробкою через технічні складності і підвищення вартості. Нова технологія не потребує фінішної МО [34-36, 81].

На рис. 4.3 приведені залежності мікротвердості по глибині деталі.



1 – ізотермічний режим;

2 – цикл $\pm 20^{\circ}\text{C}$; 3 – цикл $\pm 50^{\circ}\text{C}$; 4 – цикл $\pm 100^{\circ}\text{C}$

Рис. 4.3 - Залежність мікротвердості по глибині деталі

Термоциклічне іонне азотування (ТЦІА) найбільш ефективно для зміцнення високоточних деталей складної форми – зубчастих коліс (див. рис. 4.4), деталей типу вал-шестерня, екструдерів та ін. [28, 34-36].



Рисунок 4.4 – Процес ІПА зубчастих коліс, шестерень

Зміцненню новою технологією підлягають сталі, чавуни, титанові сплави. Перспективна нова технологія для зміцнення тугоплавких металів – ніобію, молібдену [81].

4.1 Дослідження процесу отримання азотованого шару в імпульсній плазмі та його особливості

Використання електричних полів при умовах, що забезпечують виникнення газових розрядів (тілючої аномальної плазми), супроводжується утворенням позитивних іонів насичуючих газів, енергія яких при бомбардуванні оброблюваної поверхні може бути достатня для нагріву деталей до заданої температури ХТО. В цих умовах азотування деталі повинні мати від'ємний потенціал, тобто повинні бути катодом.

Азотування в тілючому розряді проходить в 1,5-2,0 рази інтенсивніше в порівнянні з ХТО при радіаційному, пічному нагріві. Так, азотований шар товщиною 0,55 мм при 550°C на сталі 18ХГТ утворюється при ІПА за 14 годин, а при пічному газовому – за 30-35 годин [54, 56]. При цьому досягається значне в 3-5 раз скорочення загального часу технологічного циклу за рахунок зменшення часу нагріву і охолодження.

При іонному бомбардуванні позитивними іонами азоту досягається ідеальна де пасивація поверхні за рахунок видалення оксидних плівок, і в поверхневому шарі металу товщиною 0,05 мм зростає щільність дислокацій.

Підвищення щільності дислокацій збільшує провідну властивість дифузійної зони, призводячи до росту долі об'ємної дифузії. На відміну від пічного азотування при ІПА роль граничної дифузії зменшується. На початкових стадіях процесу значна частина азоту дифундує не по границям, а по об'єму феритних зерен, переважно по дислокаційним каналам. При цьому не виникає укрупнення приграничних карбідів, і значно пригнічується утворення карбонітридної сітки по границям первинних аустенітних зерен

[38]. Відмічені особливості механізму формування шару при ІПА реалізуються в кінетиці процесу.

Азотування в тліючому імпульсному розряді значно інтенсифікується при короткочасних витримках від декількох хвилин до 15-20 годин, так як іонне бомбардування діє тільки на процеси адсорбції і дифузії в поверхневій зоні товщиною не більше 0,05 мм. Із збільшенням тривалості процесу (більше 15-20 годин) перевага в швидкості формування шару в ІПА по відношенню до пічного зменшується.

При ІПА високий градієнт концентрації, яка являється рушійною силою процесу, встановлюється в перші хвилини насичення. При пічному азотуванні концентрація азоту плавно підвищується і досягає максимуму тільки через 30 хвилин з початку процесу [43]. Створення при ІПА граничного градієнту концентрації на різних стадіях насичення (до 20 хвилин), активація поверхні і ескалація дефектів в поверхневій зоні супроводжуються інтенсивним поглинанням азоту і завершенням формування шару по твердості протягом перших 5 хвилин процесу (рис. 4.5).

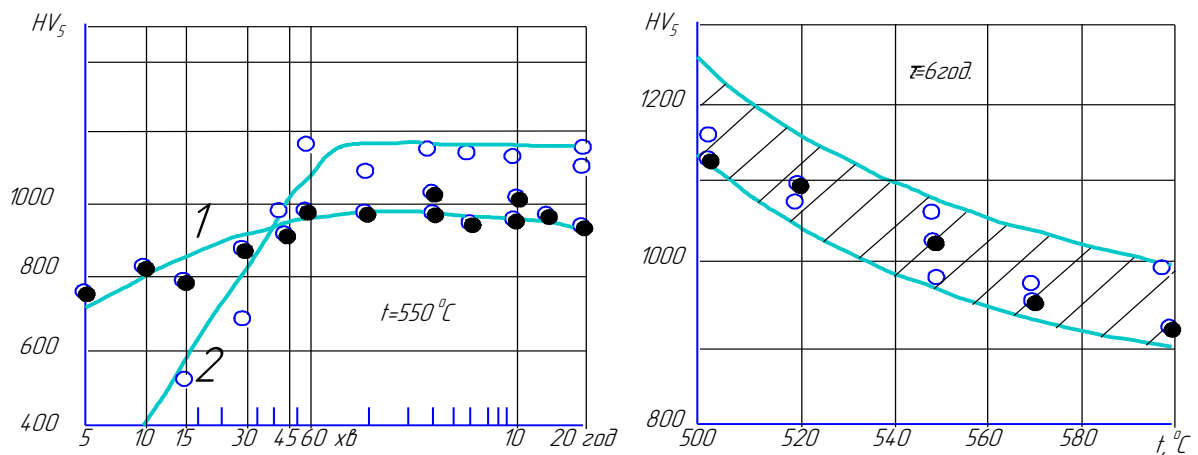


Рисунок 4.5 - Вплив температури і тривалості ІПА на твердість сталі 18ХГТ [54, 56]

Товщина і будова дифузійного шару залежать від температури, тривалості процесу, розрідження і складу азотовмісної атмосфери [54, 56].

Таким чином, для протікання любого процесу необхідно, щоб зміна ізобарно-термічного потенціалу була менше нуля: $\Delta G_T < 0$.

Для складних термодинамічних систем, якими являються і процеси азотування в електричному полі, необхідно враховувати і роботу поля над системою (ΔL), Умову протікання процесу можна записати у вигляді $\Delta G_T + \Delta L < 0$, де ΔG_T через рівноважний потенціал атмосфери пов'язано рівнянням (4.1)

$$\Delta G_T = \Delta G_T^0 + RT \ln \pi_N, \quad (4.1)$$

а ΔL визначається параметрами електричного розряду (поля) по струму, напрузі, тиску, швидкості відкачки насичуючого газу і температурі (3.2):

$$\Delta L = \frac{UI}{S_p p} RT, \quad (4.2)$$

де U – напруга; I – струм; S_p – швидкість відкачки; p – тиск в камері;
 T – температура.

Тоді активність або насичуючий потенціал атмосфери в умовах впливу електричного поля (A_K) може бути визначений за рівнянням (4.3):

$$A_K = \pi_N - a_N \pi_O \exp \frac{\Delta L}{RT} \quad (4.3)$$

або

$$A_K = \pi_N - a_N \pi_O \exp \frac{UI}{S_p p}, \quad (4.4)$$

де π_N – потенціал атмосфери за відсутності розряду, а друга частина рівняння враховує зміну потенціалу під дією поля. Так як обидві частини рівняння залежать від одних і тих самих технологічних параметрів (p , T , складу атмосфери), при збільшенні цих параметрів різниця (тобто потенціал насичуючої атмосфери A_K) буде описуватись екстремальною залежністю [34]. Зокрема, залежно від тиску зміна A_K описується кривими в максимум, причому зі збільшенням температури цей максимум зміщується в область більших тисків (див. рис. 4.6).

Ці розрахунки підтверджуються експериментально. Зокрема, при азотуванні в імпульсному тліючому розряді встановлена екстремальна залежність росту дифузійного шару від тиску (див.рис. 4.7). Причому з підвищенням температури оптимальний тиск зміщається в область більших тисків від 133 Па при 500°C до 931 Па при 690°C [41].

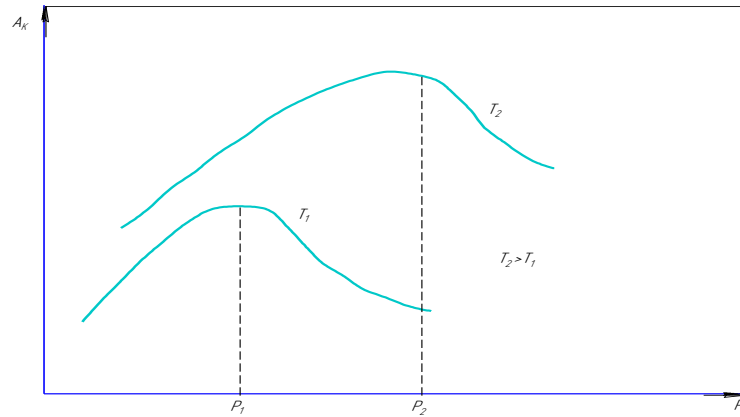


Рисунок 4.6 - Термодинамічна оцінка впливу параметрів розряду на активність насичуючої атмосфери [45]

