

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Орел Максим Олександрович

УДК 631.171

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗАХИСНИХ ВТУЛОК
КОНСОЛЬНИХ НАСОСІВ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Орел М.О.

Керівник роботи
Куликівський В.Л.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Орел Максим Олександрович. Підвищення зносостійкості захисних втулок консольних насосів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У магістерській роботі встановлено, що досягнення максимальних значень мікротвердості поверхневого шару на глибинах до 1,2 мм можливе завдяки електромеханічній обробці захисних втулок консольних насосів. Внаслідок цієї обробки мікротвердість зміцненої зони сталей зростає в 2,6–3,6 рази порівняно з початковими показниками, залежно від матеріалу, на глибині до 1 мм від поверхні. У разі перекриття зон зміцнення утворюються чергування повністю загартованої, частково загартованої зон і зони самовідпуску. При цьому мікротвердість вздовж поверхні визначається схемою зміцнення.

Результати випробувань на знос у парі тертя деталей консольних насосів із сальниковою набивкою продемонстрували значне підвищення зносостійкості захисних втулок після електромеханічного загартування. Зокрема, зносостійкість для сталі 45 зросла в 3,1 раза, для сталі У8 – у 1,9 раза, для сталі ШХ15 – у 2,5 раза, а для чавуну – у 1,9 раза порівняно з початковими характеристиками.

Використання втулок зі сталі У8 після електромеханічного зміцнення, замість серійних втулок зі сталі 45, дозволяє підвищити зносостійкість деталей у 6,1 раза. Це свідчить про доцільність впровадження сталі У8 для виготовлення захисних втулок.

Ключові слова: зміцнення, знос, захисна втулка, насос, електромеханічне поверхневе загартування, сталь, чавун.

ANNOTATION

Maxim Orel. Improving the wear resistance of protective bushings for cantilever pumps. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The master's thesis established that electromechanical treatment of protective sleeves for cantilever pumps enables achieving maximum surface layer microhardness at depths of up to 1.2 mm. This process enhances the microhardness of the hardened zones in steels by 2.6 to 3.6 times compared to their original values, depending on the material, within a depth of up to 1 mm from the surface. Overlapping hardening zones result in the formation of alternating fully hardened, partially hardened, and self-tempered regions. The distribution of microhardness along the surface is influenced by the specific hardening method employed.

Wear tests conducted on friction pairs of cantilever pump components with stuffing box packing revealed a notable improvement in the wear resistance of protective sleeves following electromechanical hardening. Specifically, wear resistance increased by 3.1 times for steel 45, 1.9 times for steel Y8, 2.5 times for steel IIX15, and 1.9 times for cast iron compared to their untreated states.

Replacing standard bushings made of steel 45 with those made of steel U8 subjected to electromechanical hardening can boost wear resistance by 6.1 times. This underscores the suitability of U8 steel for manufacturing protective sleeves in cantilever pumps..

Keywords: hardening, wear, protective sleeve, pump, electromechanical surface hardening, steel, cast iron.

3MICT

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1. Аналіз дефектів захисної втулки консольних насосів.....	8
1.2. Способи зміцнення і відновлення поверхні втулок.....	12
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
2.1 Методика лабораторних досліджень.....	33
2.2 Методика експериментальних досліджень.....	41
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	44
3.1. Механічні властивості поверхневого шару втулок захисних після ЕМПЗ.....	44
3.2 Результати випробувань на зносостійкості.....	51
3.3 Вибір матеріалу виготовлення захисних втулок консольних насосів.....	53
3.4. Загальні принципи електромеханічного поверхневого загартовування захисних втулок.....	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Розвиток науково-технічного прогресу пов'язаний зі створенням нової техніки і особливої важливості набувають питання надійності та довговічності машин і механізмів, економного використання матеріалів та енергії. Вирішення цієї проблеми пов'язане із забезпеченням ефективного захисту поверхонь деталей від зношування. Консольні насоси є широко поширеними видами насосів, використовуваними в системах поливу та іригації, водопостачанні агропромислових комплексів (АПК). Аналіз технологічних процесів виготовлення на підприємствах виробництва консольних насосів показує, що більшість захисних втулок виходить з ладу через зношування поверхні. При цьому знижуються коефіцієнт корисної дії (ККД), точність, економічність, надійність і довговічність насосів. Витрати на ремонт, технічне обслуговування і заміну втулок у кілька разів перевищують їхню вартість. Причинами швидкого зносу поверхні можуть бути: низька якість виготовлення захисних втулок, необґрунтований вибір матеріалів для їхнього виготовлення, малоефективні технології їхнього зміцнення, які не враховують умов експлуатації та види тертя із сальниковою набивкою. Одним із напрямів підвищення зносостійкості сталевих деталей є збільшення поверхневої твердості та формування дрібнодисперсної мартенситної структури [1, 2, 3, 4]. Одним з основних заходів для підвищення зносостійкості та продовження терміну служби втулок захисних є використання прогресивних методів поверхневого зміцнення. До таких технологій належать методи поверхневого загартування, хіміко-термічної обробки, поверхневого пластичного деформування та інші. Однак недоліками кожної з перерахованих технологій зміцнення є дорожнеча обладнання, високі вимоги до умов

виробництва, що не дає змоги використовувати багато з відомих методів зміцнення на малих ремонтних підприємствах і на підприємствах дрібносерійного виробництва. Тому завдання технологічного забезпечення та підвищення зносостійкості захисної втулки із застосуванням ефективної обробки є актуальним і має велике значення.

Об'єкт досліджень – технологія зміцнення зовнішньої поверхні захисних втулок консольних насосів електромеханічним поверхневим загартуванням.

Предмет досліджень – закономірності формування зміцнених шарів, отриманих на зовнішніх поверхнях захисних втулок консольних насосів.

Мета досліджень – підвищення довговічності консольних насосів за рахунок збільшення зносостійкості виконавчих поверхонь захисних втулок електромеханічним поверхневим загартуванням.

У зв'язку з поставленою метою визначено завдання досліджень:

- на основі аналізу умов експлуатації та характерних дефектів запропонувати спосіб зміцнювальної обробки захисних втулок консольних насосів, що забезпечує поєднання необхідної надійності, технологічності та виробничої собівартості.
- підібрати режими електромеханічного поверхневого загартування (ЕМПЗ) і дослідити їхній вплив на підвищення зносостійкості в контакті із сальниковою набивкою.
- провести випробування на зношування захисних втулок і обґрунтувати ефективність застосування ЕМПЗ.
- розробити та рекомендувати сільськогосподарському ремонтному виробництву технологію ЕМПЗ захисних втулок консольних насосів.

Методи наукового дослідження. Виконання роботи базується на розрахункових теоретичних та експериментальних методах дослідження. Використано основні положення технології машинобудування. Апроксимацію експериментальних даних виконано за допомогою програмних засобів, зокрема C++, Ansys, комп'ютерного моделювання.

Для досягнення поставленої мети та розв'язання завдань у роботі було використано такі методи: фотоелектричний спектральний аналіз; вимірювання мікротвердості за допомогою мікротвердоміра DuraScan EMCOTEST; зносостійкі випробування із застосуванням спеціального пристосування та настільного токарного верстата. Експериментальні дані оброблено з використанням методів математичної та комп'ютерної статистики, а також апробованих і атестованих методик.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Орел В.О.** Аналіз дефектів захисної втулки консольних насосів. Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХДАЕУ, 17-18 вересня 2024 року). Херсон: ХДАЕУ, 2024. С. 343-347.

2. Куликівський В.Л., **Орел В.О.** Механічні властивості поверхневого шару захисних втулок після електромеханічного поверхневого загартування. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 312-315.

3. **Орел М.,** Середюк В., Куликівський В. Обладнання для електромеханічного поверхневого загартування захисних втулок. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 171-175

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для аграрного виробництва представляє розроблена технологія зміцнення зовнішньої поверхні захисних втулок консольних насосів електромеханічним поверхневим загартуванням.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок комп'ютерного тексту, містить 36 рисунків та 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз дефектів захисної втулки консольних насосів

Відцентрові насоси зустрічаються на багатьох виробництвах, у комунальній сфері, на підприємствах сервісного обслуговування АПК.

Основою широкого застосування відцентрових насосів є простота їхнього принципу дії та конструкції. Цьому сприяє також невисока вимогливість цих машин до поточного технічного утримання, надійність, довговічність і порівняно невисока вартість [1, 2, 3, 7, 18].

Консольний насос є досить популярним видом відцентрових насосів, використовуваним для перекачування води в системах поливу та іригації, водопостачанні, комунальних господарствах і перекачування рідин, що містять домішки і тверді включення (рис. 1) [2, 7, 12, 18].



Рис. 1.1. Система консольних насосів для поливу полів [1, 6, 12, 18].

Залежно від конструкції, насоси цього типу оснащуються сальниковим або торцевим ущільненням. У випадку сальникового ущільнення пристрої здатні працювати з рідинами, температура яких варіюється від 0 до 85°C, тоді як

торцеве ущільнення дозволяє перекачувати воду з температурою до 105°C [1, 8, 12, 18].

Для транспортування води переважно використовують відцентрові консольні насоси типу К. Літера "К" вказує на їх консольну відцентрову конструкцію. Особливістю цих насосів є розташування робочого колеса з лопатками на валу, задній кінець якого підтримується підшипниковим вузлом. Відмінною конструктивною рисою насосів типу К є наявність компенсаційної камери, яка запобігає протіканням, що можуть виникати при перевищенні нормативного значення напору рідини, створюваного насосом [3, 9, 18].

Для забезпечення герметичності К-насоси обладнані двома ущільнювальними елементами — переднім і заднім, які ефективно захищають пристрій від внутрішніх і зовнішніх протікань. Крім того, їх конструкція передбачає застосування змінної захисної втулки, яка значно знижує знос вала, на якому закріплюється робоче колесо [3, 9, 18].

Конструкцію консольного відцентрового насоса типу К представлено на рис. 1.2.

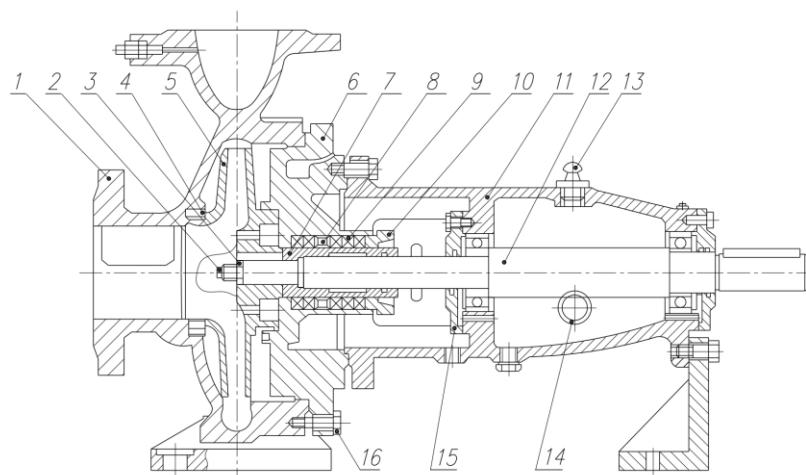


Рис. 1.2. Схема конструкції консольного насоса 1 – корпус; 2 – гайка робочого колеса; 3 – стопорна шайба; 4 – ущільнення корпусу; 5 – робоче колесо; 6 – кришка корпусу з корпусом ущільнення; 7 – захисна втулка; 8 – кільце сальника; 9 – сальникова набивка; 10 – кришка сальника; 11 – корпус

підшипників із опорним кронштейном; 12 – вал; 13 – отвори для заливання оливи; 14 – контрольне вікно; 15 – кришки підшипників; 16 – гайки кришки корпусу [3, 9, 18].

Незважаючи на вжиття заходів зі змащування ущільнювальної набивки завдяки створенню штучних витоків, тертя між валом і набивкою в зменшених масштабах залишається. Це призводить до зносу валу в ділянці тертя і сприяє передчасному виходу його з ладу під дією другорядних чинників. Для запобігання зносу, корозії та ерозії на вал надягають захисну втулку. Принципову схему роботи захисної втулки консольного насоса наведено на рис. 3. Захисні втулки зазвичай встановлюють на вал за рухомою посадкою. Для фіксації втулок круглими гайками в осьовому напрямку на валу виконують ділянки з різьбовою нарізкою. При м'яких сальникових ущільненнях втулки служать для запобігання зносу валу набивкою [1, 10, 18].

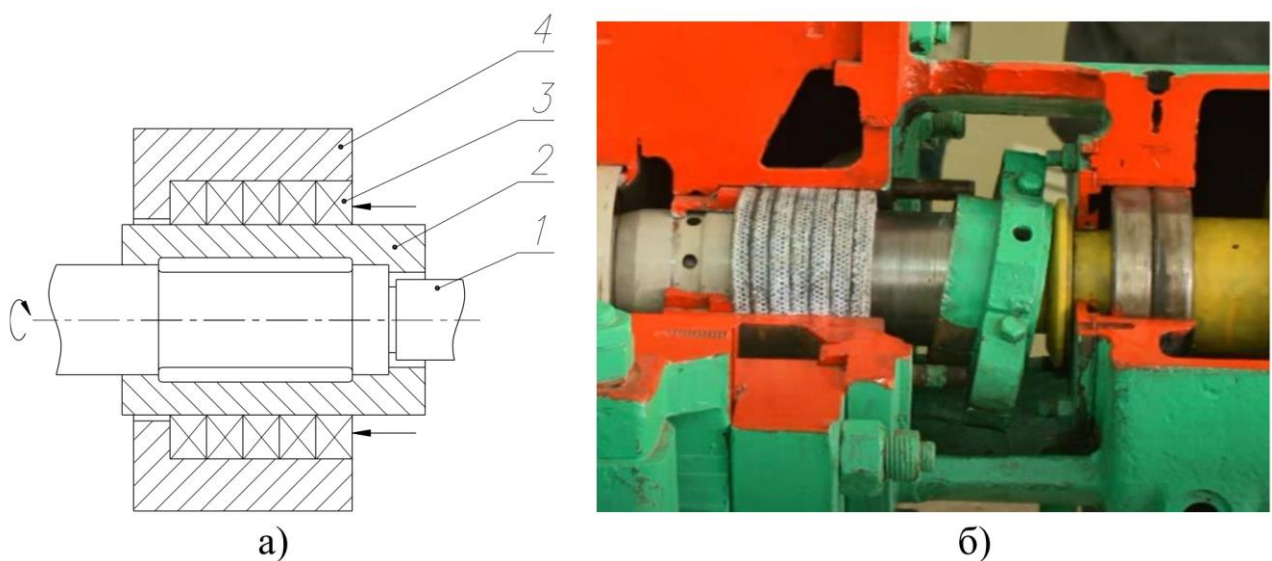


Рис. 1.3. Схема роботи захисної втулки консольних насосів: а – принципова схема; б – загальний вигляд; 1 – вал; 2 – захисна втулка; 3 – сальникова набивка; 4 – корпус насоса [4, 7, 18].

Сальникове ущільнення є найпростішим видом контактних ущільнень. Залежно від сфери застосування використовують бавовняні вироби, азбест, алюмінієву фольгу, фольгу з інших антифрикційних матеріалів, композиційні матеріали для виготовлення набивки [3, 9, 18]:

- бавовняні джгути й кільця ущільнювачів, просочені графітом і густим тавотом – для відцентрових насосів, які працюють на холодній воді;
- азбестові вироби з графітовим просоченням – для води та нафтопродуктів із тиском до 2,5 МПа та температурою не вище 200°C, для кислот і лугів;
- ущільнювальні елементи з алюмінієвої фольги з м'яким осердям з азбесту або однією спресованою фольгою без осердя – для нафтопродуктів із температурою 200...400°C;
- вироби з антифрикційних металів з м'яким осердям з азбесту або однієї спресованої фольги без осердя – для води і нафтопродуктів з температурою не більш як 200°C і з тиском понад 2,5 МПа.
- ущільнювальні елементи, виготовлені з маси крихти, що складається з чистого азбестового волокна, м'яких металів, графіту, зв'язувальних олій, неопрену тощо – для зріджених газів, світлих нафтопродуктів і води.

