

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ІДАН АЛАА ФАДІЛ ІДАН



УДК 621.785.5

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ЛОКАЛЬНОГО ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор **Акімов Олег Вікторович**, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Ливарне виробництво».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Тарельник В'ячеслав Борисович**, Сумський національний аграрний університет, завідувач кафедри технічного сервісу;

доктор технічних наук, професор **Резніченко Микола Кирилович**, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування та зварювання.

Захист відбудеться «04» лютого 2021 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «29» грудня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Н.В. Зубкова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з основних задач сучасного машинобудування є підвищення надійності та довговічності деталей машин. Використання традиційних конструкційних матеріалів (середньовуглецевих і низьколегованих сталей) для виготовлення таких деталей, як зубчасте колесо або шестерня, не є ефективним, оскільки під час експлуатації відбувається швидке руйнування або зношування поверхні зубців.

В основу проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення деталей машин, а саме для підвищення їх надійності та довговічності, забезпечення високої твердості поверхневих шарів виробів, все частіше додають операцію поверхневого зміцнення.

Необхідність у підвищенні якості поверхонь деталей машин мають такі деталі, як втулки, труби, шайби, гвинти, прокладки, осі, вали, вал-шестірні, плунжери, штоки, колінчасті та кулачкові вали, кільця, шпинделі, шнеки, оправки, рейки, зубчасті вінці, півосі, гідроциліндри, деталі верстатів та турбін, а також інструменти (свердла, мітчики, накатники, фрези, протяжки), штамповий інструмент, пуансони, особливо зубчасті колеса та шестерні.

В основу технологічного процесу виготовлення деталей типу зубчасті колеса та шестерні зазвичай закладено операцію об'ємного гартування, яку застосовують для вуглецевих і легованих сталей з вмістом вуглецю 0,35...0,5%. Недоліками об'ємного гартування є значне викривлення зубів і необхідність наступних обробних операцій, низький опір ударним навантаженням. Інші операції зміцнення коліс цієї групи забезпечують високу твердість поверхні зуба при збереженні в'язкої серцевини.

Технологічна операція поверхневого гартування деталей типу зубчасті колеса та шестерні забезпечує поверхневу твердість 48...55 HRC. Застосовується для сталей з вмістом вуглецю 0,3...0,5 % при модулі не менше 2,5 мм. В дрібномодульному колесі виникає небезпека наскрізного прогартування зубів, що спричиняє їх підвищену крихкість і короблення.

Технологічні операції поверхневого зміцнення деталей типу зубчасті колеса та шестерні такі, як цементация призводять до викривлення зуба, і тому потрібні ще додаткові обробні операції. Основним недоліком коліс, що азотуються, є мала товщина зміцненого шару 0,2...0,6 мм, що не дозволяє застосовувати їх при ударних навантаженнях і при роботі з абразивним зношуванням, через небезпеку стирання зміцненого шару і швидкого виходу передачі з ладу. Після нітроцементации викривлення зубів істотно менше, ніж при цементации, не потрібні додаткові довідні операції.

Враховуючи наведені недоліки існуючих операцій та експлуатаційну необхідність місцевого (локального) зміцнення зубчастих коліс, актуальним є розробка нових технологій локального поверхневого зміцнення, які можуть поєднувати декілька технологічних процесів. Таке поєднання дозволяє досягти

дуже високої ефективності поверхневого зміцнення, яку неможливо отримати яким-небудь одним способом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі ливарного виробництва згідно з пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки України «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості і сільському господарстві», за тематичними напрямками НТУ «ХПІ» згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942: «Цільові дослідження щодо отримання нових матеріалів, їх з'єднання і оброблення» та «Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання та оброблення конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів» відповідно до тематики кафедри. Госпдоговірних робіт: № 19480 з ТОВ «Вентиляторний завод Укрвентсистеми» (м. Харків): «Розробка методології та прикладного математичного апарату для обробки експериментальних даних по визначенню вихідних характеристик при випробуванні систем вентиляції для промислових об'єктів з метою оптимізації конструктивно-технологічних рішень при їх проектуванні»; № 19522 з ВАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» (м. Харків): «Інженерне моделювання литих корпусних деталей безступінчастої гідрооб'ємно-механічної коробки передач трактора в діапазоні потужності двигуна 240-300 к.с.», в яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є дослідження і створення технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин із застосуванням комбінованих методів локального зміцнення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати існуючі технології поліпшення експлуатаційних властивостей деталей машин.