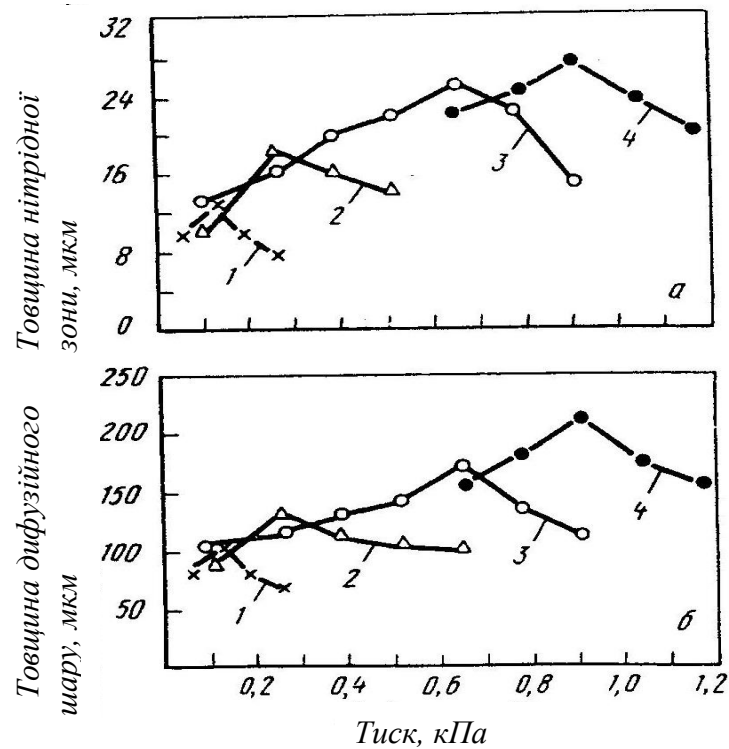


Рисунок 4.7 - Вплив тиску і температури [41] при азотуванні в тліючому пульсуючому розряді на товщину шару (час - 2 години, атмосфера –азот): 1 -500°C; 2 - 560°C; 3 -630°C; 4 -690°C

Слід відмітити, що при пониженні тиску на деталях складної конфігурації може виникати екранування деяких ділянок поверхні, що супроводжується зменшенням товщини і твердості азотованого шару на цих ділянках. Для таких деталей процес рекомендується проводити при параметрах, які б забезпечили отримання рівномірного дифузійного шару по периметру виробу, наприклад, при 530°C для атмосфери $25\%\text{N}_2$ і $75\%\text{H}_2$ рекомендований інтервал робочого тиску складає 430-800 Па, для атмосфери $75\%\text{N}_2$ і $25\%\text{H}_2$ -400-665 Па [42].

Залежність товщини азотованого шару від тривалості і температури процесу (до 600°C) при ІПА та газовому азотуванні підкоряється одним і тим же законам, хоча в імпульсному тліючому розряді насичення проходить в 1,5-2 рази інтенсивніше (рис. 4.8) [43, 44].

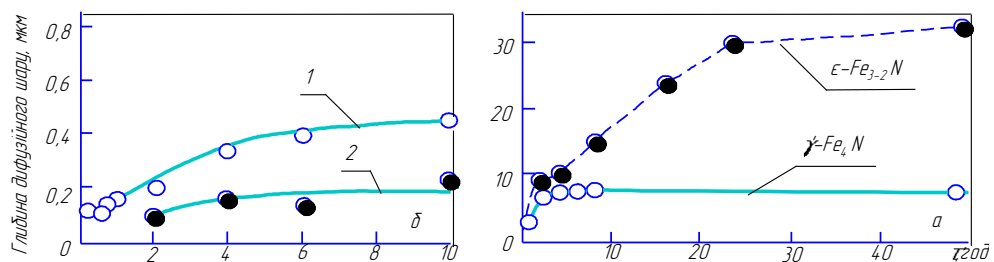


Рисунок 4.8 - Вплив тривалості процесу ІПА [54, 56] на глибину дифузійного шару сталі 18ХГТ (а) і глибину нітридного шару (б)

З підвищенням температури ІПА азотування вище 600°C можливе зменшення товщини дифузійного шару внаслідок появи термоелектронної емісії на катоді. При цьому в загальному струмі розряду переважним стає електронний струм, доля іонного струму скорочується, що викликає зменшення кількості азотних іонів, що поставляється до анода і зменшення градієнту концентрації по азоту в шарі при постійній потужності джерела струму (див.рис 4.9).

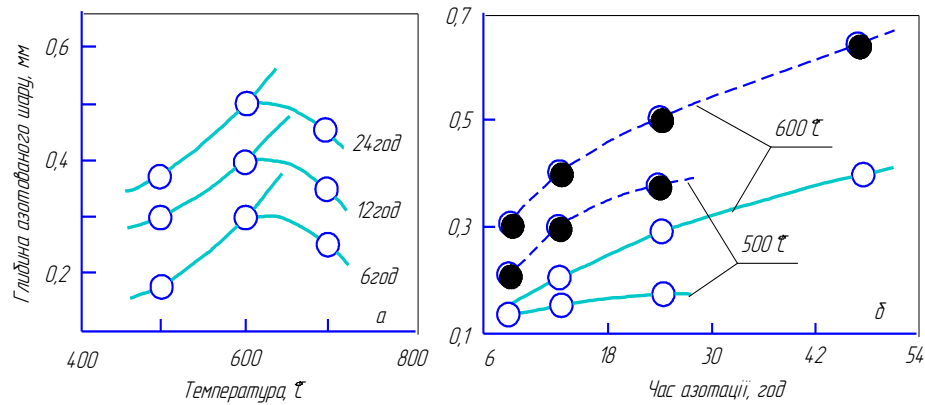


Рисунок 4.9 - Вплив температури і тривалості азотування на глибину дифузійного шару [43, 46]

ІПА проводиться в атмосфері азоту і азотно-водневих сумішах. Зміна складу азотно-водневої атмосфери має незначний вплив на товщину шару і його твердість (див.рис.4.10.) [54, 56].

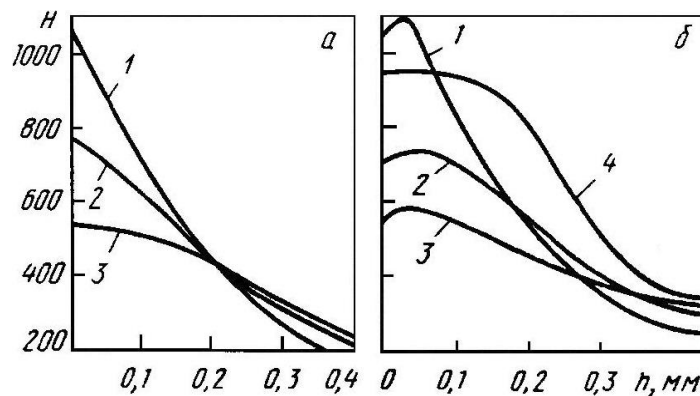


Рисунок 4.10 - Вплив складу азотно-водневих атмосфер при ІПА на розподілення мікротвердості по товщині дифузійного шару конструкційних сталей. Режим азотування (530°C, 9 год.) [42]: а – в суміші 25%N₂+75%H₂; б – в суміші 75%N₂+25%H₂; 1 – сталь 18ХГТ; 2 – 30ХЗМФ; 3 – 40ХФА; 4 – 20ХЗМВФ

На відміну від зони внутрішнього азотування і загальної товщини шару ріст поверхневої нітридної зони в часі залежить від складу насичуючої атмосфери. В безвуглецевій азотній плазмі нітридна зона утворюється на основі γ' -фази (Fe₄N), яка досягає максимальної товщини (6-8 мкм) протягом перших двох годин азотування. При подальшому збільшенні тривалості процесу товщина шару γ' -фази змінюється незначно.

При ІПА, що містить вуглець, зона з'єднання представляє собою карбонітрид $\varepsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{NC})$, товщина шару якого від часу процесу безперервно збільшується по параболічному закону.

При азотуванні в азотно-водневій суміші концентрація азоту в дифузійній зоні вище, і азот розповсюджується на більшу глибину, ніж при обробці в азотно-вуглецевій плазмі (див.рис. 4.11) [43, 44].

В безвуглецевій атмосфері вміст вуглецю в поверхневому шарі сталі зменшується, при цьому знижується інтенсивність карбонітридних виділень по границям бувших аустенітних зерен в зоні внутрішнього азотування. При введенні вуглевмісних компонентів в атмосферу росте концентрація вуглецю приграничних карбонітридних виділень в шарі (див. рис. 4.11).

Розподілення твердості по шару являється функцією його газонасиченості по азоту і вуглецю. В плазмі з вуглевмісними газами [54, 56] в приграничній зоні твердість вище, ніж в чисто азотній атмосфері, однак зона високої твердості розповсюджується на меншу глибину (див.рис. 4.11).

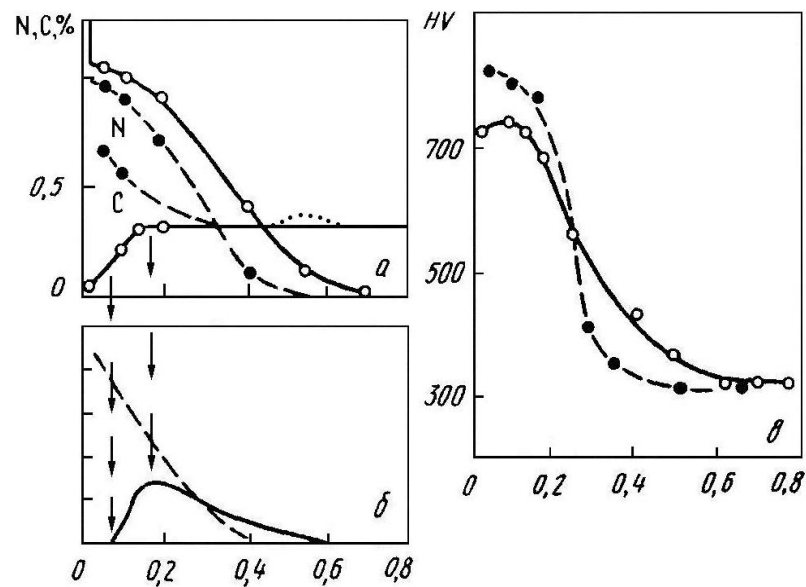


Рис. 4.11 Вплив складу атмосфери при ІПА на розподілення азоту, вуглецю (а), інтенсивності виділень карбонітридів (б) і твердості (в) по товщині дифузійного шару. Азотна атмосфера –суцільна лінія, азотно-вуглецева атмосфера –штрихова лінія, температура азотування 510°C , час 24 години, сталь – 18ХГТ

4.2 Регулювання будови шару при імпульсно-плазмовому азотуванні

Регулювання будови азотованого шару досягається зміною азотного потенціалу атмосфери, підтримуючи який на рівні розчинності азоту в тій чи іншій фазі, можна отримувати шар, який складається тільки з α -твердого розчину, формувати на поверхні нижчий нітрид γ' -фази, або отримувати ϵ -фазу із заданою концентрацією азоту (див.рис. 4.12).