Одним із недоліків сальникових ущільнень є нерівномірний розподіл мастила в області контакту із захисною втулкою.

Нерівномірний розподіл мастила в зоні тертя пов'язаний зі значним осьовим розміром ущільнень. Він призводить до підвищеного і нерівномірного зносу захисних втулок. Зі збільшенням числа обертів вала, тертя в контактній зоні сальникової набивки і захисної втулки підвищується, і за умови недостатнього змащення знос втулок захисних різко збільшується. Під час проходження через деформовану ущільненням набивання іншу, увігнуту, сторону між набиванням і захисною втулкою утворюється збільшений зазор, що призводить до витоків. Витік назовні через ущільнення валу не повинен перевищувати 0,2 см³/год [18].

За недостатньої співвісності корпусу і ротора вісь натискної втулки, жорстко прикріпленої до корпусу, зміщується відносно осі ротора, а її внутрішня частина, звернена до валу, стикається з ним. Коли вал обертається, між ним і втулкою виникає тертя, що призводить до додаткових втрат потужності та нагрівання ущільнень, а також до підвищеного зносу захисної втулки. Крім того,

абразивні частинки, що утворюються під час тертя, прилипатимуть до поверхні втулки і призводитимуть до збільшення її зносу [18].

1.2. Способи зміцнення і відновлення поверхні втулок

Зміцнення і відновлення поверхні втулки дають змогу підвищити зносостійкість і продовжити термін служби обладнання. Близько половини деталей із числа ремонтного фонду можуть бути використані після відновлення при витратах 15...30 % від ціни нових деталей [8, 9]. Для відновлення зношених деталей машин, а також для зміцнення поверхні деталей з особливими властивостями в агропромисловому комплексі застосовують різні способи. Вибір методу відновлення і зміцнення поверхонь деталей залежить від вихідних даних про деталь та ефективності способу відновлення і зміцнення [10].

1.2.1 Поверхнева термічна обробка

Поверхнева термічна обробка (ПТО) сталі є одним із поширених заходів зміцнення поверхні. Використовують ПТО у виробництві для підвищення твердості, опору стиранню поверхонь, таких як поверхневий шар зубів, шийок колінчастих валів, розподільний вал тощо. Сутність методів поверхневої термічної обробки сталей полягає в нагріванні поверхневого шару до температури, що вища за критичні точки, та подальшому різкому охолодженні, внаслідок чого прожарена частина має мартенситну структуру, а внутрішні шари заготовки залишаються ненагрітими або незначно нагріваються. Видами термічної обробки сталей є загартування струмами високої частоти, лазерне загартування, плазмове загартування тощо [11].

1.2.1.1 Загартування струмом високої частоти

Загартування сталей струмами високої частоти (СВЧ) є одним із найпоширеніших методів поверхневої термічної обробки, який дає змогу підвищити твердість і зносостійкість поверхні деталі.

Підвищена частота струму дає змогу концентрувати в малій зоні деталі, що нагрівається, значну потужність, що підвищує швидкість нагрівання до декількох сотень градусів на секунду [10].

Загартування СВЧ ґрунтується на здатності змінного електричного струму проходити поверхнею деталі, що перебуває в індукторі, і цим спричиняється нагрівання, яке може проникати на різну глибину через утворення магнітного поля. Середина заготовки залишається не нагрітою або незначно нагрівається.

Основні етапи загартування СВЧ складаються з індукційного нагріву до температури, вищої за фазове перетворення, витримки і потім швидкого охолодження. Нагрівання при загартуванні СВЧ проводять за допомогою спеціальної індукційної установки і характеризується трьома параметрами: питомою потужністю, тривалістю нагріву і частотою струму [12].

Охолодження при поверхневому загартуванні можна здійснити різними методами. Найкращим способом є охолодження рідиною, що швидко рухається – душем або потоком [12].

Залежно від форми, розмірів і глибини загартованого шару використовують режими одночасного або безперервно-послідовного загартування.

Для різних сталей глибина нагріву істотно відрізняється залежно від частоти струму, питомого електроопору і відносної магнітної проникності. Що вища частота струму, то менша глибина зміцнення. Фактори ρ і μ сталі в процесі нагрівання різко змінюються. Для евтектоїдної сталі за температури 20 °С - $\rho = 10^{-5}$ Ом.см, а за 800 °С - $\rho = 10^{-4}$ Ом.см. Магнітна проникність різко зменшується при переході через точку Кюрі: за 100 °С - $\mu = 100$, а за 750 °С - $\mu = 1$ [1].

Коефіцієнт корисної дії (ККД) процесу нагріву забезпечується при робочій частоті струму вище за мінімальне значення, визначене за формулою: $f_{\min} > 50000/h^2$, Гц; де h – товщина зміцнюваного шару, мм. Перевищення цього мінімального значення забезпечує ККД процесу вище 50 %. Оптимальною частотою струму з погляду ККД нагріву, можна вважати значення $f_{\text{опт}} \approx 360000/h^2$, Гц [13].

Головним недоліком загартування СВЧ є висока вартість обладнання, що не дає змоги використовувати цей метод на малих ремонтних підприємствах і в дрібносерійному виробництві. Для деталей складної форми виробництво індукторів дуже складне і неможливо отримати рівномірність загартованого шару. У таких випадках застосовують інші види поверхневого загартування.

1.2.1.2. Лазерне загартування

Нині лазерне загартування широко застосовується в машинобудівних галузях. Зміцнення металів і сплавів під час лазерного загартування ґрунтується на локальному нагріванні ділянки поверхні під впливом лазерного випромінювання та подальшому охолодженні цієї ділянки поверхні з надкритичною швидкістю завдяки інтенсивному відведенню тепла вглиб деталі.

Під час лазерного нагрівання частина енергії відбивається в навколишнє середовище, тоді як інша частина проникає всередину матеріалу. У приповерхневому шарі товщиною 0,1–1 мкм випромінювання майже повністю поглинається вільними електронами провідності [3]. Це поглинання спричиняє посилення їхніх зіткнень та передачу енергії до кристалічної решітки металу.

Подальше переміщення енергії вглиб матеріалу відбувається через процес теплопровідності [4].

Формування структури під час лазерної термообробки має свої специфічні особливості. Висока швидкість охолодження дає змогу отримати високу неоднорідність структури через неомогенність аустеніту, який отримано під час швидкого нагрівання. Крім того, велика швидкість охолодження призводить до підвищеної дефектності структури, оскільки посилюється фазовий наклеп, сповільнюються процеси відпочинку і рекристалізації. При цьому відбувається подрібнення блоків, збільшення щільності дислокацій і зростання напружень у кристалічній решітці. Усі ці особливості призводять до зміцнення матеріалу, внаслідок чого мікротвердість сплавів після лазерного загартування вища, ніж після звичайних видів загартування [5, 6, 7, 8].

Високі швидкості охолодження, характерні для лазерної обробки, створюють умови для формування мартенситу навіть у низьковуглецевих сталях із вмістом вуглецю 0,3 %.

Процес лазерного загартування без оплавлення прагнуть проводити таким чином, щоб нагріти поверхню металу до найвищої температури для отримання максимальної глибини зони лазерного впливу, не допустивши оплавлення. Для цього необхідно працювати в умовах режимів, близьких до критичної густини потужності E_k . Це значення густини, вище якого відбувається оплавлення поверхні. Для різних сталей величина E_k перебуває в інтервалі $(2...6) \cdot 10^4$ Вт/см². Глибина зміцненої зони на сталях при цьому не перевищує 0,1...0,15 мм [7].

Під час лазерного загартування зазвичай використовують лазери безперервної дії (рис. 1.4, 1.5), вони дають змогу здійснювати обробку зі швидкістю 102 – 104 мм/хв. Після обробки на поверхні сплаву виходить загартована смуга. Під час загартування великих площ поверхонь сплавів загартування здійснюють смугами, водночас рекомендується робити невеликі відступи між цими смугами для запобігання появи м'яких плям (зон відпуску).

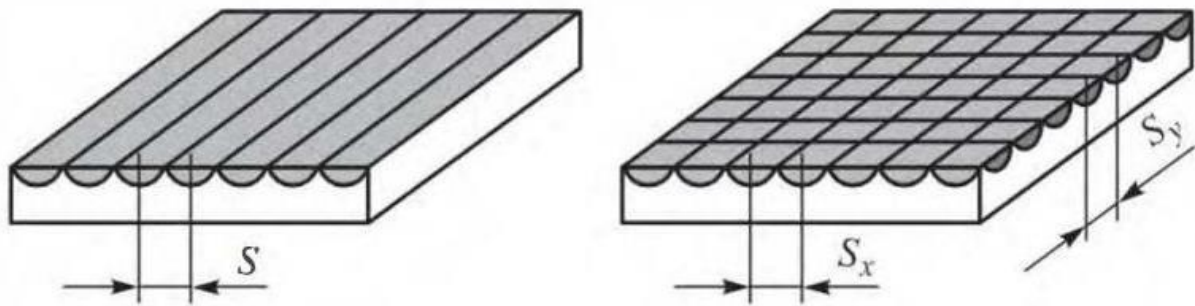


Рис. 1.4. Схеми накладення смуг лінійної (а) і клітинної (б) на плоскій поверхні

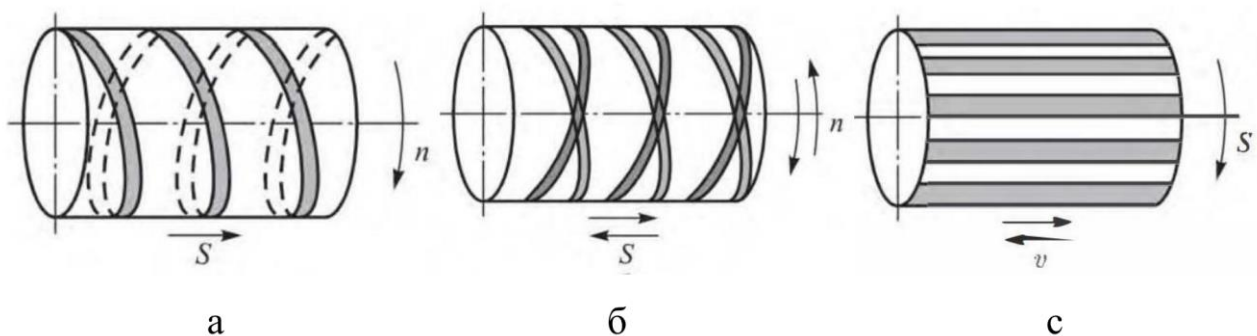


Рис. 1.5. Схеми накладення смуг односпіральних (а), двох спіральних (б) і вздовж осі на циліндричній поверхні (с)

Під час лазерного загартування ККД невеликий через часткове відбиття випромінювання в навколишнє середовище. Інтенсивність відбиття енергії визначається значеннями коефіцієнта відбиття, який залежить від матеріалу деталі, шорсткості поверхні. Нанесення на поверхню різних поглинаючих покриттів призводить до зміни глибини зміцнення. Найкращими властивостями володіють покриття, до складу яких входять оксиди цинку або алюмінію з добавками пластифікаторів і органічної зв'язки.

Лазерну обробку проводять в атмосфері повітря або захисного газу (азоту, аргону). Шорсткість поверхні в більшості випадків після лазерного загартування не змінюється. Застосування захисних середовищ для запобігання окисленню мало впливає на характеристики зміцненого шару при загартуванні. Однак глибина зміцнення під час обробки сталей у захисному середовищі менша, ніж під час обробки на повітрі.

Недоліками лазерного загартування є великі капітальні витрати внаслідок дорожнечі установок і складністю їхнього обслуговування, вимога до підготовки поверхні під лазерне зміцнення, шкідливі умови праці, пов'язані з особливостями роботи оптичних квантових генераторів.

1.2.1.3. Плазмове загартування

Плазмове загартування є одним із найекономічніших і найефективніших методів поверхневої термічної обробки концентрованими джерелами тепла. Він характеризується меншою вартістю, доступністю технологічного обладнання та великими розмірами зміцненої зони. Плазмове зміцнення без оплавлення поверхні є найбільш поширеним для сталевих деталей, оскільки забезпечує збереження якості (шорсткості) поверхні.

Плазмове загартування не спричиняє деформацій, тому в багатьох випадках не потрібне фінішне оброблення, що істотно знижує трудомісткість і собівартість виробництва.

Нині основним методом отримання плазми для технологічних цілей є метод пропускання газового струменя через стиснуту електричну дугу, розташовану у вузькому мідному каналі. Для генерації концентрованого потоку енергії при плазмовому загартуванні використовують спеціальні пристрої - плазмотрони (рис. 1.6).

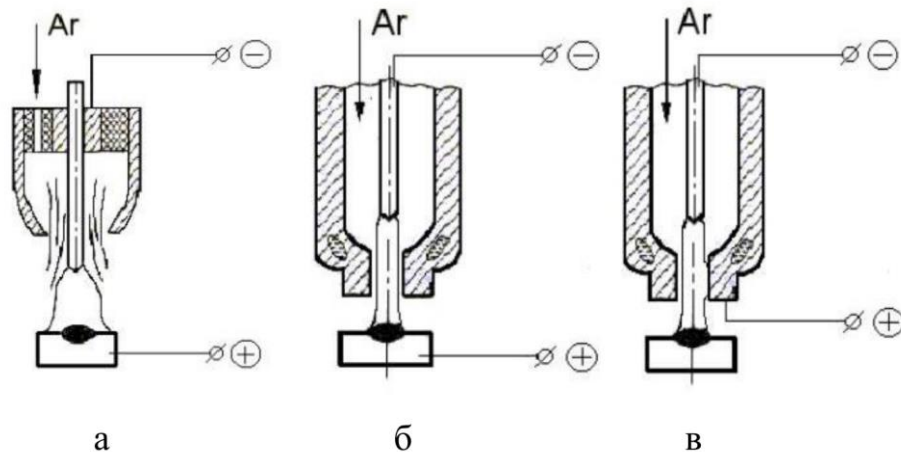


Рис. 1.6. Схеми аргонодугового пальника з електродом, що не плавиться (а), та плазмотронів із дугою прямої (б) і непрямої (в) дії

Основними регульованими параметрами плазмового гартування є величина струму, напруга дуги, тип плазмоутворювального газу та його витрата, швидкість гартування. Найбільший вплив на властивості зміцнюваної поверхні мають величина струму і швидкість загартування [12].

Під час зміцнення поверхонь аргон, азот, гелій, діоксид вуглецю та їхні суміші використовують як газ для утворення плазми. Аргон використовується найчастіше порівняно з іншими газами через те, що він легко іонізується, плазмовий струмінь стійкий за дуже низьких робочих температур, а конструкції плазмотронів, які працюють на аргоні, прості та зручні. Нагрівання поверхні матеріалу плазмовим струменем здійснюється за рахунок вимушеного конвективного і променистого теплообміну [14].

Дослідженнями фазового складу, структури і властивостей зони термічного впливу під час плазмового загартування показано, що на поверхні деталі в зоні зміцнення формується градієнтна структура, склад і властивості якої закономірно змінюються за глибиною. Зона гарту з дрібнозернистою мартенситно-

аустенітною структурою має високу мікротвердість, зносостійкість. Це пояснюється утворенням диспергування та збільшенням локальної неоднорідності структури пакетного та пластинчастого мартенситу з різним вмістом вуглецю, підвищенням густини дислокацій, збереженням нерозчинених під час нагрівання карбідних часток та утворенням у поверхневому шарі залишкового аустеніту, що сприяє зменшенню вифарбовування та розтріскування на етапі припрацьовування [16].

Використання газу аргону та інших інертних газів є основним недоліком методу плазмового гарту, оскільки ці інертні гази є дорогими [15].

1.2.2 Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічною обробкою (ХТО) називається технологічний процес, що полягає в поєднанні термічного і хімічного впливу з метою зміни складу, структури і властивостей поверхневого шару сталі. Методи ХТО металів є одними з найважливіших методів підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, втомної міцності, теплостійкості, а також стійкості металів і сплавів проти впливу зовнішніх агресивних середовищ за нормальних і підвищених температур. З поверхневою твердістю в межах 16000...32000 МПа [1, 2], що підвищує зносостійкість деталей машин [14].