2. Розробити технологію, яка дозволить сформувати раціональну структуру та властивості сталі шляхом лазерного гартування.

3. Розробити комбіновану технологію локального зміцнення поверхневого шару сталі.

4. Розробити способи підвищення експлуатаційних властивостей машинобудівних деталей.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси формування локальних зміцнених поверхневих шарів деталей машин з вуглецевих і легированих сталей.

Предмет дослідження – закономірності утворення зміцнених шарів, технології ефективною комбінованою лазерної та хіміко-термічної обробки.

Методи дослідження. Для комплексного вирішення завдань у межах цієї роботи використано системний підхід та раціональне поєднання теоретичних і експериментальних досліджень, узагальнення та аналізу відомих наукових результатів. Експериментальні дослідження реалізовані з використанням установки YAG-Лазер «DY044» виробництва фірми «ROFIN-SINAR». Основні параметри лазерної установки: активне середовище лазера – Nd:YAG, $\lambda = 1,06$ мкм, потужність $P = 5 \div 4000$ Вт, тип передачі – оптичне волокно ($\varnothing 600$ мкм,

довжина 20 м), крок керування потужністю 5 Вт. Лазерне зміцнення проводилося на установці «Латус-31». Потужність випромінювання лазера складала 0,9–1,1 кВт, діаметр плями – 5 мм. Швидкість переміщення лазерного променя варіювалася в діапазоні 0,5–1,5 м/хв. Мікротвердість зразків визначали на приладі ПМТ-3. Мікроструктуру і глибину зміцнених шарів досліджували методом оптичної мікроскопії на мікроскопі МІМ-7 за стандартною методикою при різних збільшеннях. За товщину зміцненого шару брали відстань зміни мікротвердості від поверхневих до значень твердості серцевини. Адекватність розроблених моделей оцінювали зі застосуванням теорії похибок. Математичне моделювання було проведено у програмі Mathcad, побудова графіків і номограм зроблено в програмі Microsoft Excel.

Наукова новизна отриманих результатів.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень отримано відомості про структуроформування і властивості сталей при лазерній обробці поверхонь деталей машин з метою їхнього зміцнення, а також знайдено нові рішення, які дозволяють науково обґрунтовано впливати на експлуатаційні властивості деталей машин:

1. Вперше отримано закономірності впливу швидкості переміщення лазерного променя на глибину зміцненого шару залежно від марки сталі при обробці тільки лазером і комбінованою технологією зміцнення, що дозволило отримати конкретні технологічні параметри проведення поверхневого зміцнення.

2. Отримав подальший розвиток метод інтенсифікації технології азотування, який відрізняється від існуючих попередньою лазерною обробкою поверхні, що дозволило значно підвищити поверхневу твердість деталей.

3. Удосконалено технологію комбінованого зміцнення поверхневого шару сталевих деталей, яка відрізняється від існуючих попередньою лазерною обробкою і боруванням, що дозволило збільшити глибину зміцненого шару в 2,7–5,5 разів.

4. Вперше створено математичні моделі та номограми впливу швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування на товщину зміцненого шару та поверхневу твердість, що дозволило визначити конкретні умови обробки для підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення роботи полягає у вирішенні важливої науково-технічної задачі щодо розробки технологій комбінованого зміцнення поверхневих шарів деталей машин, які полягають в попередній лазерній обробці і наступної хіміко-термічної обробки.

На основі комплексу проведених теоретичних та експериментальних досліджень, сформульованих принципів, закономірностей і положень отримано наступні практичні результати:

1. Іntenсифіковано процес азотування за рахунок попередньої лазерної обробки поверхні сталевих виробів і застосування дисперсного азотовмісного середовища для хіміко-термічної обробки, який підвищує поверхневу твердість після азотування в 0,88–1,15 разів і сприяє значному збільшенню зміцненого шару, а саме до 0,49 мм (сталь 40), до 0,55 мм (сталь 40Х) і до 0,65 мм (сталь 38Х2МЮА).

2. Створені математичні моделі, що описують залежності товщини зміцненого шару та поверхневої твердості від зміни значень швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування сталі після комбінованої обробки, дозволяють побудувати номограми для вибору раціональних режимів зміцнювальної обробки.

3. Інтенсифіковано процес борування за рахунок попередньої лазерної обробки поверхні сталевих виробів і застосування дрібнодисперсного боровмісного порошку в якості насичувального середовища для хіміко-термічної обробки, що сприяє збільшенню зміцненого шару в 2,7–5,5 разів залежно від зміни швидкості переміщення лазерного променя.