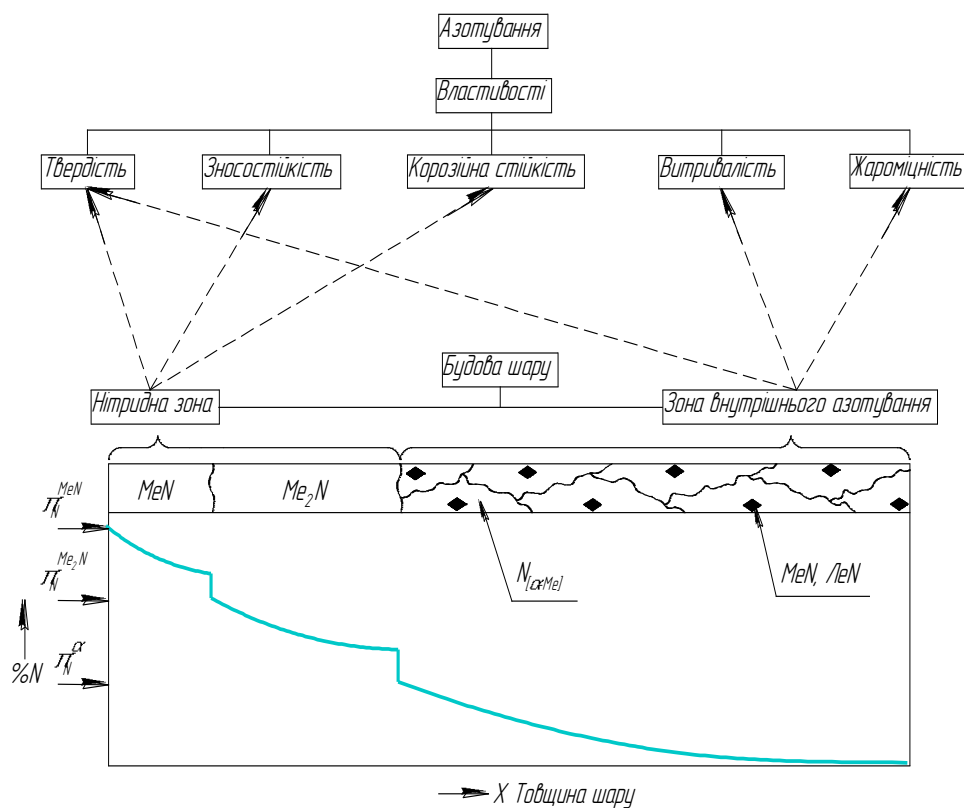


Рисунок 4.12 - Схема регулювання будови азотованого шару

При радіаційному нагріві будову шару можна регулювати, розбавляючи азот киснем, повітрям, вуглевмісними газами, використовуючи вакуум і відповідно змінюючи азотний потенціал насичуючого середовища. При ППА будова шару регулюється за рахунок зміни в співвідношенні процесів катодного і зворотного катодного розпилення. Ці процеси залежать від параметрів розряду: тиску, питомої потужності, складу атмосфери.

ПА дозволяє регулювати будову шару при розчиненні азоту аргоном і вуглевмісними газами. При азотуванні в азоті утворюється композиційний шар з поверхневою нітридною зоною, що складається переважно з γ' -фази.

Отримання дифузійного шару на базі високоазотистого твердого розчину без поверхневої нітридної зони досягається за рахунок розчинення азоту аргоном в режимі катодного розпилення при тискові 39-78 Па. Аргон має масу іона, яка переважає масу іона азоту, активно розпилює нітридну зону, що утворюється на поверхні виробу в процесі азотування. Введення аргону до 40% (об.) практично не впливає на товщину структурних складових шару. При вмісті аргону в суміші з азотом більше 40% (об.) проходить зменшення поверхневої нітридної зони і збільшення зони внутрішнього азотування (див.рис. 4.13).

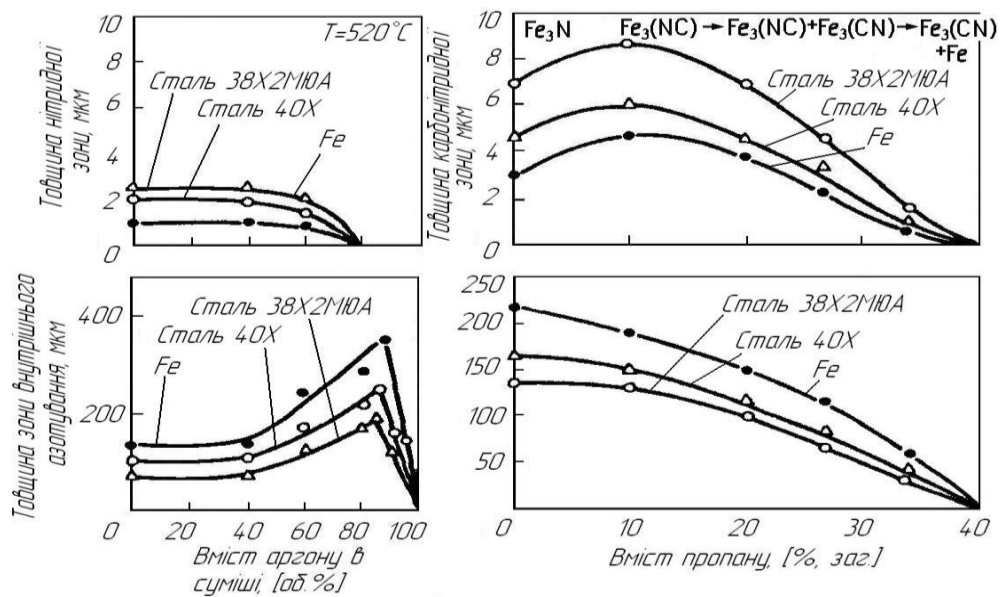


Рисунок 4.13 - Вплив складу атмосфери при азотуванні в тліючому імпульсному розряді на товщину і фазовий склад дифузійного шару [47]

При 80-90% (об.) аргону нітридний шар не утворюється, зона внутрішнього азотування росте прискорено. Подальше розчинення азоту аргоном знижує товщину шару (див.рис. 4.13).

Особливістю зон внутрішнього азотування, що формуються в азотно-аргонних сумішах, являється практично повна відсутність пограничних

карбонітридних виділень, характерних для сталей типу 18ХГТ при звичайних умовах азотування. Аналогічна зміна товщини шару в азотно-аргонній плазмі спостерігається на чавуні, однак в цьому випадку знижується твердість шару з 8000-9000 до 5500-6000 МПа.

Регулювання складу нітридної зони (ϵ -фази) по вуглецю досягається введенням в азотну плазму вуглевмісних газів. В змішаній азотно-вуглеводній атмосфері розширюється область гомогенності карбонітридної ϵ -фази $\text{Fe}_{2-3}(\text{N},\text{C})$ і виклинюється область існування γ' -фази, яка, розчиняючи вуглець, переходить в карбонітрид $\text{Fe}_3(\text{N},\text{C})$.

Зі збільшенням вмісту пропану товщина зони внутрішнього азотування безупинно зменшується. Залежність товщини карбонітридної зони від концентрації пропану має екстремальний характер. Максимальний розвиток карбонітридний шар отримує при 10% (об.) C_3H_8 в суміші з азотом. При 40% (об.) пропану на поверхні оброблюваної деталі осаджується щільна плівка графіту.

На сталі 18ХГТ вищий нітрид Fe_2N і відповідно карбонітрид $\text{Fe}_2(\text{N},\text{C})$ в шарі не утворюється. Змінення вмісту карбонітриду $\text{Fe}_3(\text{N},\text{C})$ підкорено екстремальній залежності. Максимальна кількість цього карбонітриду утворюється в суміші, що містить 90% (об.) азоту і 10% (об.) пропану. Цей склад атмосфери забезпечує максимальний розвиток карбонітридного шару по товщині. Подальше підвищення вуглецевого потенціалу атмосфери супроводжується зменшенням карбонітриду нітридного типу $\text{Fe}_3(\text{NC})$ з одночасним ростом карбонітриду на основі цементиту $\text{Fe}_3(\text{CN})$.

В залежності від складу оброблюваної деталі і температури процесу при визначених концентраціях пропану припиняється утворення карбонітриду $\text{Fe}_3(\text{NC})$ в шарі. Зокрема, на залізі карбонітрид $\text{Fe}_3(\text{NC})$ не утворюється при 40% (об.) C_3H_8 при 520°C , і при приблизно 30% (об.) C_3H_8 при 650°C , на сталі 38Х2МЮА –при 30% (об.) C_3H_8 при 520°C і 25-27% (об.) C_3H_8 при 650°C .