Дифузійне насичення поверхні сталевих деталей бором, хромом, титаном і нікелем дає змогу отримувати покриття з високими фізико-механічними властивостями: зносостійкістю, корозійною стійкістю, міцністю зчеплення з металом основи [15].

Під час ХТО поверхню деталі насичують елементами С, N, Al, В, Cr тощо. Процес насичення відбувається шляхом дифузії атомів із зовнішнього середовища в поверхневі шари деталі. Під дифузією розуміють переміщення атомів у кристалічному тілі на відстань, що перевищує середні міжатомні відстані даного металу-розчинника. Кількісно дифузія характеризується коефіцієнтом дифузії D , що залежить від температури і властивостей речовини,

що дифундує. Залежно від елемента насичення ХТО включає цементацію, азотування, нітроцементацію, борування, хромування, титанування, алітування, силіціювання, цинкування тощо [13].

Вакуумна цементація та нітроцементація гарантують високі експлуатаційні властивості дифузійних шарів, хорошу відтворюваність результатів насичення, оптимальне співвідношення ціни та якості обробки [3, 4]. Вибір режимів вакуумної цементації та нітроцементації доцільно здійснювати на основі розв'язання оптимізаційної задачі [5]. Застосування математичного моделювання дає можливість максимально інтенсифікувати проектування технологічних режимів [6].

Цементація. Це процес насичення поверхні вуглецем з метою підвищення твердості, зносостійкості на поверхні деталі зі збереженням пластичності та в'язкості в серцевині: зубчасті колеса, посадкові місця валів під підшипники кочення, пари тертя тощо.

Процес цементації проводять на вуглецевих і легованих сталях, що містять до 0,25% С.

Насичувальне середовище при цементації може бути твердим, рідким, газоподібним. Нагрівання цементованих деталей проводиться при температурах 900... 950 °С. Час витримки залежить від марки сталі і товщини шару, який необхідно отримати для даної деталі. Швидкість охолодження після витримки при температурі цементації – уповільнена, з піччю.

У результаті цементації концентрація вуглецю в поверхневому шарі зростає до 0,8...1,4% С. Після цементації проводять загартування і низький відпуск для зняття внутрішніх напружень і отримання поверхневої твердості 56...62 HRC при збереженні в'язкої серцевини. Фазовий склад поверхні сталі після цементації являє собою мартенсит і вторинний цементит. Ефективна товщина цементованого шару становить 0,5...2,0 мм (максимально – до 6 мм) [7, 8, 9].

Технологія вакуумної цементації із загартуванням у середовищі інертних газів дає змогу підвищити продуктивність і забезпечити річну економію.

Однак у цьому разі необхідно використовувати спадково дрібнозернисті марки сталей із добавками карбідів [3].

Недоліком цементації є утворення на поверхні знеуглецьованого шару внаслідок окислення і викривлення під час високотемпературних нагрівань.

Азотування. Це процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом у середовищі аміаку. Для азотування застосовують низьковуглецеві та середньовуглецеві леговані сталі, такі як 38ХМЮА, 20Х2Н4ВА, 30Х3ВА тощо. Нагрівання відбувається при температурах 500...600 °С протягом 24...60 годин. Азотування підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, межу витривалості, корозійні властивості в атмосферному середовищі, воді тощо через утворення на поверхні нітридів Cr_2N , Mo_2N , AlN на глибині 0,2...0,4 мм. Твердість азотованого шару 62...64 HRC. Вища, ніж цементованої сталі, і зберігається під час нагрівання до високих температур (500...600 °С), тоді як твердість шару, що цементується, який має мартенситну структуру, зберігається тільки до 200...225 °С [11].

Азотування використовують для відповідальних деталей, деталей складної форми і тонких перерізів, які не піддаються подальшому шліфуванню.

Недоліками азотування є велика тривалість процесу, невелика глибина зміцненого шару.

Нітроцементация. Це процес насичення поверхні сталі одночасно вуглецем і азотом при температурі 820...860 °С у газовому середовищі, що складається з вуглецеутворювального газу та аміаку. Після нітроцементации термічна обробка проводиться безпосередньо з нітроцементацийної печі з температурою насичення. Процес нітроцементации набув широкого поширення в машинобудуванні для деталей, за умовами роботи яких достатня глибина зміцненого шару 0,5...2,0 мм, твердість 58...64 HRC [10].

Порівняно з цементацією, нітроцементацию проводять за нижчих температур, що дає змогу зменшувати ступінь окислення, викривлення і зростання зерна. Крім того, зниження температури насичення, без збільшення

тривалості процесу, дає змогу знизити деформацію оброблюваних деталей, підвищити стійкість пічного устаткування і зменшити час на підстижування перед загартуванням [9].

За оптимальних умов структура нітроцементованого шару має складатися з мартенситу відпуску, невеликої кількості карбонітридів $\text{Fe}_3(\text{C},\text{N})$, $\text{Cr}_2(\text{C},\text{N})$ і деякої кількості залишкового аустеніту. Структура серцевини складається з троостосорбіту, бейніту або маловуглецевого мартенситу. У нітроцементованому шарі нерідко допускається підвищена кількість залишкового аустеніту, який забезпечує хороше припрацьовування нешліфованих автомобільних шестерень, що забезпечує їхню безшумну роботу. Присутність азоту в дифузійному шарі мартенситностаріючої сталі, підданої вакуумній нітроцементациї, дає змогу збільшити кількість залишкового аустеніту та отримання карбонітридної фази сприятливої дрібнодисперсної структури [3].

Борування. Такий метод є одним з ефективних зміцнювальних способів підвищення зносостійкості, який дає змогу її підвищити в 3...4 рази [2]. Борування - це процес ХТО, що полягає в дифузійному насиченні поверхні сталі бором з утворенням боридів заліза Fe_2B і FeB . Борування може здійснюватися в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Температура процесу борування у зв'язку з високими значеннями енергії активації процесу коливається в діапазоні від 900 °С до 1100 °С. Тривалість процесу становить 2...10 год залежно від необхідної товщини. За цей час можна отримати товщину борованого шару від 20 мкм до 400 мкм [5].

Борування використовується для підвищення твердості, зносостійкості, червоностійкості і деталей, що працюють за знижених температур, знакозмінних навантажень або в агресивних і абразивних середовищах. Боровані шари мають жароміцність і можуть працювати за температури від 800 °С до 1000 °С, володіють підвищеною окалинотійкістю (до 800 °С) [8].

Підвищена крихкість є основною проблемою борованого шару. Тому борування не застосовується за наявності ударних навантажень і значних

контактних тисків, коли існує небезпека продавлювання високоміцного поверхневого шару за рахунок деформації м'яких підповерхневих шарів.

Хромування. Дифузійне насичення поверхні деталі хромом для підвищення зносостійкості, жаростійкості (до 800 °С), корозійної стійкості в морській воді, розчинах солей і кислот, а також ерозійної стійкості. Хромування підвищує межу витривалості сталі за кімнатних і підвищених температур, що пов'язано з виникненням у шарі стискаючих напружень. Хромуванню можна піддавати вироби, виготовлені з будь-яких сталей [7].

Хромування низьковуглецевих сталей використовується для підвищення жаростійкості та жароміцності на поверхні деталі. Твердість хромованого шару, отриманого на низьковуглецевих сталях, не перевищує 1500...3000 МПа. Хромування високовуглецевих сталей проводять для підвищення зносостійкості поверхонь, що працюють в умовах сильних контактних навантажень. Хром під час дифузії в поверхневий шар високовуглецевої сталі в значній кількості утворює карбідну фазу Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 з твердістю 1200...1300 НВ. Для цього вибирають сталь, що містить понад 0,4 %С. Товщина хромованого шару зазвичай не перевищує 0,2 мм [5, 7, 12]. Спосіб гальванічного хромування використовується широко у виробництві. Гальванічне хромування являє собою метод нанесення хрому на поверхню металів або пластмасових матеріалів шляхом використання електричного струму. Недоліком цього методу є небезпека для здоров'я спеціалістів та забруднення навколишнього середовища.

Нині вакуумні хіміко-термічні види обробки дали змогу значно поліпшити якість зміцнення обробки деталей і забезпечити зниження витрат на виробництво. Однак основними недоліками ХТО сталей є складність у реалізації, велика тривалість процесів дифузійного насичення і необхідність застосування додаткової термічної обробки з дотриманням високої культури виробництва. Також методи ХТО мають обмеження за розміром оброблюваних заготовок, і, не можуть бути реалізовані під час відновлення деталей.

1.2.3 Фізичне та хімічне осадження покриттів

Фізичне осадження з парової фази (ФОПФ) – Physical vapour deposition (PVD). Матеріал покриття переходить у газову фазу з твердого стану, з подальшим осадженням на поверхні деталей. Перехід у газову фазу здійснюється під час випаровування під дією теплової енергії (індукційний нагрів, електронно-променеві пучки, горіння катодної дуги тощо), або за рахунок кінетичної енергії зіткнення частинок матеріалу. Випаровування і розпилення має спрямований локальний характер. Тому, при нанесенні покриття, оброблювані вироби потрібно переміщати або обертати. Це є основним недоліком цієї технології. Частинки покриття можуть осідати у вигляді атомів або іонів. Процес зазвичай відбувається у вакуумі або в газовій атмосфері з тиском 10^{-2} мбар. Температура процесу не перевищує 500 °С, що дає змогу обробляти швидкорізальні та штампові сталі з більш високою температурою відпуску. Недоліками покриття PVD є складний технологічний процес і апаратура, потреби в дорогому обладнанні та висококваліфікованому персоналі [12].

Хімічне осадження з парової фази (ХОПФ), або Chemical Vapour Deposition (CVD), передбачає формування покриття на поверхні деталей шляхом осадження матеріалу з газового середовища, що може містити кисень, азот або вуглеводні. Рівномірність покриття досягається завдяки регулюванню швидкості потоку газу та надлишкового тиску в робочій камері. Процес проводиться за температури понад 1100°C, що виключає можливість обробки деяких покращуваних сталей. Під час застосування методу CVD для твердих сплавів виникають проблеми, такі як зниження в'язкості поверхні та її крихкість. Для вирішення цих проблем були розроблені низькотемпературні методи HT-CVD і MT-CVD, які дозволяють зменшити негативні ефекти високих температур. Метод CVD вважається одним із найперспективніших способів зміцнення поверхонь деталей у сільськогосподарському машинобудуванні [3, 4]. Головним недоліком технології CVD є зниження міцності основного матеріалу через високотемпературний нагрівання під час нанесення покриття [5].

1.2.4 Поверхнева пластична деформація - поверхнева пластична деформація

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) - обробка тиском, під час якої деформується тільки поверхневий шар металу. ППД може бути статичним і ударним. Статичне ППД здійснюється під час статичної взаємодії матеріалу, що деформується, з інструментом. При цьому інструмент впливає на оброблювану поверхню з певною постійною силою, відбувається плавне переміщення зони контакту інструменту і заготовки. Ця зона послідовно проходить всю поверхню, що підлягає обробці. При цьому інерційні сили вельми малі і не чинять помітного впливу на ППД. До статичних способів ППД належать: накочування; розкочування; вигладжування; дорнування. Ударне ППД здійснюється під час ударної взаємодії заготовки з інструментом. При цьому інструмент, робочі тіла або середовище багаторазово впливають на всю оброблювану поверхню або на її частину, а сила впливу P у кожному циклі змінюється від мінімуму до максимуму. До ударних способів ППД належать: обробка дробом; карбування; ударне накочування; відцентрове оброблення; ударне розкочування тощо. При ППД деформується тільки поверхневий шар металу. Цим процес принципово відрізняється від об'ємної обробки пластичним деформуванням, таким як кування, штампування тощо [4].

Поверхнєве пластичне деформування являє собою деформаційний метод зміцнення і застосовується для підвищення опору втомі і твердості поверхневого шару деталі, а також для утворення в поверхневому шарі залишкових стискаючих напружень [9].

Стискальні напруги в поверхневому шарі уповільнюють зародження втомної тріщини і тим самим збільшують довговічність деталей. Під час ППД підвищення твердості та міцності поверхневого шару відбувається в результаті наклепу. Зміцнення при наклепі широко використовують для підвищення механічних властивостей деталей, виготовлених методами холодної обробки тиском. Чим більший ступінь деформації, тим сильніше змінюються властивості

наклепаного металу. Зі збільшенням ступеня деформації межа плинності зростає швидше за тимчасовий опір [12].

У сильно наклепаних металів обидві характеристики зрівнюються, а подовження зводиться до нуля. Такий стан вважається граничним для наклепаного металу, і подальша деформація призводить до його руйнування. Завдяки наклепу твердість і межа міцності можуть зрости в 1,5–3 рази, а межа плинності — у 3–7 разів, залежно від ступеня максимально можливої деформації. Метали з ГЦК-решіткою демонструють більш значне зміцнення порівняно з металами з ОЦК-решіткою [2]. Найбільше збільшення твердості спостерігається у сталей з аустенітною, феритною і мартенситною структурами, найменше — у сталей з перлітною і сорбітною структурами [6].

Статико-імпульсна обробка дозволяє створити зміцнений шар до 10 мм завтовшки, який може мати однорідну або гетерогенну структуру [5]. У процесі пластичної деформації поверхні (ППД) висота мікронерівностей значно зменшується, формуючи плавний рельєф, що збільшує реальну площу контакту і знижує питомий тиск між сполученими поверхнями. Отримана поверхня характеризується низькою шорсткістю, яка зменшується з Ra 6,3 мкм до Ra 0,1 мкм [5].

Незважаючи на зниження пластичності, наклеп широко використовують для підвищення міцності деталей, виготовлених методами холодного оброблення тиском. Зниження пластичності під час наклепу покращує оброблюваність різанням в'язких і пластичних матеріалів (латуні, сплавів алюмінію та ін.).

Недоліками методу ППД є невисока твердість поверхневого шару, утворення на торцевих поверхнях деталі напливів, що потребують додаткової обробки.

1.2.5 Наплавлення і напилення металу

1.2.5.1 Наплавлення металу

Наплавленням називається процес нанесення шару металу або сплаву на поверхню виробу. По суті наплавлення є одним із видів зварювальних технологій, оскільки воно ґрунтується на тих самих фізичних і технологічних принципах, що й традиційні види зварювання. Наплавлення металу застосовується для відновлення геометрії зношених деталей, утворення поверхневого шару із заданими фізико-механічними властивостями (підвищена твердість, зносостійкість, антифрикційність, корозійна стійкість, жаростійкість тощо) [7].

Для відновлення і захисту поверхонь деталей за допомогою шару розплавленого металу використовують різні способи наплавлення, що залежать від методів плавлення та складу зварювального середовища: електродугове, вібродугове, газополум'яне, плазмове, лазерне, індукційне, електроіскрове, електрошлакове тощо. Найбільшого поширення набуло дугове [6] і плазмове наплавлення [7].

Матеріали для наплавлення представлені у різних формах, серед яких присадні прутки, порошкоподібні суміші, наплавочні електроди з покриттям, а також порошковий і суцільний дріт. У процесах електродугового наплавлення найчастіше використовують покриті електроди, присадні прутки та дріт.

Відновлювальне наплавлення призначене для відновлення початкових розмірів зношених або пошкоджених деталей. У цьому випадку склад і механічні властивості наплавленого металу максимально наближені до основного матеріалу. Наплавлення функціональних покриттів дозволяє створити поверхневий шар із заданими властивостями, зберігаючи конструкційну міцність основного металу. Наплавлений шар забезпечує специфічні характеристики, такі як зносостійкість, жаростійкість, жароміцність або корозійну стійкість [9].

Порівняно з іншими способами технології наплавлення мають низку переваг: можливість нанесення покриття великої товщини завдяки практично

необмеженому числу шарів, що наплавляються (електрошлакове наплавлення до 450 мм), і висока продуктивність (до 15...25 кг/год).

Недоліки технології наплавлення пов'язані з високою витратою енергії, використовуваної для розплавлення матеріалу, що наплавляється, так і матеріалу деталі. Це призводить до погіршення властивостей наплавленого шару через перехід у нього елементів основного металу, викривлення деталі через високий нагрів. Слід зазначити складність наплавлення на поверхню дрібних виробів складної форми і неможливість наплавлення на поверхню тонкостінних деталей внаслідок їхнього викривлення.