4. Використання розроблених комбінованих технологій поверхневого зміцнення сталевих виробів має такі переваги:

- спрощено технологію отримання твердого зміцненого шару на сталях за рахунок інтенсифікації процесів хіміко-термічної обробки;
- забезпечено високі експлуатаційні властивості зміцнених шарів сталевих виробів;
- застосування технології борування сталевих виробів дозволяє поєднувати хіміко-термічну обробку (борування) з операцією термообробки (гартування), що підвищить термін служби деталей обладнання, експлуатаційних властивостей дифузійних шарів інструментів, штампового і пресового устаткування.

5. Розроблені технологічні процеси комбінованого зміцнення поверхневого шару сталевих виробів впроваджено для підвищення поверхневої твердості зубців зубчастого колеса на ТОВ «НВЦ ЄТМ» (м. Харків, акт впровадження від 03.10.2017 р.); зубців вал-шестерень, зубчастих коліс, шестерень, зірочок та втулок на ПАТ «Харківський машинобудівний завод «Світло шахтаря» (акт впровадження від 16.11.2017 р.); зубців вал-шестерні, зубців втулки на АТ «Харківський тракторний завод» (акт впровадження від 24.01.2018 р.). Визначено можливість використання розроблених технологій локального поверхневого зміцнення для широкої номенклатури виробів зі сталей.

6. Розробки, виконані в дисертації, впроваджено в навчальний процес для студентів механіко-технологічного факультету НТУ «ХПІ» спеціальностей 131 «Прикладна механіка» спеціалізації 131-09 «Обладнання та технології ливарного виробництва» та 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» спеціалізації 151-07 «Комп'ютеризовані системи управління технологічними процесами» (Акт впровадження від 20.12.2017 р.).

Особистий внесок здобувача. У наведеному дисертаційному дослідженні вклад автора полягає в обґрунтуванні загальної концепції роботи; формулюванні мети і завдань дослідження; виборі підходів для вирішення поставлених завдань; розробленні й аналізі математичних моделей, що описують залежності товщини зміцненого шару та поверхневої твердості від зміни значень швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування сталі після комбінованої обробки. Автору належать основні ідеї дисертаційної роботи, положення, що виносяться на захист, а також загальні висновки і результати.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи оприлюднено та позитивно оцінено на Міжнародних науково-практичних виставках-конференціях: «Литво. Металургія» (м. Запоріжжя, 2016–2017 рр.); «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2016–2017 рр.); «Нові матеріали і технології в машинобудуванні 2016, 2017» (м. Київ, 2016–2017 рр.); магістрантів та аспірантів НТУ «ХПІ» (м. Харків, 2016–2017 рр.); «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем в навчальному процесі та науці» (м. Харків, 2017 р.), а також на наукових семінарах кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 19 наукових роботах, в тому числі: 8 статей у наукових фахових виданнях України, дві з яких входять в базу Scopus і одна одноосібна, опублікована в міжнародному журналі англійською мовою, 2 патенти України та 9 тез у збірниках доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 137 сторінки, анотація на 14 сторінках, зміст на 2 сторінках, основний текст на 104 сторінках, список використаних джерел із 129 найменувань на 17 сторінках, 5 додатків на 7 сторінках. Робота містить 38 рисунків, з яких 4 на 2 окремих сторінках, та 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи; обґрунтовано актуальність теми; сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження; описано застосовані методи дослідження та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; надано інформацію про апробацію та публікацію результатів дисертаційних досліджень.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел, що стосуються досліджуваної в дисертаційній роботі проблеми локального зміцнення поверхневих шарів сталі із застосуванням лазерної обробки. Проаналізовано лазерні обробки металів, комбіновані технології обробки деталей. Виконано аналіз відомих способів підвищення експлуатаційних властивостей машинобудівних деталей.

Встановлено, що відомі комбіновані технології лазерної обробки і хіміко-термічної обробки мають ряд невирішених питань. Зокрема, вони не забезпечують достатню товщину зміцненого шару, є складними у використанні, трудомісткими, енергозатратними, тривалими процесами. Тому перспективним напрямком збільшення терміну служби деталей машин є створення інноваційної технології комбінованого зміцнення поверхневого шару сталі завдяки прискоренню процесу азотування і борування.