Для утворення карбонітриду на базі цементиту $\text{Fe}_3(\text{CN})$ при 650°C достатньо 10% (об.) пропану. При 520°C цей нітрокарбид виявляється при більших вмістах пропану. При 650°C максимальна кількість фази $\text{Fe}_3(\text{CN})$ отримано при вмісту пропану -27% (об.), при цьому вуглецевому потенціалі атмосфери зона з'єднань практично складається з нітрокарбиду $\text{Fe}_3(\text{CN})$. При 40% (об.) пропану подавляється утворення зони внутрішнього азотування, на поверхні утворюється тонка плівка нітрокарбиду $\text{Fe}_3(\text{CN})$, яка покрита шаром аморфного графіту.

Для деталей, які працюють в парах тертя і зазнають одночасно знакоперемінні навантаження, потрібен азотований шар з оптимально-легованою нітридною зоною (з фіксованою концентрацією азоту, вуглецю та кисню) і розвиненим дифузійним підшарком (зоною внутрішнього азотування) [82-89]. Таку будову шару можна отримати при комбінованому насиченні, яке проводиться по двох стадійному циклу. На першій стадії процесу формується зона внутрішнього азотування при радіаційному нагріві в атмосфері азоту; в імпульсному тліючому розряді – в суміші азоту з аргоном в режимі катодного розпилення. При цьому досягається прискорення процесу. На другій стадії формується поверхнева нітридна (карбонітридна) зона оптимального фазового і хімічного складу, зокрема, при насиченні в суміші азоту і вуглевмісних (кисневмісних) газів. Такі покриття мають високу зносостійкість, підвищують межу витривалості і утворюються значно швидше, ніж при звичайних схемах азотування.

4.3 Розробка технологічного процесу імпульсного-плазмового азотування поверхонь шестерень

При розробці структурної послідовності ТП дотримуємося умови забезпечення зміцнення деталі у порядку, що дає можливість найкраще застосувати обладнання, зменшити втрати робочого часу, отримати якісну та виготовлену з заданою точністю деталь. В цілому, технологія зміцнення

шестерні ГН відповідає сучасним уявленням про якісний процес зміцнення. Короткий опис ТП зміцнення шестерні ГН представлений в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Короткий опис технологічного процесу зміцнення шестерні

Номер операції	Назва операції	Короткий зміст переходів, назва обладнання, інструментів
1	2	3
005	Мийна	Очистка поверхонь зубів шестерень ГН від механічного забруднення і масляних відкладень.
010	Дефектовочна	Визначити ступінь придатності шестерень ГН до експлуатації
015	Азотувальна	Азотувати шестерні ГН ІПА протягом 12 годин, при температурі 450...500°C і тиску 100Па
020	Контрольна	Контролювати усі розміри шестерні ГН. Штангенциркуль ШЦ-10-125-0,1 ГОСТ 166-80.

4.3.1 Попередня підготовка поверхні перед азотуванням

Процес азотування складається з наступних операцій: попередня обробка поверхні основи з метою очищення поверхні від можливого бруду для запобігання емісії; іонно-імпульсне азотування оброблюваної поверхні; обробка поверхні після азотування, якщо необхідно [45, 46, 47].

Підготовка шестерень або зразків до азотування передбачає наступні операції:

- обезжирення поверхні деталей;
- промивка розчинниками та лужними розчинами.

Ступінь обезжирення поверхні повинна бути не нижче першої за ГОСТ 9.402-80.

Для того щоб азотований шар при шліфуванні і поліруванні залишався придатним для металографічного дослідження (тобто край зразка не був навалений), необхідні міри захисту, наприклад – нікелювання зразка. Зразок може бути покритий хімічним нікелем або спочатку тонким шаром хімічного

нікелю, а потім гальванічним нікелем. Шар хімічного нікелю під час створення гальванічного покриття являється бар'єрним шаром, який запобігає дифузії водню, що виділяється при реакції, в азотований шар. Тим самим попереджається можливість відшарування. Аналогічний ефект досягається попереднім обмідненням. Обидва види покриття забезпечують оптимальний захист шару з'єднань від пошкоджень в процесі виготовлення шліфів. Крім того вони забезпечують площинність кромek шліфа.

Більш трудомістким являється метод механічного затиску декількох зразків з мідними прокладками. Між попередньо просвердленими зразками прокладають стрічки мідної фольги. Пакет туго стягується за допомогою довгого гвинта. Мідні стрічки виконують ту ж функцію, що і мідне покриття.

Слід вказати, що всі ці заходи по захисту шліфа втрачають свою ефективність, якщо вже при вирізці зразка неакуратний обіг з ним і з інструментом призвело до викришування азотованого шару.

Для проведення досліджень всі зразки були підготовлені в відповідності з перерахованими рекомендаціями. Зміцнення шестерень ГН підвищило їх довговічність в 5 разів.

Висновки по розділу

Азотування в тліючому розряді проходить в 1,5-2,0 рази інтенсивніше в порівнянні з ХТО при радіаційному, пічному нагріві. Так, азотований шар товщиною 0,55 мм при 550°C на сталі 18ХГТ утворюється при ІА за 14 годин, а при пічному газовому – за 30-35 годин. При цьому досягається значне в 3-5 раз скорочення загального часу технологічного циклу за рахунок зменшення часу нагріву і охолодження.

Товщина і будова дифузійного шару залежать від температури, тривалості процесу, розрідження і складу азотовмісної атмосфери. При ІПА встановлена екстремальна залежність росту дифузійного шару від тиску. Причому з підвищенням температури оптимальний тиск зміщується в

область більших тисків від 133 Па при 500°C до 931 Па при 690°C. При ІПА насичення проходить в 1,5-2 рази інтенсивніше.

Розподілення твердості по шару являється функцією його газонасиченості по азоту і вуглецю.

Зміна складу азотно-водневої атмосфери має незначний вплив на товщину шару і його твердість. ІПА дозволяє регулювати будову шару при розчиненні азоту аргоном і вуглевмісними газами.

Введення аргону до 40% (об.) практично не впливає на товщину структурних складових шару. При вмісті аргону в суміші з азотом більше 40% (об.) проходить зменшення поверхневої нітридної зони і збільшення зони внутрішнього азотування.

При 80-90% (об.) аргону нітридний шар не утворюється, зона внутрішнього азотування росте прискорено. Подальше розчинення азоту аргоном знижує товщину шару.

Для деталей, які працюють в парах тертя і зазнають одночасно знакоперемінні навантаження, потрібен азотований шар з оптимально-легованою нітридною зоною і розвиненим дифузійним підшарком (зоною внутрішнього азотування). Таку будову шару можна отримати при комбінованому насиченні, яке проводиться по двох стадійному циклу. На першій стадії процесу формується зона внутрішнього азотування. На другій стадії формується поверхнева нітридна (карбонітридна) зона оптимального фазового і хімічного складу, зокрема, при насиченні в суміші азоту і вуглевмісних (кисневмісних) газів. Такі покриття мають високу зносостійкість, підвищують межу витривалості і утворюються значно швидше, ніж при звичайних схемах азотування.

Процес азотування складається з наступних операцій: попередня обробка поверхні основи з метою очищення поверхні від можливого бруду для запобігання емісії; іонно-імпульсне азотування оброблюваної поверхні; обробка поверхні після азотування, якщо необхідно.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ АЗОТУВАННІ

Однією з найбільш важливих задач сучасного виробництва є створення безпечних, не шкідливих і сприятливих умов праці. Поліпшення умов праці, екологічна чистота підприємства і т.п. Дають більший економічний ефект: скорочуються витрати на професійні захворювання, травми, скорочується плинність кадрів [90].

У даній магістерській дисертації розроблена технологія ПА в імпульсному режимі деталей ГН, в даному випадку шестерень. Основними задачами в галузі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при використанні азотування є:

- обмеження шкідливих викидів в атмосферу;
- забезпечення електричної і пожежної безпеки;
- захист від випромінювань в оптичному діапазоні;
- оптимізація параметрів мікроклімату і виробничого освітлення.

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів при роботі на ділянці ІПА

У даній магістерській дисертації розроблена технологія ІПА. Основними шкідливими виробничими факторами при ІПА є: запиленість ділянки; загазованість продуктами процесу. До небезпечних виробничих факторів відносяться впливи електричного струму; механізми, що рухаються, і вироби. Неправильна експлуатація електроустаткування може призвести до поразки електричним струмом і підвищують небезпеку виникнення пожеж. Механізми, що рухаються, установки і вироби при відсутності захисних пристроїв можуть привести до травмування робітників [90].

Таблиця 5.1 - Шкідливий вплив при азотуванні

Джерело небезпеки	Метод азотування			
	Газове	В плазмі	В соляній ванні	В порошку
Отруєння (через травний тракт, через шкіру, вдихання оксидів азоту); займання (розплав солі); вибухи (розплав солі, останки солі)			+	
Отруєння (через вдихання СО, аміаку, оксидів азоту); вибухи (вибухонебезпечні газові суміші Н ₂ , СО, аміаку); займання (факел полум'я, спалахи)	+			
Травми рухомими частинами агрегатів	+	+	+	+
Займання від гарячих деталей, травми від падаючих деталей, удари під час завантаження і розвантаження агрегатів	+	+	+	+
Травми через порушення електроізоляції, сторонніх проникнень в електричні і електронні блоки установки	+	+	+	+
Вибухи через скопління вибухонебезпечних газових сумішей у виробничому приміщенні	+		+	+

5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки устаткування ТП

5.2.1. Шкідливі фактори при ПА в імпульсному режимі

Найбільш шкідливими факторами при ІА в імпульсному режимі є загазованість робочого місця оператора. При азотуванні в зону його подиху можуть попадати токсичні гази. Кількість і концентрація цих шкідливих речовин буде залежати від складу атмосфери, що використовується. Кількість виникаючого озону може перевищувати граничну допустиму концентрацію у кілька разів. Тому при ПА в імпульсному режимі забруднення повітря робочої зони шкідливими речовинами необхідно підтримувати в межах, визначених за ГОСТ 12.1.005–88ССБТ. У таблиці 5.2. приведені гранична кількість, що допускається, і клас небезпеки найбільш виділюваних речовин при ПА в імпульсному режимі [90].