1.2.5.2 Напилення металу

Це технологія зміни структури поверхні з метою набуття певних якостей, що підвищують експлуатаційні характеристики. Обробку виконують шляхом нанесення однорідного металевого шару на поверхню деталі. Як витратний матеріал використовують спеціальні порошкові склади, які піддають термічній обробці та надають їм значного прискорення. Під час ударного зіткнення з поверхнею частинки осідають на поверхні.

У сучасній промисловості напилення металів вважається одним із найекономічніших способів зміцнювальної обробки. Порівняно з об'ємним легуванням технологія дає можливість отримати необхідні експлуатаційні властивості поверхні за менших витрат.

Покриття характеризується пластинчастою зернистою структурою, яка формується в результаті термічної дифузії дрібних частинок. Залежно від джерела теплової енергії, що використовується для напилення, виділяють такі методи: газополум'яне, електродугове, високочастотне, детонаційне, іонно-плазмове та плазмове напилення [12].

Газополум'яне напилення здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, у яких метал плавиться під дією ацетилено-кисневого полум'я, а його

розпилення забезпечується струменем стисненого повітря. Дріт подається через центральний отвір пальника і плавиться в зоні максимального нагріву [6].

Електродугове напилення базується на плавленні металу електричною дугою, що виникає між двома дротами, та його розпиленні стисненим повітрям. У ручних пристроях подача дроту здійснюється через повітряну турбіну, а у верстатних — за допомогою електродвигуна [10].

Високочастотне напилення використовує індукційний нагрів для плавлення дроту. Розпилення розплавленого металу виконується струменем стисненого повітря. Індуктор, живлений від генератора високої частоти, забезпечує локальне плавлення дроту, концентруючи нагрівання на короткій ділянці його довжини.

Детонаційне напилення використовує енергію вибуху ацетилен-кисневої газової суміші для плавлення, розпилення і перенесення матеріалу на поверхню деталі. У камеру пристрою подаються гази та порошок із частинками розміром 50–100 мкм. Електрична іскра запускає вибухову реакцію, яка надає частинкам швидкість до 800 м/с на відстані 75 мм від зрізу ствола. Удар частинок об поверхню перетворює їхню кінетичну енергію на теплову, нагріваючи частинки до 4000 °С. Після кожного імпульсу камера очищується азотом, а процес повторюється автоматично 3–4 рази на секунду [6].

Іонно-плазмове напилення. При цьому способі напилення деталі, на які наноситься покриття, поміщають у вакуумну камеру. У цій камері напилюваний метал завдяки теплу електричної дуги переводиться в плазмовий стан. Іонно-плазмову установку застосовують для зміцнення різального інструменту шляхом нанесення покриття з нітриду титану та для підвищення припрацьовуваності та зносостійкості поршневих кілець за рахунок нанесення покриття з нітриду молібдену. Ця установка може бути застосована також при відновленні деталей з невеликим зносом у межах 10...15 мкм [2].

Плазмове напилення — це метод нанесення металевих покриттів, який використовує тепло і кінетичну енергію плазмової дуги для плавлення і перенесення матеріалу на поверхню деталі. Завдяки високій ентальпії азотного

плазмового струменя та низькій вартості азоту, цей газ широко застосовується як плазмоутворювальний під час виконання процесу.

Матеріал для покриття вводять у сопло плазмотрона у вигляді гранульованого порошку або дроту. Використання дроту є менш поширеним через грубозернисту структуру, яка утворюється в покритті, а також обмеження у виборі матеріалів, придатних для виготовлення дроту [3].

У більшості випадків структурні характеристики і властивості поверхневого шару деталей мають вирішальний вплив на здатність матеріалів до руйнування. Руйнування металів і сплавів зазвичай відбувається з поверхні. Причинами порушення цілісності можуть бути: низька якість виготовлення захисних втулок консольних насосів, необґрунтований вибір матеріалів для їхнього виготовлення, неефективні технології їхнього зміцнення (34...40 HRC), що не враховують умови експлуатації та види тертя із сальниковою набивкою. Підвищення твердості поверхні є одним з основних заходів щодо збільшення довговічності завдяки підвищенню зносостійкості поверхневих шарів матеріалів. Існуючі способи зміцнення і підвищення твердості поверхні пов'язані із застосуванням методів поверхневого пластичного деформування, термічного, хіміко-термічного, лазерного, магнітно-імпульсного, термомеханічного і комбінованих методів підвищення довговічності. До теперішнього часу технологія обробки поверхонь концентрованими потоками електричної енергії є одним із найбільш затребуваних методів зниження собівартості виготовлення, зміцнення і підвищення якості деталей [2].

Електромеханічна обробка забезпечує: збільшення твердості поверхонь сталей до 70 HRC (сталі ХВГ, У10...13А); загартування маловуглецевих сталей (сталь 20) до 42 HRC, чавуну до 75 HRC; заміну хіміко-термічної обробки (цементації, нітроцементації ...); підвищення межі витривалості на 30...80%; підвищення зносостійкості в 3...12 разів; відсутність окиснення і знеуглецювання поверхневого шару; відсутність окиснення і знеуглецювання ...); підвищення межі витривалості на 30...80%; підвищення зносостійкості в

3...12 разів; відсутність окиснення і знеуглецювання поверхневого шару; відсутність викривлення виробу; зниження собівартості виготовлення в 2... 4 рази; загартування на повітрі і без використання охолоджувальних рідин, екологічну чистоту і безпеку; технологічну простоту способів обробки [1].

Специфіка роботи експериментальних і ремонтних організацій, що виробляють штучні вироби або деталі невеликими партіями, не дає їм змоги утримувати цехи та дільниці з обладнанням і кваліфікованими фахівцями, здатними забезпечити якість виготовлення деталей машин на рівні промислових підприємств. Однак навіть машинобудівні підприємства не гарантують необхідної якості виконання виконавчих поверхонь для широкої номенклатури деталей, насамперед за твердістю, шорсткістю, структурою і текстурою волокон металу. На одній деталі в різних комбінаціях можуть бути посадочні місця під підшипники кочення і ковзання, шліци і шпонкові пази, зубчасті профілі, отвори, різьблення і галтелі. Оскільки умови експлуатації та схеми навантаження перерахованих поверхонь неоднакові, їхні оптимальні показники не можна забезпечити тільки способом термічної або хімікотермічної обробки. Електро механічне поверхневе загартування (рис. 1.7) є одним зі способів обробки виробів концентрованими потоками енергії, що формує високі показники якості поверхневого шару деталей зі сталі та чавуну (рис. 1.8).



Рис. 1.7. Процес ЕМПЗ на токарному верстаті

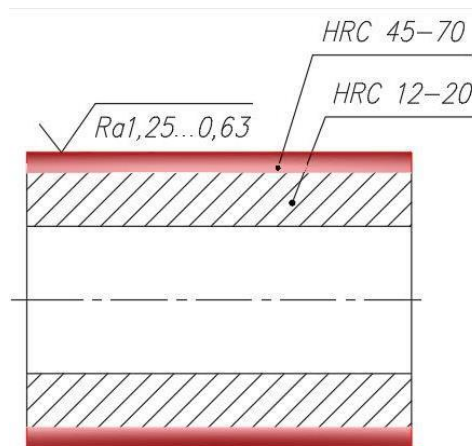


Рис. 1.8. Показники якості поверхневого шару під час ЕМПЗ

Особливістю ЕМПЗ є об'єднання поверхневого пластичного деформування і термомеханічного загартування в єдиній технологічній схемі оброблення заготовок і можливість формування на поверхні градієнтних загартованих шарів металу з дрібнодисперсною структурою (рис. 1.9). Це дає змогу значно підвищити зносостійкість захисних втулок.

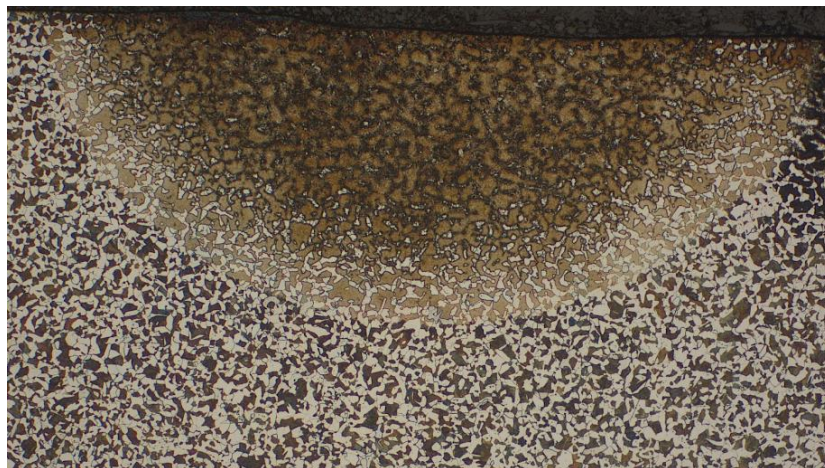


Рис. 1.9. Дрібнодисперсна структура металу.

Висновки по розділу

Причинами швидкого зношування поверхні захисних втулок консольних насосів є низька якість виготовлення захисних втулок, необґрунтований вибір матеріалів для їхнього виготовлення, неефективні технології їхнього зміцнення, які не враховують умови експлуатації та види тертя із сальниковою набивкою, що призводить до витоків рідини та зменшення надійності насосів.

В умовах сільськогосподарського ремонтного виробництва відсутні ефективні способи зміцнювальної обробки тонкостінних втулок, які б давали змогу з найменшими витратами отримувати високі фізико-механічні властивості поверхневого шару сталей. Недоліками таких технологій зміцнення, як поверхневе загартування, хіміко-термічне оброблення, поверхневе пластичне деформування та інших, є дорожнеча обладнання, високі вимоги до умов виробництва, що не дає змоги використовувати їх на малих ремонтних підприємствах і на підприємствах дрібносерійного виробництва.

Аналіз огляду сучасних методів зміцнення, їхніх переваг і недоліків дає змогу рекомендувати технологію електромеханічної обробки, зокрема електромеханічне поверхневе загартування (ЕМЗЗ), як один з ефективних способів підвищення зносостійкості тонкостінних втулок. ЕМПЗ заснована на поєднанні термічного і силового впливу на поверхню оброблюваної деталі. Така технологія може бути доступною підприємствам будь-якого рівня і характеризуватися простотою та універсальністю здійснення, безпекою та екологічною чистотою розробок, низькою енергоємністю при досягненні необхідної якості обробки поверхонь деталей машин.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика лабораторних досліджень

2.1.1 Обладнання, матеріали, інструмент і оснащення для ЕМПЗ втулок захисних

Для виконання процесів електромеханічного поверхневого загартування втулок, застосовно до умов одиничного і ремонтного виробництва втулок, використовується наступне обладнання та оснащення: установка електромеханічної обробки; державка телескопічна або спеціальні пристосування; струмопідвідний пристрій; силові струмопідвідні кабелі; інструмент. Виготовлення деталей у ремонтному виробництві здійснюється на універсальних токарно-гвинторізних верстатах марки 16K20 (рис. 2.1). Операції електромеханічної обробки виконує токар, який виконує звичайні операції різання [20].

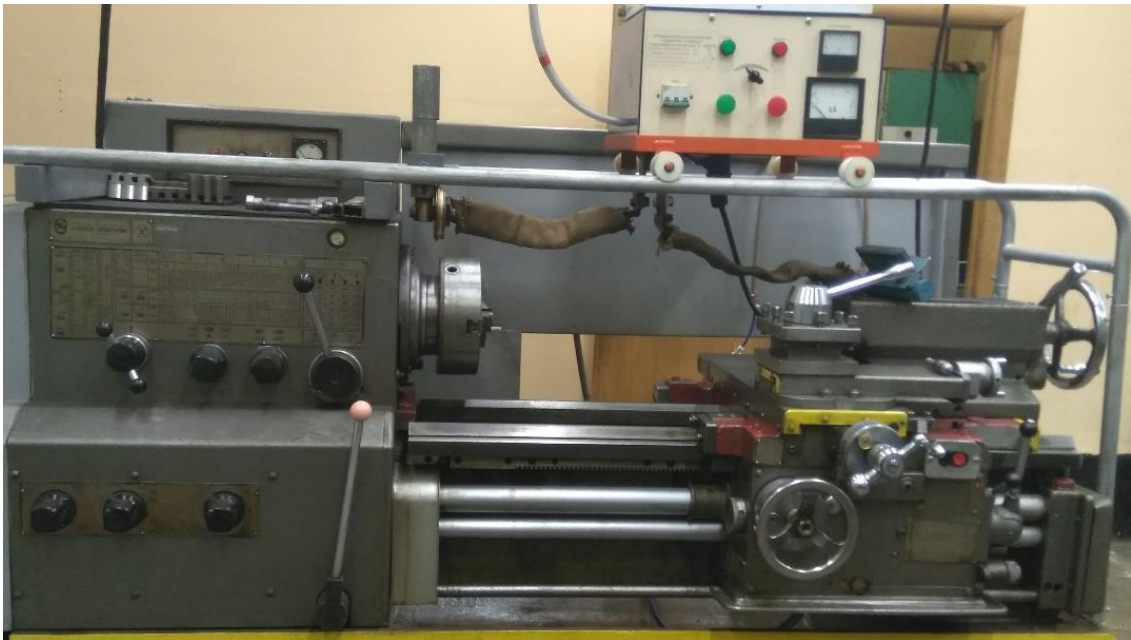


Рис. 2.1. Токарно-гвинторізний верстат для електромеханічної обробки.

Установка електромеханічної обробки призначена для виконання операцій електромеханічного поверхневого гартування в умовах ремонтного або одиничного виробництва. Установка електромеханічного поверхневого загартування (рис. 2.2.) складається з силового трансформатора, приладів контролю, керування та захисту, зібраних у єдиний корпус, і охолоджувальної частини [20].



Рис. 2.2. Установка электромеханического поверхностного закаливания [20].

Установка зібрана в металевій шафі і може розміщуватися в будь-якому зручному місці біля верстата. Режими обробки контролюють амперметром і вольтметром. На панелі установки розташовані також дві сигнальні лампи - «мережа» і «робота», автоматичний вимикач; кнопкова станція, маховик тиристорного приводу регулювання напруги, сигнальна апаратура; прилади контролю і спостереження [20].

Увімкнення і вимкнення установки проводиться через магнітний пускач переносною кнопковою станцією. Спеціальний інструмент підводять до оброблюваної поверхні деталі так, щоб між ними виник хороший електричний контакт [20].

Технічні характеристики установки для електромеханічного поверхневого загартування наведені в таблиці 2.1 [20].

Вмикають і вимикають установку за допомогою кнопок управління.

Загальне вмикання і вимикання здійснюється важелем автоматичного вимикача на 63 А. Підведення електричного струму від вторинної обмотки силового трансформатора до інструментів здійснюється за допомогою набору мідних шин. Довжина струмопідвідних шин має бути якомога меншою, і вони повинні добре кріпитися до вторинної обмотки трансформатора і

струмопідвідних планок державки телескопічної і струмопідвідного пристрою. В установці передбачена примусова схема повітряного охолодження вентилятором.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики установки для електромеханічного поверхневого загартування

Номінальна електрична потужність, кВт	10
Напруга мережі живлення, В	380 /220
Номінальна частота, Гц	50
Напруга вторинного ланцюга, В	0...7,5
Межі регулювання струму вторинного кола, А	0...2000
Маса, не більше, кг	50
Габаритні розміри, мм	350×500×400

Розроблено конструкцію струмопідвідного пристрою (рис. 2.3), що виключає застосування міднографітових щіток і дає змогу виконувати підведення електричного струму не через патрон токарно-гвинторізного верстата, що обертається. Підведення електричного струму здійснюється через обертовий бронзовий або мідний ролик, який контактує з однією з поверхонь деталі або пристосування. Ширина контактної поверхні струмопідвідного ролика має бути щонайменше вдвічі більшою, ніж ширина інструментального ролика або пластини [20].



Рис. 2.3. Загальний вигляд і розташування струмопідвідного пристрою на токарно-гвинторізному верстаті [20].