У другому розділі виконано формування раціональної структури і властивостей сталі шляхом лазерного гартування. Попередня термічна обробка сталі 40 полягала в проведенні відпалу (нормалізації), гартування і відпуску. Температура гартування сталі згідно з критичними точками становила 850 °С. Після гартування зразки зі сталі піддавали високому відпуску. Температура відпуску сталі 40 становила 550 °С. Тривалість витримки при високому відпуску становила 1,5 години. За цей час повністю відбуваються фазові перетворення розпаду мартенситу гартування на сорбіт відпуску. У вуглецевій конструкційній сталі 40 після поліпшення формується структура з феррито-цементитної механічної суміші, в якій зернистий цементит має дисперсну округлу форму завдяки коагуляції і сфероїдизації при температурі 550 °С. Для проведення експериментальних досліджень використано безперервний Nd: YAG-Лазер «DY044» виробництва фірми «ROFIN-SINAR».

Вихідна структура доєвтектоїдної сталі 40 складається зі структурно вільного фериту і перліту – евтектоїдної суміші цементиту і фериту. Перше, що відбувається при лазерному нагріванні відпаленої сталі, – це поява ділянок високовуглецевого аустеніту близько цементитних частинок в зоні термовпливу в перлітних ділянках. При охолодженні на місці високовуглецевого аустеніту формується велика кількість мартенситних ділянок.

Лазерний швидкий нагрів відпаленої сталі з різко вираженими структурними складовими у вихідному стані взагалі не дозволяє отримати однорідну кінцеву структуру. Для цього потрібна підготовча термічна обробка, яка вирівнює вихідну структуру. Тому у відпаленому стані застосування лазерного гартування є недоцільним.

Основною особливістю лазерної обробки попередньо загартованої сталі полягає в обов'язковому прояві структурної спадковості при нагріванні. Цей факт пояснюється орієнтованим утворенням аустеніту. Також визначальний вплив на орієнтований характер зародження аустеніту, що призводить до структурної спадковості, надає не тільки вихідна структура сталі, але і висока швидкість нагріву при лазерній обробці.

На формування зміцненої лазером зони впливають такі фактори, як швидкість обробки лазерним променем і потужність лазера. Із збільшенням потужності, глибина зміцненого шару. Збільшення швидкості обробки при лазерному гартуванні сталі 40 приводить до зменшення глибини зони термічного впливу. Низька потужність (300 Вт) при швидкості обробки 0,2 м/хв, сприяє формуванню окремих зміцнених ділянок без утворення суцільного зміцненого шару. Зниження швидкості в два рази приводить до формування більшої зони термічного впливу з утворенням суцільного зміцненого шару невеликої глибини.

На рис. 1 представлено криві зміни мікротвердості, отримані при вимірюванні поперечних перерізів зон термічного впливу для сталі 40, попередньо загартованої звичайним способом і попередньо покращеної. Значення твердості в результаті нового гартування (тобто утворення аустеніту в умовах лазерного нагріву і перетворення його в мартенсит при охолодженні за

рахунок тепловідведення) значні, близько 7 ГПа. Для сталі після попереднього гартування характерна область різкого зниження твердості до 3 ГПа, що пов'язано з відпуском вихідної мартенситної структури, потім відбувається плавне повернення до твердості серцевини, значенням твердості після об'ємного гартування.

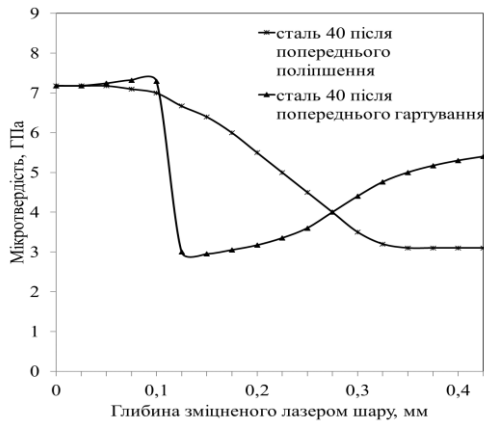


Рисунок 1 – Розподіл значень мікротвердості в поперечному перерізі від поверхні вглиб зразка при швидкості переміщення лазерного променя 0,5 м/хв

Попереднє поліпшення сприяє плавному зниженню твердості від поверхнево зміцненої зони лазерної обробки до серцевини (рис. 1).

Найкращим способом попередньої термічної обробки сталі перед лазерним гартуванням є поліпшення. Такий спосіб зміцнення поверхневого шару сприяє формуванню достатньої зони з високими показниками твердості (7 ГПа) з плавним переходом до серцевини, що в подальшому позитивно позначається при експлуатації деталі.