Таблиця 5.2. - гранична кількість, що допускається, і клас небезпеки найбільш виділюваних речовин при ІПА

Речовина	Гранична допустима концентрація, мг/м ³	Клас небезпеки
Озон	0,1	1
Двоокис азоту	2,0	2
Окис вуглецю	20,0	4

Для видалення повітря, що містить шкідливі речовини, необхідно передбачити місцевий горизонтальний відсмоктувач розмірами 300x120 мм, підключений до окремої вентиляційної витяжної системи вище даху цеху. Витрата повітря, що відсмоктується, не менш 200 м³/год і може регулюватися за допомогою шибера, встановленого на трубопроводі. Кількість шкідливих речовин, локалізуємо місцевими відсмоктувачами, складає не більш 75%. Кількість шкідливих речовин, що залишилася, (10 – 25%) повинне розбавлятися по ГДК за допомогою загально обмінної вентиляції.

5.2.2 Основні вимоги по параметрах мікроклімату

Основні вимоги по параметрах мікроклімату (ГОСТ 12.1.005 – 88ССБТ) приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. - Основні вимоги по параметрах мікроклімату

Період	Енерго-витрат, Дж/с	Параметри								
		Фактичний			Оптимальний			Припустимий		
		T,°C	W,%	V, м/с	T,°C	W,%	V, м/с	T,°C	W,%	V, м/с
Холодний	293	18	65	0,4	17-19	40-60	0,3	18	75	0,4
Теплий	293	23	60	0,5	20-22	40-60	0,4	21-28	60-65	0,5

При порівнянні існуючих параметрів з нормативними видно, що нормалізація їх не потрібна.

5.2.3 Індивідуальні засоби захисту при ША

Використання автоматизованої установки дозволяє виключення людини з робочої зони під час процесу азотування. Однак для додаткового захисту оператора необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту: спецодяг, захисний щит і спеціальні огорожі.

По рекомендаціях, щодо вибору спецодягу, використовують одяг з полегшеного брезенту з захисними накладками.

Для захисту органів зору на установці передбачене щитове прикриття зон азотування, що має світлофільтр (при $I_{зв.} = 250 \text{ А}$).

Для додаткового захисту (на час настроювання устаткування та установки параметрів процесу) азотувальник-оператор повинен використовувати спеціальний щиток.

Місце установки устаткування повинно бути обгороджене для виключення видимого випромінювання на навколишні робочі місця цеху [90].

5.2.4 Негативний вплив шуму і вібрацій

Шум і вібрація діючі негативно на органи слуху оператора, виникають при роботі пневматичних вентиляційних насосів. При порівнянні показань таблиці 5.4. видно, що нормалізація рівня шуму і вібрації на робочому місці оператора зайва [90].

Таблиця 5.4. - Порівнянні показань шуму і вібрацій на робочому місці оператора

Характеристика шуму	Рівень звукового тиску в октавах, ДБ								Рівень звуку, ДБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Припустимий	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Фактичний	90	85	80	80	75	70	60	60	60

5.2.5 Освітлення

Освітлення має істотне значення в зниженні виробничого травматизму, захисту органів зору, створенні нормальних умов праці і підвищенні загальної продуктивності.

Для ділянок по азотуванню звичайно застосовують загальне і комбіноване освітлення, а робоче місце освітлюють штучним і природним світлом. Розряд роботи зору – IV середньої точності, найменший розмір огляду – 0,5...1...1 мм, e_m^{III} - 0,9, e_m^{IV} - $0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 0,69$; підрозряд роботи зору – δ (фон середній, контраст об'єкта з фоном малий) $E_T = 200$ лк. Коефіцієнт пульсації освітлення $K_p = 20$, дискомфорту $M = 60$. [90].

З таблиці 5.5. видно, що фактичні значення показників не перевищують нормативних. Штучне освітлення здійснюється лампами ДРЛ (Гср-250).

Таблиця 5.5. – Фактичні і нормативні значення показників

Показники	Фактичні значення	Нормативне значення
e^{IV}	0,69	0,9
E, лк	200	200
K_p	15	20
M	60	60

5.2.6 Причини ураження електричним струмом, їх попередження і усунення

Основними причинами поразки електричним струмом можуть бути: торкання до відкритих струмоведучих частин чи дротів не струмоведучих елементів устаткування, що виявилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції чи з інших причин. Відповідно до вимог до електротехнічних виробів для забезпечення безпеки необхідно:

– заземлення струмоведучих частин, що випадково виявилися під напругою, заземлюючи дроти приєднують за допомогою болтових з'єднань;

– напруга холостого ходу джерела живлення 35 В, що не перевищує норми (48В);

– в аварійному режимі захисне заземлення $R_3 < 0,4$ Ом.

Для індивідуального захисту робітника використовується ізольований інструмент, діелектричні рукавички або рукавиці, гумовий коврик.

5.3 Розрахунок інженерного рішення вентиляції на посту ША

5.3.1 Обсяг повітря, що видаляється

Визначаємо обсяг повітря, що видаляється, виходячи з заданої швидкості усмоктування в джерела виділення шкідливих речовин по формулі: [90].

$$L = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

де F_0 – площа усмоктувальних отворів відсмоктувача, м^2 ;

V_0 – швидкість повітря в цьому отворі, м/с .

З огляду на те, що відсмоктувач має круглу форму:

$$F_0 = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 0,17^2 = 0,09 \text{ м}^2.$$

Значення V_0 знаходимо, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x (м/с) у зоні азотування на відстані x (м) від центра усмоктувального отвору:

$$V_0 = 16 V_x (x/d)^2,$$

де d – діаметр кругового отвору.

Для азотування в азотній атмосфері: $V_x = 0,5$ м/с ; $x = 0,03$ м ; $d=0,034$ м .

$$V_0 = 16 \cdot 0,5 \cdot (0,03/0,034)^2 = 6,23 \text{ м/с}.$$

Визначаємо L :

$$L = 3600 \cdot 0,09 \cdot 6,23 = 2041 \text{ м}^3/\text{год}.$$

5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки. З метою запобігання виникненню та ліквідації НС на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення. Під час аналізу небезпеки підприємства визначаємо всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій виконувати на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухо пожежо небезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві. При цьому слід враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан тощо) і стан обладнання, які відповідають як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі при настанні й розвитку аварії [91].

5.4.1 Пожежна безпека при ІПА

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 приміщення, у яких виконуються ІПА роботи, за вимогами вибухопожежної безпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі газы, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива). Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється зона ІІ-Іа, де обертаються тверді горючі речовини. Група вибухобезпечних сумішей (за температурою самозапалювання) – ТІ (ТС) В > 450°C. Ступінь вогнестійкості будівлі – І (не

допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 год, максимально допустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін – 25 см.

Клас пожежі – Е пов'язаний з аваріями електроустановок передбачає використання вогнегасних засобів таких як вуглеводородних та порошкових.

Пожежна безпека забезпечується:

- Запобіганням спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- Запобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;
- Застосування пожежної сигналізації з датчиком (ИДФ-І, ДПД і др.);
- Використанням вогнегасників для класу пожежі Е вогнегасники типу УО, ОП – 10А.
- При організації ТП дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки.

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втручання горючих газів із апаратури. Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилю, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежонебезпечні технічні миючі засоби. Передбачено пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі (описати конкретно). Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та проти димного захисту. Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухобезпечності.

На ділянках виробничого приміщення, де застосовується напилення, передбачаємо встановлення протипожежних щитів, укомплектованих вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами.

Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється. Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал. Для автоматичного виявлення пожеж в виробничому приміщенні, в якому виконується зварювання, передбачаємо наявність датчиків, які своєчасно сповіщають про виниклу пожежу і дають команду на вмикання автоматичної системи гасіння пожеж [91].

5.4.2 Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці. У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання. У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний: – негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101; – приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо); – викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт [91].

Висновки за розділом

Інструкції по обслуговуванню установок дають рекомендації по безпечному обслуговуванню термічних агрегатів, пультів керування, регуляторів і допоміжних пристроїв, які користувач повинен переробити

стосовно до місцевих умов. Велика кількість установ займається дослідженням нещасних випадків. Результати цих досліджень використовуються в правилах, інструкціях, розпорядженнях.

Існуючі літературні рекомендації і великий досвід були узагальнені членами спеціального Міжнародного комітету спілки робітників ТО і матеріалознавства (AWT), який об'єднує виробників і користувачів агрегатів ТО, представників науково-дослідних інститутів і фірм-поставщиків. Цей узагальнений матеріал містить достатньо даних, для того щоб зорієнтувати практиків в напрямку попередження нещасних випадків.

Обслуговуючий персонал установок і насамперед допоміжні працівники і майстри повинні знати всілякі випадки небезпеки (табл. 5.5) і проходити щомісячний інструктаж щодо безпечних прийомів роботи.

6 СТАРТАП ПРОЕКТ ЗМІЦНЕННЯ ШЕСТЕРЕНЬ АЗОТУВАННЯМ

Метою даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап проекту для того, щоб визначити принципові можливості його ринкового

впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

6.1 Опис ідеї проекту

У таблиці 6.1. надано інформацію про зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару [92].