Другий кінець вторинної обмотки трансформатора установки електромеханічного поверхневого загартування за допомогою державки телескопічної підводиться до інструменту. Державка (рис. 2.4) кріпиться в різцетримачі токарно-гвинторізного верстата й ізолюється від металевих частин верстата текстолітовими прокладками. Робоче зусилля в зоні контакту «інструмент-поверхня деталі» забезпечує спеціально таровану пружину. Пружину встановлюють усередині державки, між рухомим штоком і наполегливою торцевою частиною корпусу [20].



Рис. 2.4. Державка телескопічна та її кріплення з інструментальним роликом у різцетримачі токарно-гвинторізного верстата [20].

Налаштування пристосування здійснюється в такій послідовності. Інструментальні ролики підтискаються до деталі до зіткнення з поверхнею. Потім, відгвинчуючи гайку, звільняється шток і він, під дією пружини, підтискається до деталі з необхідним зусиллям [20].

Підведення електричного струму в зону контакту інструменту і поверхні деталі від вторинної обмотки трансформатора установки електромеханічної обробки виконується за рахунок силових струмопідвідних кабелів або мідних струмопідвідних шин. Установку електромеханічної обробки розміщують у безпосередній близькості від робочого місця токаря. Перетин кабелів або мідних шин рекомендується не менше 150 мм². Довжина кабелів має бути по можливості мінімальною [20].

У дослідженнях застосовували зразки, виготовлені зі сталей 45, 40Г, 40Х, У8, ШХ15 і чавуну СЧ35. Для виконання процесів електромеханічного поверхневого загартування інструмент повинен мати високу зносостійкість і червоностійкість. Під час електромеханічного зміцнення та електромеханічного відновлення деталей на робочі поверхні інструменту одночасно впливають електричні та механічні чинники. Температура в зоні контакту «інструмент-поверхня» досягає 1000...1100 °С. Оптимальне зусилля в зоні контакту інструменту і поверхні деталі приймається в межах 200...500 Н. У цих умовах червоностійкість інструменту має бути значно більшою, ніж теплостійкість оброблюваного матеріалу. Застосовувані інструментальні ролики представлені на рис. 2.5 [20].



Рис. 2.5. Загальний вигляд інструментального ролика [20].

2.1.2 Виготовлення експериментальних зразків

Зразки для стендових випробувань (рис. 2.7) були виготовлені зі сталей 40Г, 40Х, 45, У8, ШХ15 і чавуну СЧ35 таких розмірів: зовнішній діаметр 25 мм; діаметр отвору 15 мм; висота 20 мм.

Шорсткість поверхонь досліджуваних зразків до ЕМПЗ відповідала $Ra_{3,2}$ мкм за ДСТУ.

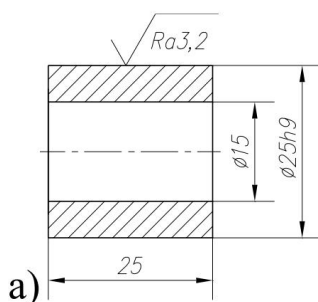


Рис. 2.6. Зразки для стендових випробувань: а - ескіз, б - зовнішній вигляд

2.1.3 Прилади для дослідження геометрії, структури та фізико-механічних властивостей поверхневого шару втулок захисних

Вимірювання твердості поверхні проводили за допомогою переносного твердоміра МЕТ У1 (рис. 2.7). Мікрошліфи готували за традиційною методикою - шліфуванням, поліруванням, травленням. Різання зразків проводили на установці Struers Secotom-15 (рис. 2.8).



Рис. 2.7. Переносний твердомір МЕТ У1



Рис. 2.8 Установка різання зразків Struers Secotom-15

Нарізані зразки, після видалення грубих задирок за допомогою алмазних надфілів різної зернистості, запресовували в смолу Durofast на установці CityPress-20 (рис. 2.9). Полірування і шліфування проводили на спеціальній установці з поетапним використанням шліфувальних і полірувальних дисків різної зернистості. Після кожного етапу зразки й установку промивали для видалення частинок металу.

Полірування виконували на диску з сукном, змочуваному водною суспензією, що містить абразивні частинки з розміром 9 мкм, 3 мкм, 1 мкм, на установці Tegamin-25 (рис. 2.10).

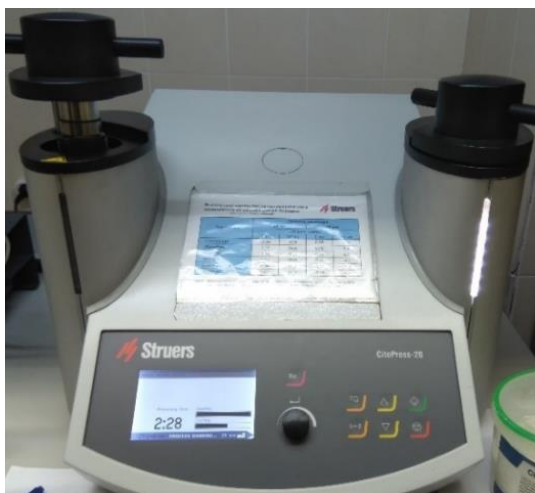


Рис. 2.9. Установка запресовування
CitoPress-20



Рис. 2.10. Шліфування та полірування
мікрошліфів Tegramin-25

Травлення шліфів проводили в чотирьох відсотковому розчині азотної кислоти в етиловому спирті.

Металографічні дослідження проводили на металографічному оптичному мікроскопі GX-51 фірми OLYMPUS за різних збільшень (рис. 2.11).

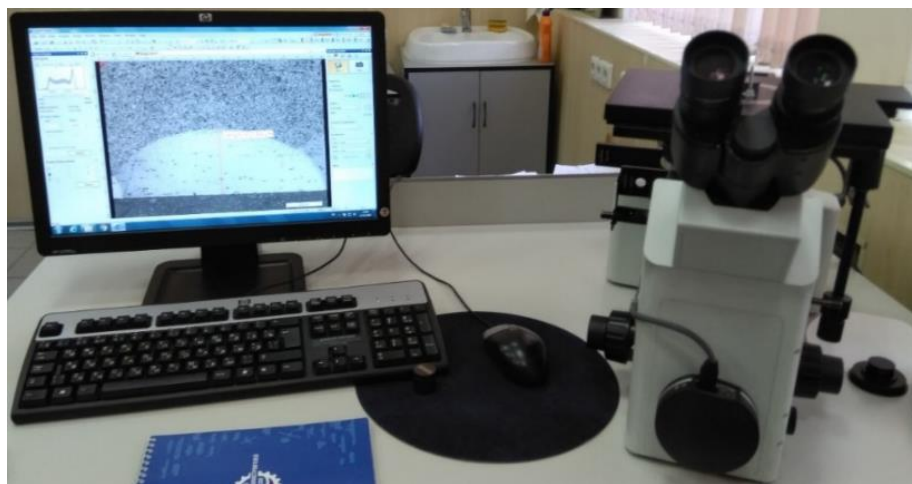


Рис. 2.11. Мікроскоп Olympus GX-51

Вимірювання мікротвердості зони зміцнення проводили на мікротвердомірі DuraScan EMCOTEST (рис. 2.12), на спеціально підготовлених мікрошліфах.



Рис. 2.12. Мікротвердомір DuraScan EMCO-TEST

Зношування зразків визначали зважуванням на аналітичних вагах AND GH-252 до і після випробувань з максимальною масою зважування 250 г і точністю 0,00001 г (рис. 2.13).

Дослідження мікроструктури та фрактограми термічно зміцнених шарів проводили за допомогою скануючого мікроскопа TESCAN VEGA II LMH з енергодисперсійним аналізатором хімічного складу Oxford Instruments INCAx-sight 5518 (рис. 2.14).



Рис. 2.13. Аналітичні ваги

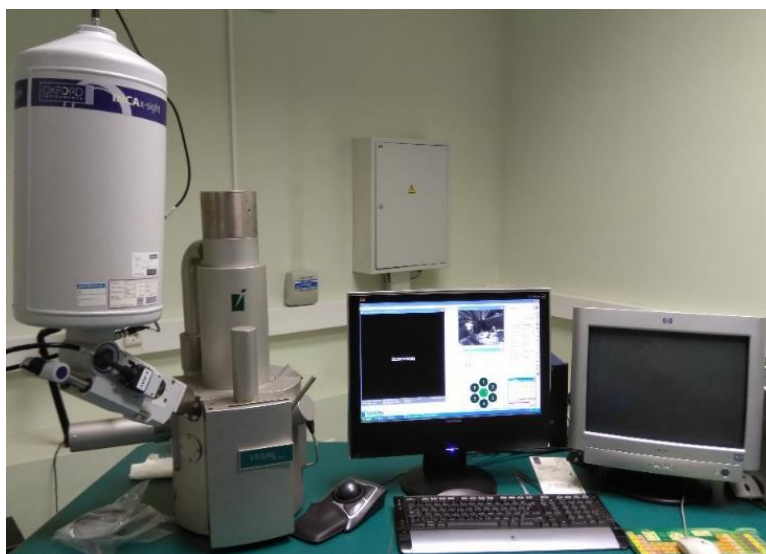


Рис. 2.14. Скануючий мікроскоп TESCAN VEGA II LM

Рентгено-фазовий аналіз сталей проводили на рентгенофазовому дифрактометрі ДРОН-4-07 (рис. 2.16).

2.2 Методика експериментальних досліджень

2.2.1 Методика проведення ЕМПЗ

ЕМПЗ зразків виконували на токарно-гвинторізному верстаті (рис. 2.15) з режимами: швидкість загартування 1,2 м/хв; сила струму у вторинному колі 1600 А; напруга вторинного кола 3 В; зусилля стиснення інструменту 400 Н; подача інструменту 2,5 мм/об.

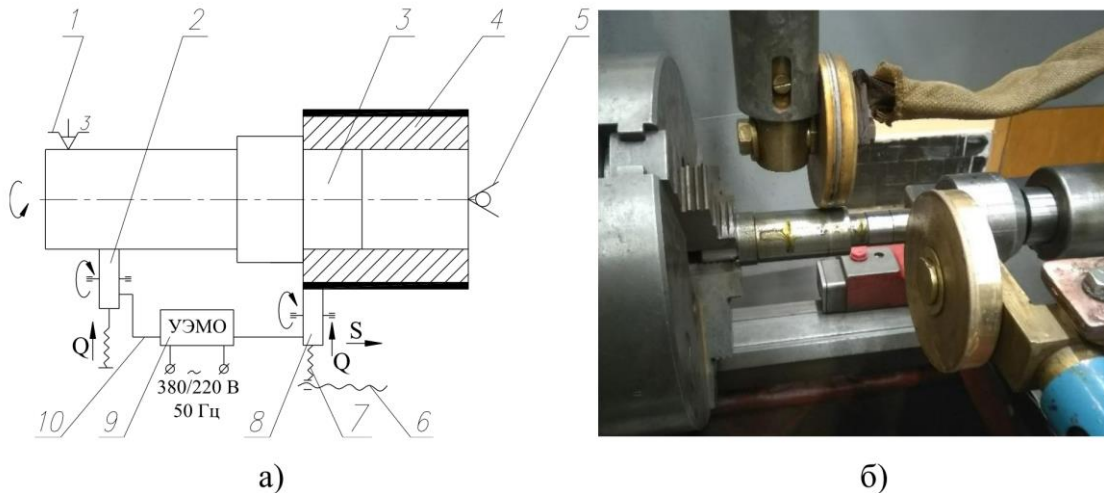


Рис. 2.15. Схема ЕМПЗ: а) принципова схема; б) загальний вигляд. 1 – трикулачковий патрон, що самоцентрується; 2 – струмопідвідний ролик; 3 – оправлення; 4 – зразок; 5 – обертовий центр; 6 – ходовий гвинт верстата; 7 – телескопічна державка; 8 – інструментальний ролик; 9 – установка електромеханічного оброблення; 10 – струмопідвідні шини.

2.2.2 Методика проведення випробувань на зношування

Для проведення зношувальних випробувань розроблено та виготовлено стенд, що дає змогу моделювати умови експлуатації, схему навантаження і характер зносу втулок захисних. Зносні випробування виконані на настільному токарному верстаті «Старт ТН-150» (рис. 2.16, 2.17) з частотою обертання 2000 об/хв. Оправку 2 затискали в трикулачковий самоцентрувальний патрон 1 верстата. Захисна втулка обертається разом із валом завдяки болту 10, сальник 8 закріплений у корпусі 7 фланцем 4.

Державка 11 приварена до корпусу 7 і закріплена в різцетримачі верстата 12. Під час випробування, в зону контакту сальникової набивки з втулкою по

системі 6, подавали воду і абразивні частинки. У процесі зносних випробувань використовували сальникову набивку наскрізного плетіння марки АП-31 6мм. Тривалість випробувань становила 30 хв на кожен зразок.

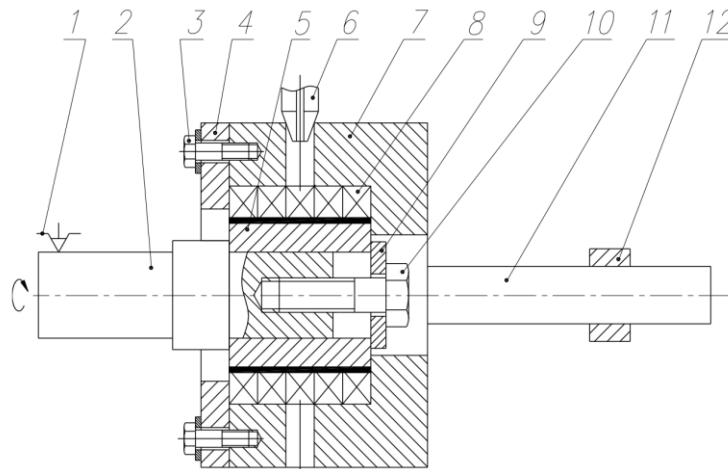


Рис. 2.16. Принципова схема пристосування для зносостійких випробувань
1 – трикулачковий самоцентруючий патрон; 2 – оправлення; 3 і 10 – болт; 4 – фланець; 5 – захисна втулка; 6 – система краплини; 7 – корпус; 8 – сальникова набивка; 9 – шайба; 11 – державка; 12 – різцетримач.



Рис. 2.17. Загальний вигляд пристосування для випробувань на зносостійкість.

Знос зразків визначали зважуванням на аналітичних вагах AND GH-252 до і після випробувань із максимальною масою зважування 250 г і точністю 0,00001 г. Перед зважуванням зразки протирали ацетоном, продували повітрям і сушили в муфельній печі за температури 60 °С.

Висновки по розділу

Розроблено обладнання, оснащення та інструментальні ролики для виконання операції електромеханічного поверхневого загартування зовнішньої поверхні захисних втулок в умовах АПК.

Розроблено та виготовлено стенд для зносостійких випробувань, що дає змогу моделювати умови експлуатації, схему навантаження і характер зносу захисних втулок для досліджень зносостійкості сталей після ЕМПЗ.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Механічні властивості поверхневого шару втулок захисних після ЕМПЗ

Після ЕМПЗ проведено вимірювання твердості поверхневого шару зразків переносним твердоміром МЕТ-У1 (рис. 3.1) [19].

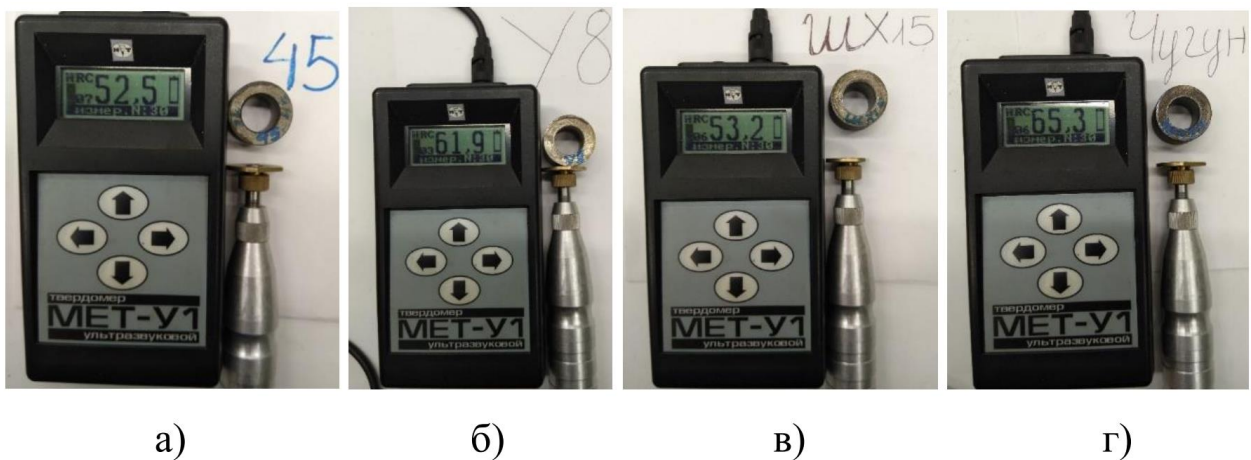


Рис. 3.1. Твердість поверхневого шару зразків після ЕМПЗ: а – 45; б – У8; в – ШХ15; г – СЧ35 [19].