Таблиця 6.1. – Опис ідеї стартап- проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Спосіб зміцнення шестерень ГН ІПА	1. Підприємства з виготовлення ГН	Підвищення твердості, зносостійкості, границі міцності і корозійної стійкості
	2. Приладо- та машинобудування	Відсутність деформацій деталей, вихідні розміри, форма та чистота деталей залишаються незмінними

У таблиці 6.2. зроблено аналіз техніко – економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів [92]. Аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін техніко-економічних характеристик ідеї дозволяє зробити висновок, що дана ідея може бути конкурентоспроможною.

Таблиця 6.2. – Визначення характеристик ідеї проекту

	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів					Характеристика
		Мій про-ект	Ион-он	VIK-ME-TAL	Аль-янс Інжи-ні-ринг		
1	Пришвидшення процесу	+	+	-	+	W (слабка сторона)	
2	Якість азотованого шару	+	+	+	-	N (нейтральна сторона)	
3	Зменшення енергозатрат	+	+	-	-	S (сильна сторона)	

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Оскільки ідея проекту полягає в технологічному способі зміцнення шестерень іонно-плазмовим азотуванням, то аудит може мати такі варіанти рішення:

- технологія наявна
- технологія доступна авторам проекту

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному пункті необхідно визначити ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [92].

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 6.3.).

Таблиця 6.3. – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	80800
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20%

З таблиці 6.3. видно, що за попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 6.4.) [92].

Аналіз місткості ринку і ринкового потенціалу створює базу для прогнозу обсягу продаж, виробничих потужностей, вимог до ресурсів, матеріалів, робочої сили та інвестицій. При огляді майбутніх ринків можна орієнтуватись як на нові сектори, модернізацію існуючих, так і нову продукцію, ринкові сегменти, зміни прямих і не прямих продаж. [92].

Таблиця 6.4. – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Збільшення довго тривалості роботи гідронасосів	Власники підприємств які виготовляють гідронасоси	1) якість зміцнених шестерень; 2) Новітня технологія; 3) Швидкість виконання замовлень	1) Окупність в найкоротші строки; 2) Надійність

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 6.5-6.6). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості

Таблиця 6.5. – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Товари замітники	Обмежує ціну на продукцію	Зменшення обсягу виготовленої продукції
2	Нові конкуренти	Нові виробничі потужності, що призводять до зменшення прибутків	Збільшення витрат на рекламу та організацію збуту продукції

Таблиця 6.6. – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зменшення енергозатрат	Зменшення собівартості продукту, що випускається	Зниження вартості вихідного продукту

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 6.7).

Таблиця 6.7. – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку спостерігається тенденція до збільшення кількості підприємств і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними.	Існує чітка залежність від постачальників як якості продукції, так і можливих обсягів її виробництва.	Споживач і мають широку географію	Посилилася конкуренція зі сторони товарів замінників

Висновки: має місце інтенсивна конкурентна боротьба з боку прямих конкурентів, є можливість виходу на ринок, товари замінники пропонують меншу вартість.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 6.8).

Таблиця 6.8. – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Економія часу та ресурсів завдяки відсутності додаткових обробок, послуга дешевша наявних аналогів	Слабкі сторони: Нові технології на ринку, конкуренти які мають репутацію
Можливості: Інвестиції сприятимуть розширенню, розширення ринку	Загрози: Загроза втрати клієнтів внаслідок підвищення тиску зі сторони товарів замінників, Загроза підвищення цін на продукт унаслідок підвищення цін на сировину та її дефіциту

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення [92].

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.9).

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) визначена стратегія охоплення ринку: компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги), значить використовується диференційований маркетинг [92].

Таблиця 6.9. - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приладо – будівництва	+	високий	середня	середня
2	Машинобудівна промисловість	+	високий	середня	середня
Які цільові групи обрано: обрані всі три цільові групи потенційних споживачів					

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.10). Основне тут — наявний потенціал, уміння його ефективно використовувати та розвивати. Важливим є розуміння того, що конкурентоспроможність підприємства залежить від його внутрішнього стану, а також зовнішнього положення організації [92].

Таблиця 6.10. – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Так	Ні	Стратегія спеціалізації

На основі таблиці 6.10. стратегія конкурентної поведінки - стратегія лідера.

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.11. потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [92].

Таблиця 6.11. – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Зміцнення шестерень	Економія, якість, простота	Не великі затрати на ведення бізнесу

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 6.12.):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту); вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 6.12 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Характерно для наукомістких галузей зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів, які потребують специфічних компонентів для свого фінального продукту машинобудування з виробництвом за індивідуальними замовленнями або дрібними серіями).	Просування на ринок подібних продуктів в рамках даної системи збуту вимагає широкої реклами. Швидше потрібно одного разу з'ясувати, хто з потенційних покупців інновацій може в них потребу і яка поточна платоспроможність даного клієнта.	Канал нульового рівня	Канал складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам (через відділ збуту, збутові філії, мережу фірмових магазинів, поштову торгівлю тощо)

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 6.13).

Таблиця 6.13. – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Наукомісткі галузі зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів	Включають в себе пряму пошту розсилку, замовлення по друкованим каталогам і продаж в режимі он-лайн.	Конкурентне позиціонування, яке базується на демонстрації переваг товарів підприємства над товарами конкурентів.	Отримати можливість у кілька разів збільшити обсяг продажу своїх товарів	Головними елементами структури реклами є тема реклами і девіз рекламної кампанії.

Висновки за розділом

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. За результатами аналізу було виявлено, що технологічна реалізація проекту

можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку гідронасосів.

Даний ринок є привабливим для входження через невелику вартість та високу ефективність технології. З огляду на потенційні групи клієнтів, не дуже великі бар'єри входу на ринок, через унікальність технології, у порівнянні з товарами конкурентів, даний проект можна вважати перспективним для впровадження.

Загальні висновки

В зв'язку з тим, що промисловість недостатньо задовольняє потреби сільського господарства в запасних насосах, підвищення строку служби шестерень шестеренчастих насосів тракторних гідросистем є актуальною задачею, яка потребує наукового обґрунтування та практичного рішення.

Традиційні методи азотування внаслідок високотемпературного нагрівання деталі не дозволяють зберегти її властивості основи. Також виникають труднощі з отриманням рівномірного азотованого шару. Зміцнені деталі характеризуються значними термічними деформаціями і вимагають додаткової МО.

Проведений аналіз умов експлуатації і способів зміцнення шестерень ГН дозволив сформулювати основні вимоги до ТП підвищення міцності їх поверхонь: володіти високою продуктивністю і низькою трудомісткістю; мати незначний термічний вплив з метою зниження короблення деталей; отримувати поверхні деталей необхідної геометрії без використання подальшої МО.

Одним із перспективних напрямків вирішення проблеми підвищення міцності шестерень є ПА. Плазмове азотування в імпульсному режимі має наступні переваги порівняно з звичайним газовим азотуванням: зниження споживання енергії; рівномірність товщини азотованого шару; більша товщина азотованого шару, підвищена твердість поверхні. До нинішнього часу не розроблена технологія зміцнення поверхневих шарів ПА деталей, що виключає подальшу МО.

Запропонована загальна методика досліджень, методи та методики досліджень фізико-механічних властивостей азотованих шарів та експлуатаційних характеристик зміцнених деталей.

Дослідження процесу ПА проводилися на спеціальній установці, а для контролю похибки направлення зубів шестерні спроектовано контрольне пристосування.

Розроблена конструкція напіваавтоматичної установки для іонного азотування в імпульсному режимі, що забезпечує підвищення в 2...3 рази продуктивність процесу.

Виявлено, що зниження температури азотування (в деяких випадках до 300°C) дає можливість повністю уникнути короблення деталей. Метод ІПА дозволяє отримати азотований шар з поверхневою зоною нітридів або без неї (шар нітридів характеризується підвищеною щільністю, що виключає кінцеву доводочну механічну обробку деталей – шліфовку, поліровку). Пульсація плазми дає можливість усувати локальні перегріви деталей завдяки більш рівномірному розподіленню плазми по поверхні деталі та отримувати рівномірний азотований шар поверхні виробу складної конфігурації.

При дослідженні ІПА встановлено що:

- азотування в тліючому розряді проходить в 1,5-2,0 рази інтенсивніше в порівнянні з ХТО при радіаційному, пічному нагріві;
- товщина і будова дифузійного шару залежать від температури, тривалості процесу, розрідження і складу азотовмісної атмосфери.
- з підвищенням температури оптимальний тиск зміщується в область більших тисків від 133 Па при 500°C до 931 Па при 690°C;
- розподілення твердості по шару являється функцією його газонасиченості по азоту і вуглецю;
- зміна складу азотно-водневої атмосфери має незначний вплив на товщину шару і його твердість. ІПА дозволяє регулювати будову шару при розчиненні азоту аргоном і вуглевмісними газами. Введення аргону до 40% (об.) практично не впливає на товщину структурних складових шару. При вмісті аргону в суміші з азотом більше 40% (об.) проходить зменшення поверхневої нітридної зони і збільшення зони внутрішнього азотування.

При ІПА високий градієнт концентрації, яка являється рушійною силою процесу, встановлюється в перші хвилини насичення. При пічному азотуванні концентрація азоту плавно підвищується і досягає максимуму тільки через 30 хвилин з початку процесу. Створення при ІПА граничного

градієнту концентрації на різних стадіях насичення (до 20 хвилин), активація поверхні і ескалація дефектів в поверхневій зоні супроводжуються інтенсивним поглинанням азоту і завершенням формування шару по твердості протягом перших 5 хвилин процесу.