Результати вимірювань показують, що твердість поверхні зразків після ЕМПЗ значно збільшується порівняно з вихідними значеннями: для сталі 45 було 25,7 до ЕМПЗ, стало 52,5 HRC; для сталі У8 було 37,1 до ЕМПЗ, стало 61,9 HRC; для ШХ15 було 25,4 до ЕМПЗ, стало 53,2 HRC; для СЧ35 було 25,9 до ЕМПЗ, стало 65,3 HRC. Це доводить ефективність способу ЕМПЗ. Після ЕМПЗ твердість поверхні збільшилася в 1,7...2,5 раза залежно від марки матеріалу [19].

Вимірювання мікротвердості по глибині зони зміцнення після ЕМПЗ проводили на мікротвердомірі DuraScan EMCOTEST за методом HV0,1 (табл. 3.1) [19].

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання мікротвердості в поперечному перерізі [19].

№ п/п	Відстань від поверхні, мм	Мікротвердість, HV					
		40Г	40Х	45	У8	ШХ15	СЧ35
1	0,05	716	735	754	893	777	944
2	0,2	705	754	766	862	751	738
3	0,35	694	754	747	847	738	524
4	0,50	705	792	679	847	662	381
5	0,65	694	701	701	847	483	386
6	0,8	255	310	279	554	237	326
7	0,95	246	287	275	248	243	306

Після ЕМПЗ мікротвердість поверхневого шару сталей збільшилася в 2,6...3,6 рази порівняно з початковими значеннями (рис. 3.2). Така твердість значно вища за вихідну і становить 700...940 HV залежно від марки матеріалу. Мікротвердість чавуну СЧ35 після ЕМПЗ висока (943 HV), але глибина зміцнення не велика (0,2...0,3 мм) [19].

Наприклад, для сталі У8, збільшення мікротвердості на глибині 0,05 мм від поверхні становило в 3,6 рази. Градієнтні шари з підвищеними значеннями мікротвердості спостерігаються на глибині до 1 мм за цих режимів [19].

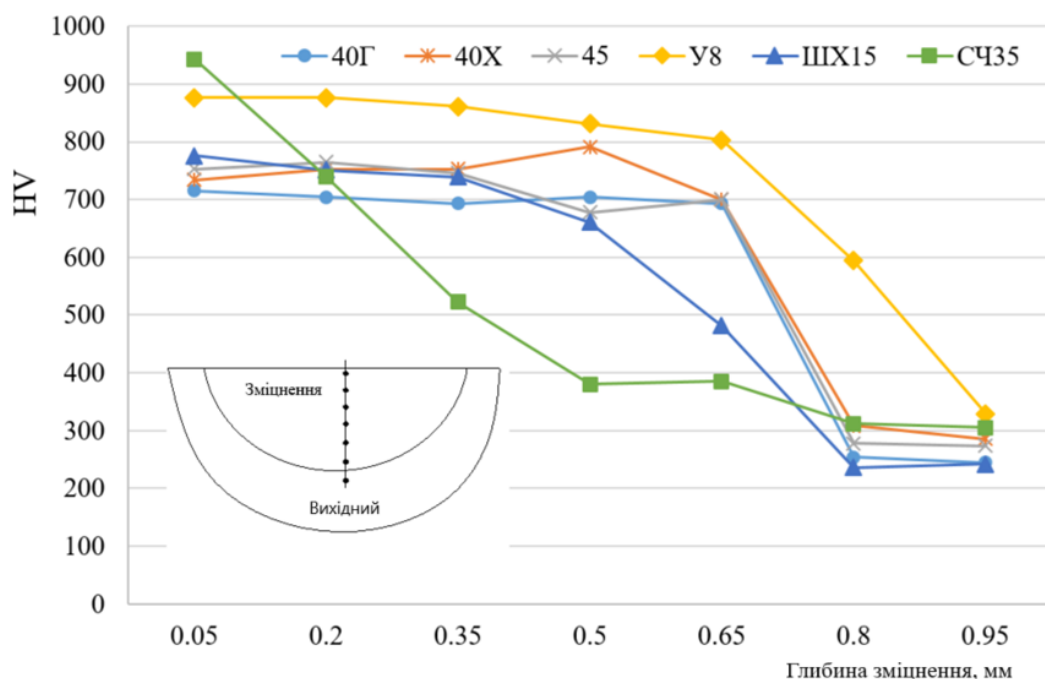


Рис. 3.2. Мікротвердості зміцнених зон досліджуваних матеріалів за глибиною від поверхні [19].

З віддаленням від поверхні мікротвердості зменшуються до вихідних значень. Перехідна зона має мікротвердість нижчу, ніж у зоні білого шару. Це пояснюється наявністю вельми високих температур локального нагріву за великої швидкості охолодження, але недостатньої для загартування цих об'ємів. На рис. 3.3 представлено відмітки замірів мікротвердості сталі 40Г у різних зонах [19].

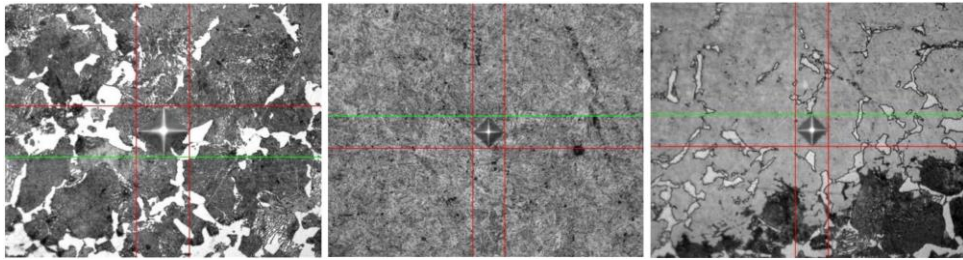


Рис. 3.3. Відбитки замірів мікротвердості сталі 40Г: а – вихідна, б – зміцнена, в – перехідна.

У разі їхнього перекриття спостерігається чергування повної загартованої зони, часткової загартованої зони і зони самовідпуску (рис. 3.4, 3.5).

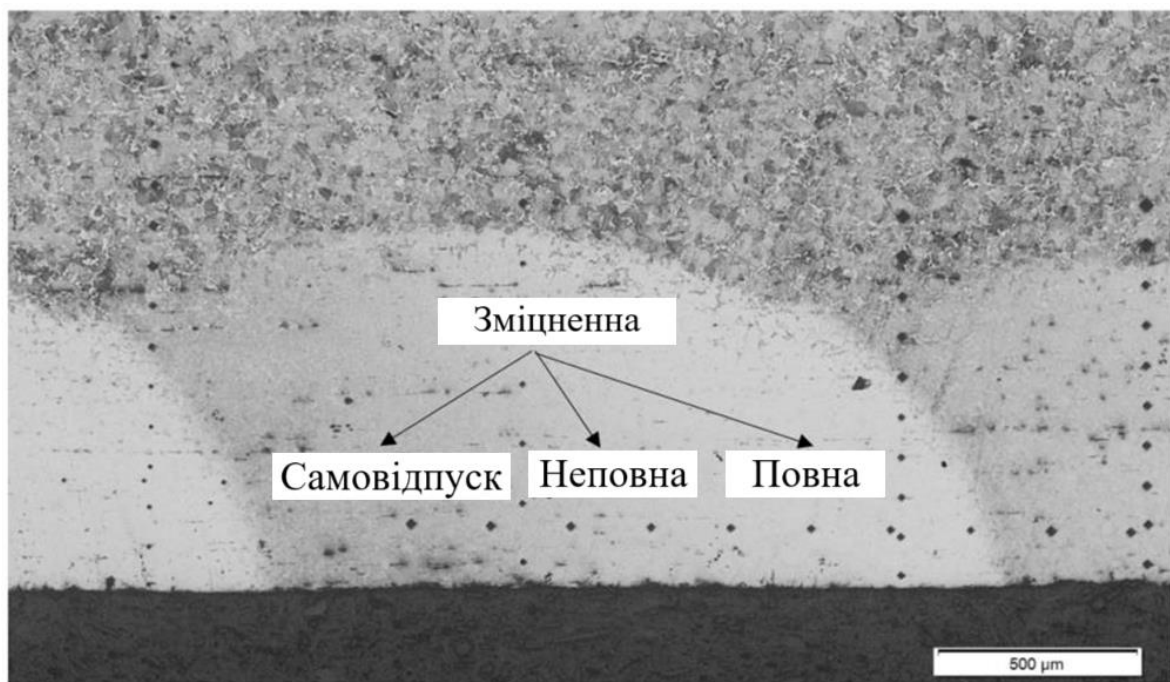


Рис. 3.4. Мікроструктура зони зміцнення сталі 40Г при перекритті.

Результати мікротвердості уздовж поверхні на глибину 0,15 мм сталі 40Г під час перекриття наведені в таблиці 3.2

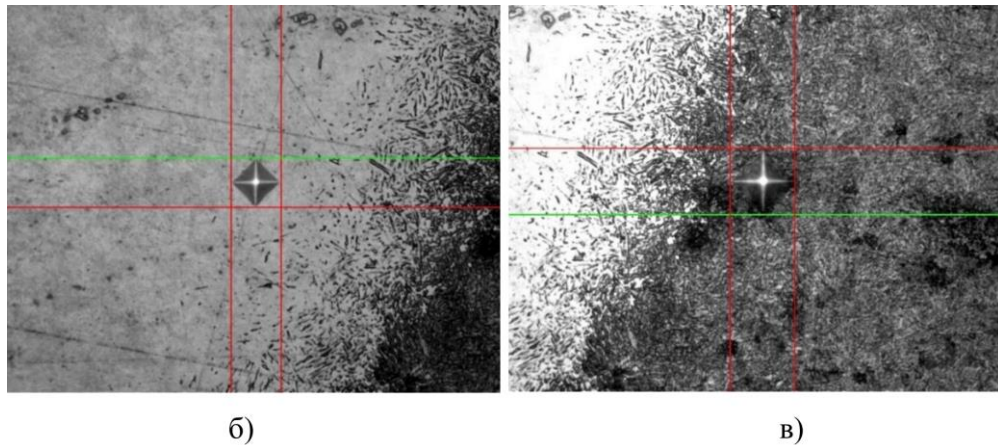


Рис. 3.5. Відмітки вимірів мікротвердості сталі 40Г під час перекриття: а – зона повного загартування, б – зона загартування із самовідпуском.

Таблиця 3.2 – Результати замірів мікротвердості вздовж поверхні на глибині 0,15 мм сталі 40Г за перекриття

№ п/п	Відстань, мм	Мікротвердість, HV
1	0,3	632
2	0,5	632
3	0,7	694
4	0,8	694
5	0,9	632
6	1	453
7	1,25	554
8	1,55	632
9	1,85	672
10	2,05	752
11	2,15	694
12	2,25	694
13	2,35	436
14	2,65	562
15	2,95	632
16	3,25	683
17	3,45	765
18	3,55	777
19	3,65	554
20	3,75	405
21	4,05	546
22	4,35	652
23	4,55	652
24	4,65	716
25	4,75	728
26	4,85	410

На рис. 3.6 представлено мікротвердість сталі 40Г уздовж поверхні залежно від розташування зміцнених зон.

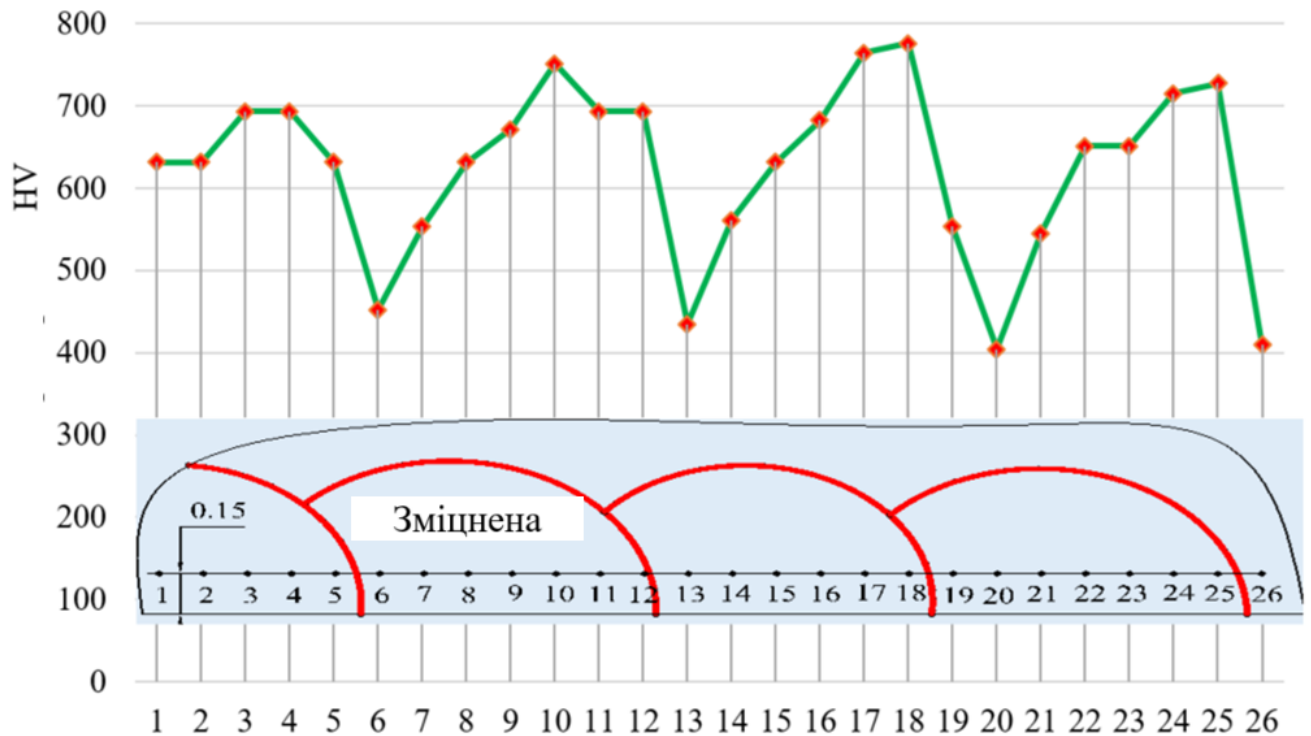


Рис. 3.6. Мікротвердість уздовж поверхні на глибині 0,15 мм сталі 40Г у разі перекриття

Хвилеподібна зміна значень мікротвердості пов'язана з особливостями проведення електромеханічної обробки. За необхідності, підібравши відповідні параметри обробки, можна мінімізувати цей ефект.

Повторне нагрівання попереднього треку під час накладення наступного призводить до відпуску сформованого раніше мартенситу. Ділянка повторного загартування з нагріванням, близьким до максимальної температури нагріву під загартування, під час охолодження на цій ділянці повторно формує мартенсит, який має високу мікротвердість. На рис. 3.6 це точки 3, 4, 10, 11, 17, 18, 24, 25 з мікротвердістю від 700 до 770 HV. Ділянка часткового загартування, нагріта під час формування наступного проходу нижче необхідної максимальної температури. Внаслідок цього під час нагрівання такої ділянки процес утворення аустеніту протікає не повністю, а під час охолодження в ній формуються мартенсит і ферит. Це точки 1, 2, 8, 9, 15, 16, 22, 23 з мікротвердістю від 600 до

680 HV. Ділянка самовідпуску, повторне нагрівання якої нижче критичних температур, призводить до розпаду мартенситу на сорбіт. Це точки 6, 13, 20, 26 з найменшою мікротвердістю від 400 до 450 HV.