В роботі досліджені закономірності утворення азотованих шарів при іонно-вакуумному азотуванні в імпульсному режимі, вивчено вплив основних активуючих факторів (тиск, температура процесу, склад атмосфери та її потенціал) на якість зміцненого шару. Встановлено особливості регулювання структурою азотованого шару використовуючи метод іонно-вакуумного азотування в імпульсному режимі. Досліджені технологічні особливості зміцнення поверхневих шарів застосовуючи пульсуючу плазму. Проведено аналіз фізико-механічних та експлуатаційних властивостей зміцнених поверхневих шарів.

Процес азотування складається з наступних операцій: попередня обробка поверхні основи з метою очищення поверхні від можливого бруду для запобігання емісії; іонно-імпульсне азотування оброблюваної поверхні; обробка поверхні після азотування, якщо необхідно

Для підвищення експлуатаційних властивостей деталей, які працюють в парах тертя і зазнають одночасно знакоперемінні навантаження, потрібен азотований шар з оптимально-легованою нітридною зоною (з фіксованою концентрацією азоту) і розвиненим дифузійним підшарком (зоною внутрішнього азотування).

Така будова шару отримується при комбінованому насиченні, яке проводиться по двох стадійному циклу. На першій стадії процесу формується зона внутрішнього азотування при імпульсному тліючому розряді в суміші азоту з аргоном в режимі катодного розпилення. При цьому досягається прискорення процесу. На другій стадії формується поверхнева нітридна зона оптимального фазового і хімічного складу, зокрема, при насиченні в азоті. Такі покриття мають високу зносостійкість, підвищують межу витривалості і утворюються значно швидше, ніж при звичайних схемах азотування.

На основі отриманих результатів розроблені технологічні процеси зміцнення поверхневих шарів деталей машин і дано техніко-економічний аналіз їх ефективності на прикладі порівняння техніко-економічних показників методу іонно-вакуумного азотування в імпульсному режимі з іншими методами азотування.

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. За результатами аналізу було виявлено, що технологічна реалізація проекту можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку гідронасосів. Даний ринок є привабливим для входження через невелику вартість та високу ефективність технології. З огляду на потенційні групи клієнтів, не дуже великі бар'єри входу на ринок, через унікальність технології, у порівнянні з товарами конкурентів, даний проект можна вважати перспективним для впровадження.

Перелік джерел посилання

1. Восстановлению деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов. Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М.: Транспорт, 1994 – 256 с.
3. Ивашко В.С., Куприянов И.Л., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. – Минск: Навука і тэхніка, 1996. – 375 с.
4. Витязь П.А. Теория и практика нанесения защитных покрытий / Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющенко А.Ф. и др. - Мн.: Беларуская навука, - 1998. – 583 с.
5. Пантелеенко Ф. И. Новое в восстановительно-упрочняющих технологиях. (Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь). Производство и ремонт машин: Сборник материалов Международной научно-технической конференции, Ставрополь. 28 февр. – 6 марта, 2005. Ставрополь: Изд-во СтГАУ "АГРУС". 2005.- С. 58-63.
6. Астахов М. В., Жачкин С. Ю. Износостойкие покрытия для восстановления и изготовления деталей машин (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана). Технол. мет. 2005, № 1. – С. 40-42.
7. Контактно-дуговой метод повышения износостойкости деталей. Гречкин Д.Н., Краснов Ю.И., Семенов В.С. Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – Вып. 6. - С. 21-23.
8. Ильющенко А. Ф., Оковитый В.А, Кундас С.П., Форманек Б. Формирование газотермических покрытий: теория и практика. – Мн., 2002.
9. Мчедлов С.Г. Газотермические покрытия в технологии упрочнения и восстановления деталей машин / С.Г. Мчедлов // Свароч. пр-во. – 2007. – № 10. – С. 35-45.

10. Соловых Е.К. Ресурсо-энергосберегающая технология восстановления и упрочнения шестерен электроконтактным навариванием износостойких композиционных порошковых материалов / Е.К. Соловых, С.Е. Катеринич, А.В. Лопата // Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 105-107.

11. Дорожкин Н.Н. Получение покрытий методом припекания. – Минск: Наука и техника, 1980, – 176 с.

12. Панкратов Д. Л., Ганеев Р. Н., Зиганшин Р. Ф. Восстановление изношенных поверхностей деталей пластической деформацией. Кузн. - штамп. пр-во. Обработ. матер. давлением. 2006, № 3. – С. 30-33.

13. Решедько В.В. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин термопластической обработкой при восстановлении: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Сиб. гос. ун-т путей сообщ., Новосибирск, 2001, 22 с.

14. Хромов В.Н. Упрочнение и восстановление полых цилиндрических деталей термоупругопластическим деформированием при производстве и ремонте машин. Производство и ремонт машин: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 28 февр.-6 марта, 2005. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС». 2005. – С. 78-88.

15. Жачкин С. Ю., Гунин В. И., Пачевский Е. В. Повышение качества восстановления деталей гальваническим покрытием. Инновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 3 Воронеж, гос. техн. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ 2005. – С. 23-33.

16. Копылов Ю. Р., Толчеев А. В. Технология толстослойного восстановления изношенных деталей гальваномеханическим железнением. Упрочняющ. технол. и покрытия. 2008, № 4. – С. 17-19.

17. Термическая обработка в машиностроении. Справочник. Под ред. Лахтина Ю.М. и Рахштадта А.Г. – М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
18. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. –М.: Металлургия, 1979.
19. Лахтин Ю. М. Материаловедение: Учебник для ВТУЗов – 3-е изд. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева // перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990 – 528 с.
20. Капуткина Л.М., Прокошкин С.Д., Добаткин С.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Уч. пособие для студ-ов вузов. М: Интермед Инжиниринг, 2004. – С. 220-240.
21. Ворошнин Л.Г. Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. - 133 с.
22. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. -256 с.
23. Спицин И.А., Захаров Ю.А. Совершенствование технологии восстановления отверстий корпусных деталей цинкованием. Науч. тр. Моск. гос. ун-т леса. 2000, № 306, С. 75-76, 55.
24. Ляшенко Б.А., Клименко С.А., Соловых Е.К., Исаханов Г.В. Эффективность инноваций в технологии поверхностного упрочнения. Материалы 8-го Междунар. науч.-техн. семинара, 26-28 февраля 2008 г., г. Свальява. –С.150-152.
25. Чаттерджи-Фишер Р. Азотирование и карбонитрирование. М.: «Металлургия», 1990.
26. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г.И., Бёмер З. Теория и технология азотирования. -М.: Металлургия, 1991, 320 с.
27. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. -М.: Машиностроение, 1976. -256 с.
28. Б.А.Ляшенко, Н.А.Долгов, А.Ю.Кумуржи, А.В.Кривошея, В.Е.Мельник Перспективность азотирования цилиндрических зубчатых

колес и их последующего зубохонингования Тези доповідей IV-ої міжнародної інтернет-конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 11 листопада 2016 року: збірник наукових праць. Ч. 1. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – с.6-7.

29. Lincoln J.A. Газовое азотирование повышает износостойкость и циклическую прочность // Metal. Progr. – 1973, № 2. – Р. 72-73.

30. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование в тлеющем разряде// Технология и механизация термической обработки металлов. -М.: НИИИнформтяжмаш, 13-74-8, 1976, 36 с.

31. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Регулируемые процессы азотирования//Металловедение и термическая обработка металлов. 1979. №8. с.59-64.

32. Котельников Д.И. Сюрпризы плазмы. –К.: Техника, 1990. -158 с.

33. Ческис Б.И., Каплун В.Г. Влияние регулируемых процессов ионного азотирования на свойства серого и высокопрочного чугунов//Новые методы химико-термической обработки в машиностроении: Сб. науч. трудов/ МАДИ –М.: МАДИ 1982. –с.69-74.

34. Ляшенко Б.А. О достоинствах технологии вакуумного азотирования. Оборудование и инструмент, 2005.-№ 12.-С.20-21.

35. Ляшенко Б.А. Энергосберегающая технология и оборудование термоциклического ионного азотирования деталей машин, инструмента и технологической оснастки. Тезисы 4-ой научно-практ. конф. «Модернизация и переоснащение предприятия. Эффективные технологии ремонта и восстановления деталей» 14 октября 2009, г. Днепропетровск. –С.35.

36. Ляшенко Б.А., Можеитов Я.В. Термоциклический метод обработки деталей в плазме пульсирующего тлеющего разряда. Материалы 9-й Международной научн.-техн. конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» 25-29 мая 2009, г. Ялта. –С.125-127.

37. Межонов А.Е., Кольцов В.Е. Термодинамическая модель процесса азотирования в тлеющем разряде//Методы поверхностного упрочнения

деталей машин и инструмента: Сб. науч. трудов/МАДИ. -М.: МАДИ. 1983. с.53-60.

38. Lyashenko B.A., Kumurzhi A.Y., Mozheytov Ya.V. Thermal cyclic Plasma (TPC) Technology. 9th International Symposium of Croatian Metallurgical Society “Material and Metallurgy” - Croatia, June 20-24 2010, № 3.

39. Pulsen verbessert Ergebnisse und Betriebsverhalten beim Plasmanitrierverfahren. Stramke Slegfried, Stein Wolfgang. “Maschinenmarkt”. 1983. 89, №84. 1923-1924.

40. Vergleichende Untersuchung zur Harteänderung beim Puls-Plasma-Nitrieren und Gasnitrieren. Exner W., Grun R., Guldamlasi H., K y P. “Harter.-techn. Mitt.”, 1985, 40, №4, 166-167.

41. Puls-Plasma-Wärmebehandlung zum Oberflächen und Randschichtbehandeln. Grun R., Exner W., Zeller R. “Harter. techn. Mitt.”, 1987, 42, №1, 42-46. Diskuss., 47-49.