На рис. 3.7 представлено мікротвердості двох серій зразків при перекритті. Встановлено, що мікротвердість у зоні загартування із самовідпуском (серія II) при перекритті менша, ніж у зоні повного загартування (серія I).

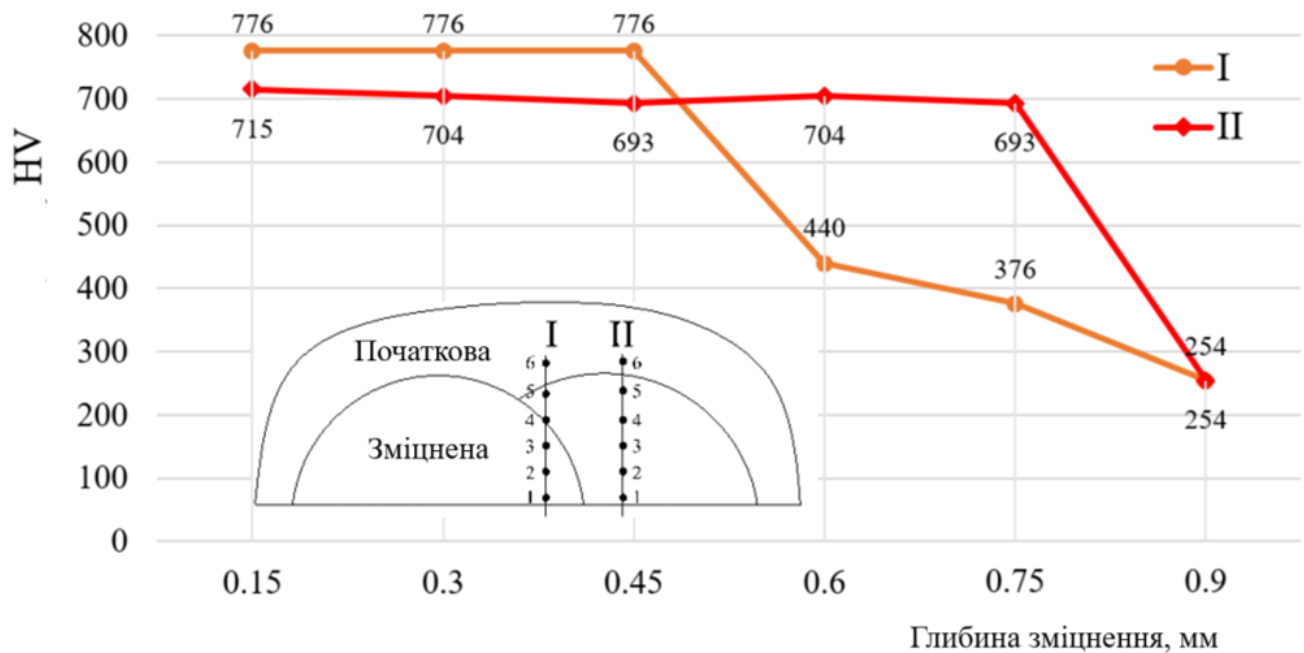
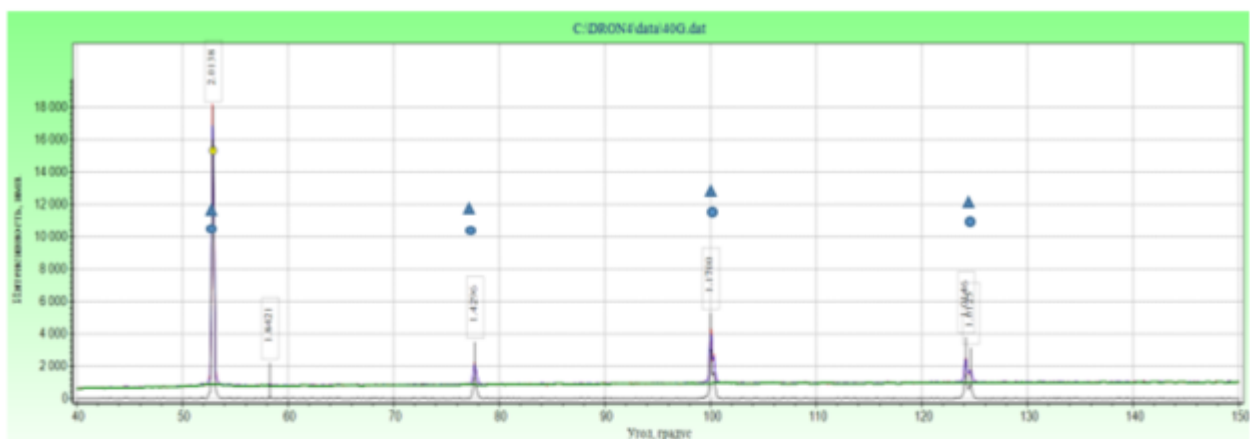


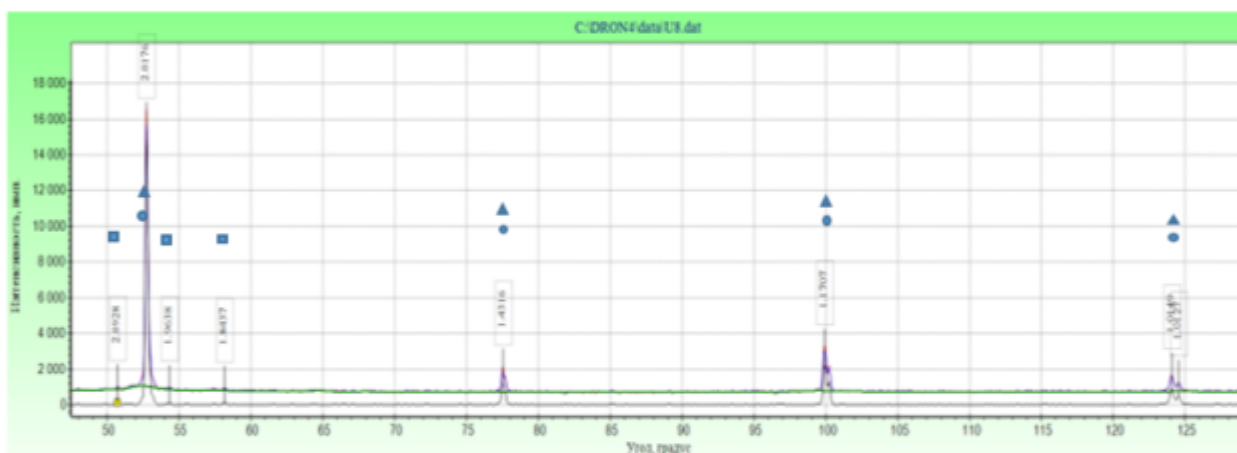
Рис. 3.7. Мікротвердість під час перекриття

Аналіз фазового складу сталі проводили на рентгенофазовому дифрактометрі ДРОН-4-07 за таких режимів: Крок зйомки, гр. 0.050; режим трубки БСВ-27 (Co) 20 mA, 35 kV; бета-фільтр – Fe; метод зйомки: за Бреггом-Брентаном – $w/2t$; комбінований $t=3000$ с, $V=4.0$ гр/хв.

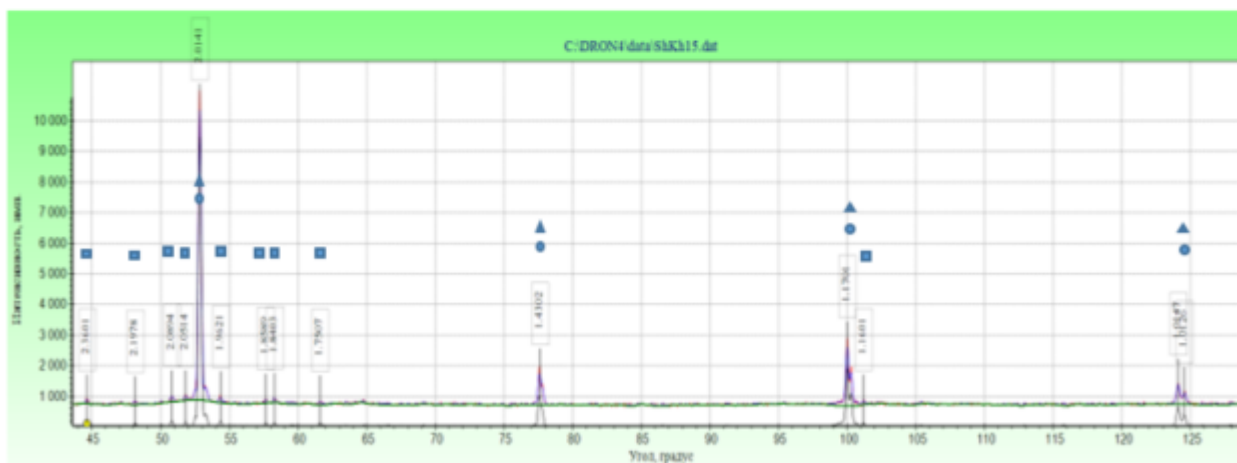
Результати аналізу представлені на рис. 3.8 і в таблицях 3.3, 3.4, 3.5 і доводять утворення фази мартенситу в зоні зміцнення.



а)



б)



в)

▲ - α- Fe; ● - α - мартенсит; ■ - Fe₃C

Рис. 3.8. Рентгенограма зразків зі сталей: 40Г (а); У8 (б); ШХ15 (в)

Таблиця 3.3 – Результати аналізу фазового складу сталі 40Г

Лінія №	2Theta, °	Іnten., імп.	%	d_hkl	Полуширина, °	Фаза	HKL
1	52,871	15311	100	2,0141	0,254	α – Fe, α – мартенсит	110
2	58,238	79	0,5	1,8432	0,323	–	–
3	77,659	1255	8,3	1,4288	0,356	α – Fe, α – мартенсит	200
4	100,031	2913	19,1	1,1711	0,463	α – Fe, α – мартенсит	211
5	124,149	1431	9,4	1,0150	0,335	α – Fe, α – мартенсит	220
6	124,581	764	5,1	1,0127	0,862		

Таблиця 3.4 – Результати аналізу фазового складу сталі У8

Лінія №	2Theta, °	Іnten., імп.	%	d_hkl	Полуширина, °	Фаза	HKL
1	50,731	142	1,0	2,0931	0,294	Fe ₃ C	212
2	52,760	14101	100	2,0182	0,261	α – Fe, α – мартенсит	111
3	54,321	102	0,8	1,9641	0,450	Fe ₃ C	113
4	58,191	104	0,8	1,8440	0,395	Fe ₃ C	222
5	77,541	1158	8,3	1,4320	0,348	α – Fe, α – мартенсит	201
6	99,950	2091	14,9	1,1711	0,291	α – Fe, α – мартенсит	211
7	124,081	851	6,1	1,0150	0,340	α – Fe, α – мартенсит	220
8	124,541	480	3,5	1,0131	0,859		

Таблиця 3.5 – Результати аналізу фазового складу сталі ШХ15

Лінія №	2Theta, °	Іnten., імп.	%	d_hkl	Полуширина, °	Фаза	HKL
1	44,651	115	1,4	2,3612	0,251	Fe ₃ C	211
2	48,151	108	1,3	2,1981	0,331	Fe ₃ C	202
3	50,820	177	1,8	2,0889	0,282	Fe ₃ C	212
4	51,831	152	1,8	2,0522	0,288	Fe ₃ C	103
5	52,862	9074	101	2,0150	0,261	α – Fe, α – мартенсит	111
6	54,371	173	1,8	1,9619	0,259	Fe ₃ C	113
7	57,659	109	1,3	1,8591	0,267	Fe ₃ C	132
8	58,311	133	1,6	1,8414	0,259	Fe ₃ C	222
9	61,611	116	1,4	1,7518	0,279	Fe ₃ C	123
10	77,630	1004	11,2	1,4313	0,361	α – Fe, α – мартенсит	201
11	100,011	1824	20,2	1,1710	0,269	α – Fe, α – мартенсит	212
12	101,122	125	1,6	1,1612	0,250	Fe ₃ C	333
13	124,121	614	6,9	1,0151	0,311	α – Fe, α – мартенсит	221
14	124,580	362	4,1	1,0131	0,830		

3.2 Результати випробувань на зносостійкості

У таблиці 3.6 і на рис. 3.9 представлено результати зносу поверхонь досліджуваних зразків до і після ЕМПЗ.

Таблиця 3.6 – Результати замірів зносу зразків до і після зміцнення

Тип зразка	Знос, г			
	45	У8	ШХ15	СЧ35
Вихідний	0,04188	0,01310	0,01688	0,02289
ЕМПЗ	0,01369	0,0071	0,0079	0,01231

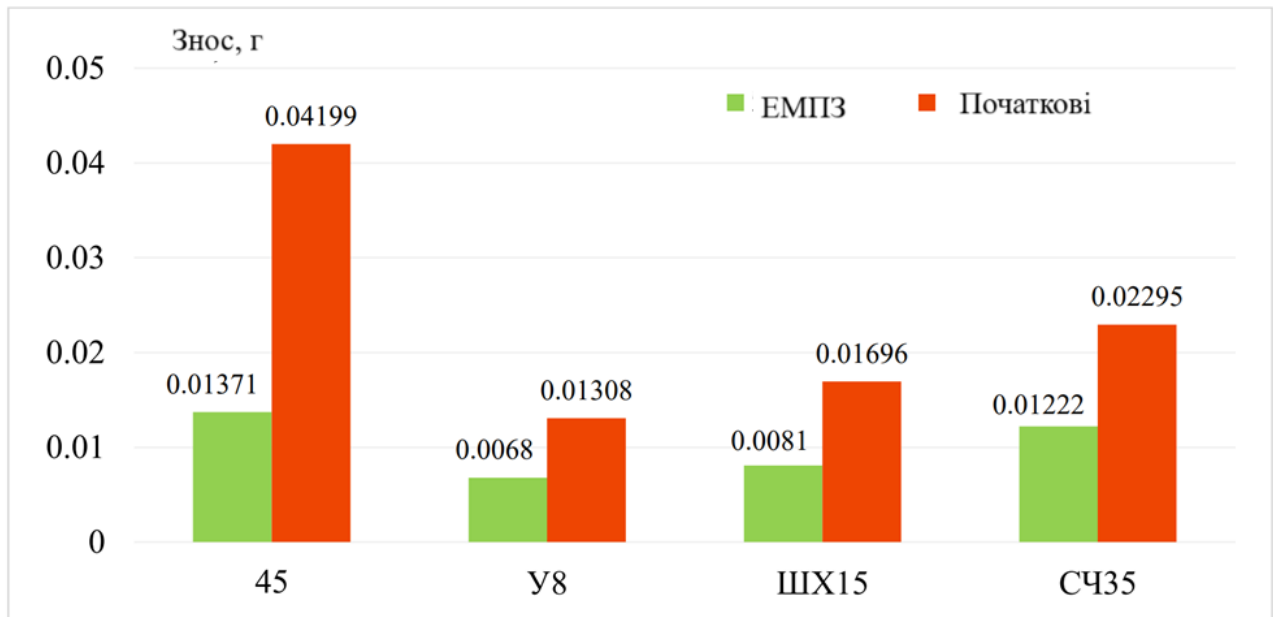


Рис. 3.9. Результати випробування зносостійкості

Результати досліджень засвідчили, що в умовах контакту захисної втулки і сальника в зоні тертя абразиву протягом 30 хв випробувань зносостійкість поверхневого шару сталі 45, У8, ШХ15 і чавуну СЧ35 після ЕМПЗ збільшилася для сталі 45 у 3,1 рази, для сталі У8 – у 1,9 рази, сталі ШХ15 – у 2,5 рази, чавуну – у 1,9 рази порівняно з вихідними значеннями. При цьому використання зразків зі сталі У8 після ЕМПЗ, замість серійних втулок зі сталі 45, дає змогу підвищити зносостійкість деталей у 6,1 рази.

3.3 Вибір матеріалу виготовлення захисних втулок консольних насосів

Однією з причин швидкого зносу поверхні захисних втулок консольних насосів є необґрунтований вибір матеріалів для їх виготовлення. За ескізом захисна втулка Н14.2.925.01.002 насоса ГрА 350/40 має бути виготовлена зі сталі 45 з твердістю поверхні від 49,5 до 53 HRC на глибині 0,8...1,2 мм. Однак у процесі роботи встановлено, що зносостійкість цього матеріалу не велика, що призводить до швидкої заміни втулок.

Під час аналізу результатів випробувань зазначили, що мікротвердість чавуну СЧ35 після ЕМПЗ найвища (943 НV), але глибина зміцнення невелика (0,2...0,3 мм), що не задовольняє технічним вимогам.

Мікротвердість і глибина зміцнення сталі У8 значно більші.

Ефективна глибина зміцненого шару сталі У8 більша, ніж у решти досліджених матеріалів за однакових режимів (рис. 3.10).

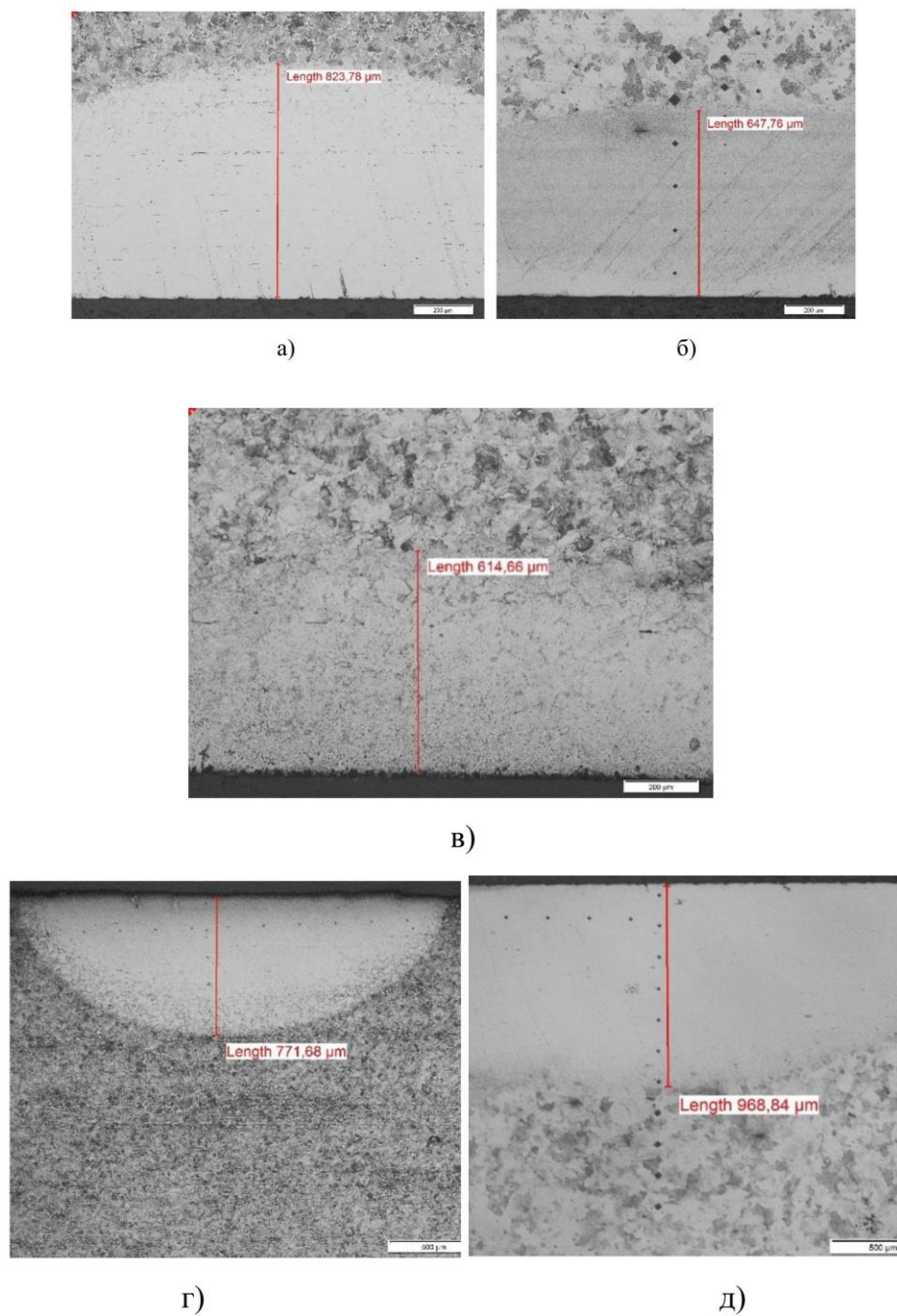


Рис. 3.10. Ефективна глибина зміцненого шару сталей під час ЕМПЗ: а – 40Г; б – ШХ15; в – 40Х; г - 45; д – У8.

Дослідження мікроструктури зразків після ЕМПЗ свідчить про формування фази мартенситу в зонах загартування з підвищеною твердістю.

Для сталі У8 після ЕМПЗ мікротвердість досягає 890 HV (67 HRC), що дає змогу підвищити зносостійкість поверхневого шару сталі У8 порівняно з іншими матеріалами. Результати зносостійких випробувань довели, що використання втулок зі сталі У8 після ЕМПЗ, замість серійних втулок зі сталі 45, дає змогу підвищити зносостійкість деталей у 6,1 раза. Крім цього сталь У8 не містить легованих добавок, тому ціна її зберігається в доступних межах. З вищевказаних даних аналізів можна рекомендувати до впровадження сталь У8 для виготовлення захисних втулок консольних насосів.

3.4. Загальні принципи електромеханічного поверхневого загартування захисних втулок

Захисні втулки мають тонкостінну конструктивну особливість. Це призводить до необхідності розроблення спеціального підходу до їхнього виготовлення та електромеханічного поверхневого загартування. Геометричні розміри захисних втулок мають повністю відповідати вимогам технічної документації, як за формою поверхонь, так і за вимогами шорсткості та точності. Під час обробки зовнішньої поверхні захисних втулок необхідно закласти припуск на фінішну обробку після ЕМПЗ для досягнення поверхневої шорсткості за технічними вимогами.

Механічна обробка та електромеханічне поверхнєве загартування зовнішньої поверхні захисної втулки консольних насосів виконується на універсальних токарно-гвинторізних верстатах із застосуванням універсальних пристосувань, оснащення та інструменту. Потім виконується фінішна обробка.

Перед виконанням операцій електромеханічної обробки необхідно провести контроль, що верстат, установка, струмопідвідний пристрій, державка телескопічна і силові струмопідвідні кабелі мають надійну ізоляцію один від

одного і від металевих частин обладнання. Після закріплення деталі в патроні токарно-гвинторізного верстата, необхідно перевірити і усунути биття, яке не повинно перевищувати 0,02...0,04 мм. Завершивши попередню стадію, приступають до виконання процесу обробки. Для цього необхідно:

- встановити державку в різцетримач верстата і підвести до нього струмопідвідний кабель від вторинної обмотки силового трансформатора установки електромеханічної обробки;
- налаштувати верстат на режим роботи відповідно до рекомендацій з електромеханічної обробки поверхні;
- установити маховик тиристорного приводу керування в крайнє праве положення;
- перевірити надійність усіх електричних контактів вторинної обмотки силового трансформатора установки і робочого ланцюга, забезпечити надійний контакт ролика струмопідвідного пристрою до поверхні деталі або оправлення; - підвести інструментальний ролик до деталі та увімкнути установку важелем автоматичного вимикача. При цьому спалахує сигнальна лампа «мережа», що сигналізує про підведення напруги 380/220 В до установки;
- перевірити відсутність замикання між установкою, струмопідвідним пристроєм і державкою телескопічною, для чого ввімкнути кнопку «пуск» переносної кнопкової станції (або кнопку на лицьовій панелі установки) і відрегулювати маховиком плавного регулювання напругу в робочому ланцюзі. За відсутності замикання – стрілка амперметра не повинна відхилятися. Після перевірки замкнутості ланцюга, відключити робочу напругу, натиснувши кнопку «стоп».

У разі відхилення стрілки амперметра при відведеному від деталі інструменті необхідно перевірити, чи не торкається наконечник струмопідвідного кабелю металевих частин верстата, а також справність ізоляції інструменту в державці телескопічній. У разі виявлення несправності – усунути її і провести повторну перевірку.

- підтиснути інструмент до деталі гвинтом поперечного супорта, увімкнути обертання шпинделя і одночасно здійснити подачу електричного струму, натиснувши кнопку «пуск». У процесі обробки можливе регулювання електричного струму маховиком плавного регулювання тиристорного приводу;

- у разі наближення інструмента до кінця оброблюваної поверхні спочатку необхідно відключити струм, а потім відвести інструмент від деталі і вимкнути обертання шпинделя верстата.

Зазначеного порядку необхідно дотримуватися неухильно, тому що в іншому разі під час відведення інструменту від деталі з увімкненим струмом станеться іскріння в місці контакту, унаслідок чого робочі поверхні інструменту і деталі будуть пошкоджені електричною ерозією.

Ознаками нормальної роботи і правильно обраного режиму обробки є: дотримання практичних рекомендацій вибору режимів і умов виконання операцій електромеханічного поверхневого оброблення; наявність у зоні контакту «інструмент - поверхня» невеликої червоної плями; відсутність у процесі обробки стружки і лущення поверхні; наявність рівно обробленої поверхні.

Технологія електромеханічної поверхневої обробки дає змогу проводити загартування з одночасним поліпшенням фізико-механічних властивостей поверхонь захисних втулок. У процесі електромеханічної поверхневої обробки зовнішньої поверхні захисних втулок для охолодження струмопідвідних кабелів і технологічного оснащення бажано застосовувати технологічну рідину, наприклад, емульсію. Подачу емульсії необхідно проводити і в зону контакту інструментального ролика і оброблюваної поверхні деталі.

У процесі обробки і після закінчення операції електромеханічного поверхневого загартування захисних втулок не можна торкатися нагрітих частин струмопідвідних кабелів, струмопідвідного ролика, інструментального ролика і деталі. Зняття деталі з верстата проводити в бавовняних рукавичках або рукавицях, після повної зупинки шпинделя верстата.

Висновки по розділу

Мікротвердість зміцнених зон сталей зросла у 2,6–3,6 раза порівняно з початковими значеннями на глибині до 1 мм від поверхні. При накладанні зміцнених зон формуються чергування повністю загартованих, частково загартованих зон і зон самовідпуску, причому мікротвердість сталі вздовж поверхні визначається розташуванням цих зон.

Застосування зразків зі сталі У8 після електромеханічного поверхневого загартування (ЕМПЗ) замість серійних втулок зі сталі 45 дозволяє збільшити зносостійкість деталей у 6,1 раза. Сталь У8 демонструє вищу мікротвердість і більшу ефективну глибину зміцненого шару порівняно з іншими матеріалами.

Технологія ЕМПЗ захисних втулок може бути доступною підприємствам будь-якого рівня через простоту й універсальність здійснення, безпеку та екологічну чистоту, низьку енергоємність при досягненні необхідної якості деталей машин. Це дає змогу рекомендувати технологію ЕМПЗ до широкого застосування у виробництві під час виготовлення тонкостінних деталей в АПК.

Використання захисних втулок зі сталі У8 із застосуванням ЕМПЗ дає змогу підвищити їхню зносостійкість у 6,1 раза порівняно із серійними втулками зі сталі 45. Мікротвердість і ефективна глибина зміцненого шару сталі У8 має вищі значення, ніж інші досліджені матеріали, що дає змогу рекомендувати до впровадження сталь У8 під час виготовлення захисних втулок консольних насосів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Огляд сучасних методів зміцнення, їхніх переваг і недоліків дає змогу рекомендувати технологію електромеханічної обробки і, зокрема, електромеханічне поверхневе загартування, як один з ефективних способів підвищення зносостійкості захисних втулок консольних насосів.

У магістерській роботі встановлено, що досягнення максимальних значень мікротвердості поверхневого шару на глибинах до 1,2 мм можливе завдяки електромеханічній обробці захисних втулок консольних насосів. Внаслідок цієї обробки мікротвердість зміцненої зони сталей зростає в 2,6–3,6 рази порівняно з початковими показниками, залежно від матеріалу, на глибині до 1 мм від поверхні. У разі перекриття зон зміцнення утворюються чергування повністю загартованої, частково загартованої зон і зони самовідпуску. При цьому мікротвердість вздовж поверхні визначається схемою зміцнення.

Результати випробувань на знос у парі тертя деталей консольних насосів із сальниковою набивкою продемонстрували значне підвищення зносостійкості захисних втулок після електромеханічного загартування. Зокрема, зносостійкість для сталі 45 зросла в 3,1 раза, для сталі У8 – у 1,9 раза, для сталі ШХ15 – у 2,5 раза, а для чавуну – у 1,9 раза порівняно з початковими характеристиками.

Використання втулок зі сталі У8 після електромеханічного зміцнення, замість серійних втулок зі сталі 45, дозволяє підвищити зносостійкість деталей у 6,1 раза. Це свідчить про доцільність впровадження сталі У8 для виготовлення захисних втулок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
2. Волошин С. П. Захисні втулки для насосного обладнання: сучасні матеріали та технології. Харків: ХНАДУ, 2019. 198 с.
3. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O. Research on a grain cultiseeder for subsoil-broadcast sowing. INMATEH. Agricultural Engineering. 2021. Bucharest. Vol. 63. No.1. P. 385-396.
4. ДСТУ ISO 1940-1:2020 Вимоги до балансування обертових частин машин. Частина 1: Загальні вимоги. Київ: Державний стандарт України, 2020. 28 с.
5. Демченко В. М. Методи підвищення зносостійкості деталей машин: навчальний посібник. Львів: ЛНУ, 2021. 224 с.
6. Єфименко П. Г. Триботехнічні властивості композиційних матеріалів у насосному обладнанні. Наукові праці НТУУ «КПІ». 2021. №2. С. 67–72.
7. Ковальчук О. В. Аналіз зношування захисних втулок консольних насосів. Технічна механіка. 2020. №6. С. 45–51.
8. Кузьменко М. О. Використання покриттів для підвищення зносостійкості насосних втулок. Вісник машинобудування. 2022. №1. С. 23–28.
9. Литвин В. А. Новітні матеріали для деталей насосного обладнання / В. А. Литвин. Київ: Наукова думка, 2019. 192 с.
10. Олійник В. П. Методи захисту деталей насосів від абразивного зносу. Дніпро: Університет друку, 2018. 156 с.
11. Паламарчук О. І. Оптимізація процесів нанесення покриттів для насосного обладнання. Вінниця: ВНТУ, 2020. 203 с.
12. Прокопенко І. Г. Застосування сучасних полімерних матеріалів у насосних установках. Вісник інженерних наук. 2021. №3. С. 89–94.

13. Руденко С. І. Дослідження зносостійкості деталей насосів у важких умовах експлуатації. Одеса: ОДАУ, 2019. 140 с.
14. Тарасенко М. Л. Використання композитних покриттів для захисту насосного обладнання. Харків: ХНУРЕ, 2021. 176 с.
15. Шевченко О. В. Модернізація захисних втулок консольних насосів: досвід і перспективи. Техніка і технології. 2022. №5. С. 53–59.
16. Zhang, H., Liu, P., Wang, X. Wear resistance improvement in pump sleeves using advanced coatings // Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 32, №8. P. 112–120.
17. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
18. Куликівський В.Л., Орел В.О. Аналіз дефектів захисної втулки консольних насосів. Сучасні вектори розвитку аграрної науки: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ХДАЕУ, 17-18 вересня 2024 року). Херсон: ХДАЕУ, 2024. С. 343-347.
19. Куликівський В.Л., Орел В.О. Механічні властивості поверхневого шару захисних втулок після електромеханічного поверхневого загартування. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 312-315.
20. Орел М., Середюк В., Куликівський В. Обладнання для електромеханічного поверхневого загартування захисних втулок. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 171-175.