42. Pulsed plasma nitriding of stainless steel. /Torkar M., Leskovsek V., Rjazancer B.//Kov., zlit., tehnol. -1995. -29, №3-4. –C.413 -416.

43. Plasma nitriding of transmission components. Practical examples and results of series and single productions. Hombeck F., Rembges W. “Int. Semin. Plasma Heat Treat. Sci. and Technol. Senlis, 21-23 Sept., 1987”. Paris, 1987.

44. Eltropuls Plasma –Nitrieren von Stalen mit niedriger Anlabtemperatur. “FBM Fertigungstechnol.”, 1988, 65, №1.

45. Beyer H., Burun U. Legierungspulver bzw. Puldergemisch für verschleißfeste Spritzschichten. Deutsches Patent, № 2433814 (1974).

46. Fully Automatic Plasma Nitriding Equipment in the Automotive Industry /Dressler Sidney //Ind. Heat. -1991. -58, №12. –C.38-40, 42-43.

47. Nuevas instalaciones de nitruración iónica /Brunner Max //Met. y elec. -1991. -55, №639. –C.60-65.

48. Keller K. Jonitrieren von Schneken aus Nitrierstählen und ähnlichen Werkstoffen für Extruder und Spritzgießmaschinen. //Plastverarbeiter, 1971. №8. S.3-11.

49. М.А. Долгов, О.Ю. Кумуржи Вакумна плазмова термоциклічна обробка сталей та сплавів Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І.Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С.140.

50. А.П. Гопкало, А.Г. Трапезон Модификация поверхности материалов низкоэнергетическим ионным воздействием. Междунар. симп. ОТТОМ 10-14 сентября 2001 г. ХФТИ, Харьков, Украина. - С.94-99

51. В.С.Антонюк Опыт применения термоциклического ионного азотирования деталей машин и инструмента. Материалы 19-го Междунар. научн.-техн. семин., 18-22 февраля 2019 г., г. Кошице, – Киев: АТМ України, 2019. –с. 6-11.

52. Мірненко В.І., Радько О.В. Газотермоциклічне іонно-плазмове азотування у пульсуючому режимі. Високі технології: тенденції розвитку. Матеріали 15 Міжнар. наук.-техніч. семінару, Алушта, 11-16 вересня 2006 р.

53. В.С.Антонюк Ресурсозберігаюча технологія термоциклічного іонного азотування деталей машин і інструменту. Матеріали доповідей VIII Міжнар. науково-техн. конф. «Прогресивні технології у машинобудуванні РТМЕ-2019» 4-8 лютого 2019 р. – Івано-Франківськ – Яремче, 2019. – с. 68-70.

54. Ляшенко Б.А., Кумуржи А.Ю. Упрочнение поверхности деталей на основе стали 40Х13 методом ионно-плазменной термоциклической азотации. Материалы 11-го Междунар. научн.-техн. семин. «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» 21-25 февраля, 2011, г. Свалява. – Киев: АТМ України, 2011.- С.168-170.

55. Алексюк М.М. Повышение долговечности трущихся поверхностей за счет увеличения их твердости методом ионного азотирования. Зб. наук. праць КУЕТТ. Серія “Транспортні системи і технології”, 2006, Вип. 9.- С. 5-9

56. Рутковский А.В., Маркович С.І., Михайлюта С.С. Дослідження залежності мікротвердості та шорсткості поверхні дифузійних шарів від технологічних параметрів процесу вакуумного азотування Матеріали 1-ї

міжнародної науково-практичної конференції «Підвищення надійності машин і обладнання» 17-19 квітня, м. Кропивницький С. 121-123

57. Ляшенко Б.А., Мірненко В.І., Радько О.В. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді. Патент України С23С 9/06, опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12

58. Харченко В.В., Ляшенко Б.А., Куріат Р.І., Корбут Є.В. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді. Патент України на корисну модель № 78071 С23С 8/06 (2006.01), Опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.

59. Шмелева П.М. Контроль работ по металлопокрытиям. – М.: Машиностроение, 1985. – 156 с.

60. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.

61. Тушинский, Л.И. Методы исследований материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий/Л.И. Тушинский и др. – М.: Мир, 2004. 384 с. – ISBN 5-03-003572-9/Г'

62. Богомолова Н.А. Практическая металлография. – М.: Высшая школа, 1987. – 240 с.

63. Беккерт М., Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению. – М.: Металлургия, 1979. – 335 с.

64. Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов: Справочник. – М.: Металлургия, 1979. – 355 с.

65. Коваленко В.С./ В.С. Коваленко. Металлографические реактивы. Справочник. М.: Металлургия, 1981.

66. ГОСТ 9012-59. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – Введ.01.016.60.

67. ГОСТ 9013-59. Металлы и сплавы. Метод измерений твердости по Роквеллу. Шкалы А, В и С. – Введ. 01.01. 69.

68. ГОСТ 9450. Метод испытания на микротвердость вдавливанием алмазной пирамиды.

69. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. Введ. 01.01.81.

70. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. Введ. 01.01.81.

71. Способ испытания материалов на усталость при поперечном изгибе: А.с. 847154 СССР, МКИ4 G 01 N3/32. / В.А. Кузьменко, А.Г. Трапезон, Н.Н. Письменный. – Заявлено 16.05.80; Оpubл. 15.07.81. Бюл. № 26.

72. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / Под ред. В.А. Кузьменко. – К.: Наук. думка, 1979.-336 с.

73. Шалобаев Е.В. Микросистемная техника и тенденции развития современной трибологии / Е.В. Шалобаев // Микросистемы техн. – 2003 – № 9. – С. 26–27.

74. Пружанский Л.Ю. Исследование методов испытаний на изнашивание. М.: Наука. 1978.- 116 с.

75. Гурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гурман. 6-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 1998.-479 с.

76. Мирненко В.И., Радько О.В., Кошовник В.А. Автоматизована система контролю та управління технологічним процесом імпульсного іонного азотування.Збірник наукових праць Державного НДІ авіації., Вип.№2 (9) 2006р.стор.279-301, Київ.

77. Ляшенко Б.А., Калініченко В.І. Вакуумна камера для вакуумного плазмового азотування металевих деталей. Патент України № 29008, С23С 4/10. Оpubл. 25.12.2007, Бюл. № 21.

78. Гришин С.Д., Лесков Л.В., Козлов Н.П. Плазменный ускоритель. – М.: Машиностроение, 1983. - 232 с.

79. Машиностроение: энциклопедия. Том IV-3. Надежность машин. /

Под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 2001 – 592 с.

80. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

81. Харченко В.В., Ляшенко Б.А., Куриат Р.И., Исаханов Г.В. Термоциклическое азотирование как синтез разработок НАН Украины. Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матер. 12-го Междунар. научн.-техн. семинара 20-24 февраля 2012 г., г. Свалява. – Киев: АТМ Украины, 2012. – С.287-290.

82. О.Ю. Кумуржи, О.Ф. Саленко, М.С. Моїсеєнко, Повышение износо-устойчивости стали 40Х13 с помощью ионного вакуумного азотирования Матеріали конференції. ХІХ Міжнародна конференція науков-технічна конференція студен-тів, аспірантів та молодих учених «Актуальні пробле-ми життєдіяльності суспільства». 26 – 27 квітня 2012, Кременчук. – 2012. – С. 550 – 552

83. Ляшенко Б.А., Скуратовський А.К., Радько О.В. Вплив залишкових напружень в іонноазотованому поверхневому шарі на зносостійкість сталі 30ХГСА. Х міжнародна науково-технічна конференція „Прогресивна техніка та технологія – 2009” 22-25 червня 2009, Севастополь.

84. О.Ю. Кумуржи Износостойкость стали 40Х13 после упрочнения методом термоциклического ионно-плазменного азотирования в условиях абразив-ного изнашивания Науково-технічний збірник – «Проблеми тертя та зношування», № 57, Київ. –2012. – С. 240 – 250

85. Ляшенко Б.А., Кумуржи А.Ю. Влияние ионно-плазменного термоциклического азотирования на абразивный износ стали 40Х13. Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матер. 12-го Междунар. научн.-техн. семинара 20-24 февраля 2012 г., г. Свалява. – Киев: АТМ Украины, 2012. –С.171-174.

86. Б.А.Ляшенко, А.Ю.Кумуржи Стойкость стали 40Х13 к абразивному износу, обработанной ионно-плазменным термоциклическим азотированиемИнженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 12-й

междун. научн.-техн. конф., 04-08 июня 2012, Ялта – Киев: АТМ Украины. – С.194-196.

87. О.В. Радько, В.В. Жигінас, О.І. Кремешний, О.Ю. Кумуржи
Абразивна стійкість сталі 46x13 після зміцнення методом термоциклічного
іонно-плазмового азотування Збірник наукових праць Харківського
університету Повітряних Сил. – №1(34). – 2013. – С. 156-160.

89. М.С. Моїсєєнко, О.Ф. Саленко, Б.А. Ляшенко, Application of wear-
resistant coatings for increasing efficiency of elements of hydrocutting devices
Вісник Національного технічного університету України «Київський
Політехнічний Інститут». – №65. – 2013. – С. 19-25.

90. О.Г. Левченко, Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

91. О.Г. Левченко, О.І. Полукаров Охорона праці у зварювальному
виробництві

92. О.А. Гавриш, С.О. Солнцев, В.В. Дергачова, О.В. Зозульов,
Н.В. Юдіна, Т.О. Царьова, К.О. Бояринова, М.О. Кравченко, Розроблення
стартап проекту, методичні рекомендації до виконання розділу магістерських
дисертацій