Лазерне зміцнення сталей 40, 40Х і 38Х2МЮА проводилося на установці «Латус-31». Випромінювач з поздовжнім швидким прокачуванням і конвективним охолодженням робочої суміші оснащений потужним високовольтним джерелом постійного струму. Потужність випромінювання безперервно контролювалася за допомогою спеціального прохідного вимірника, який працює на відгалуженні частини випромінювання (10 %) від основного пучка (точність вимірювання 2 %). Фокусування лазерного випромінювання здійснювалося за допомогою лінзового об'єктива. Як фокусуючі елементи використовувалися плоско-опуклі сферичні лінзи з фокусною відстанню 300 мм. Зміна розміру плями фокусування проводилася за рахунок регулювання відстані від фокусуючого елемента до поверхні в діапазоні $d_0=2,0-7,0$ з точністю $\pm 0,05$ мм. Вимірювання діаметру плями фокусування проводилося за кривою розподілу інтенсивності випромінювання в перерізі, що знаходиться на відстані I_{max}/e^2 від основної площини. Розподіл інтенсивності в поперечному перерізі сфокусованого променя проводився методом сканування за допомогою спеціального піроелектричного аналізатора.

Зміна значень твердості сталей залежно від методу обробки показано на рис. 2. Гістограми показують, що найвищі значення твердості відповідають лазерному гартуванню, а проведення високого відпуску знижує значення твердості. Таким чином, застосування лазерного гартування після поліпшення сталей дозволяє значно підвищити поверхневу твердість зі збереженням в'язкої серцевини. Значення глибини зміцненого шару сталей 40, 40Х і 38Х2МЮА показано на рис. 3. Зі збільшенням швидкості переміщення лазерного променя, глибина зміцненого шару знижується для всіх досліджуваних сталей.

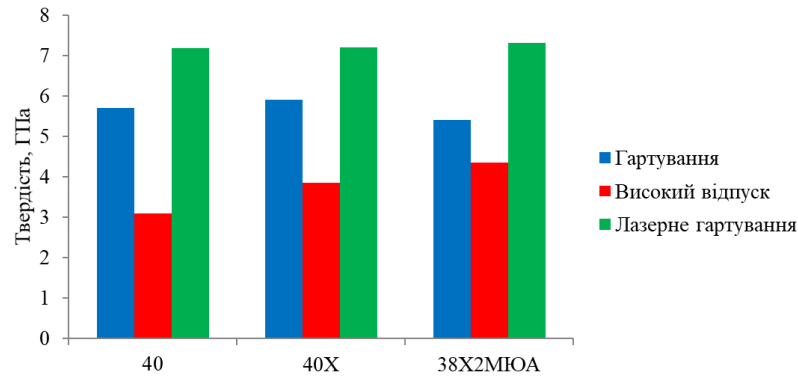


Рисунок 2 – Зміна значень твердості сталей залежно від методу обробки

Отримано закономірності зміни глибини зміцненого шару від зміни швидкості переміщення лазерного променя для досліджуваних сталей (рис. 3). Дані закономірності дозволяють прогнозувати значення глибини зміцненого шару від швидкості переміщення лазерного променя. З підвищенням у сталей легувальних елементів зміцнений шар збільшується.

Розподіл значень мікротвердості для сталей показано на рис. 4. Криві для різних сталей носять загальний характер, але із збільшенням вмісту легувальних елементів в сталі, твердість і глибина шару збільшуються.

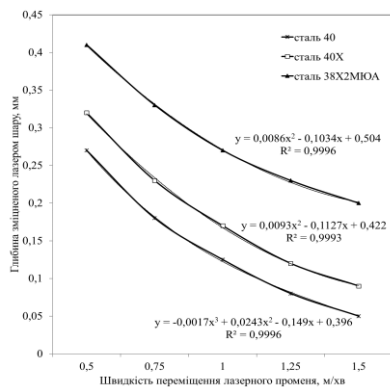


Рисунок 3 – Зміна значень глибини зміцненого шару залежно від швидкості переміщення лазерного променя

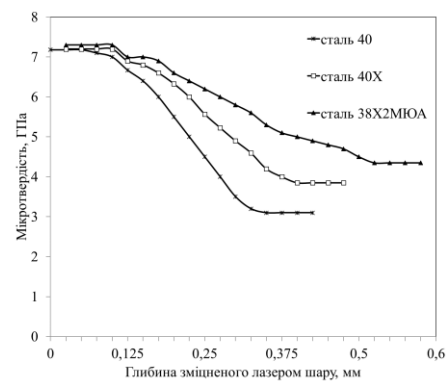


Рисунок 4 – Розподіл значень мікротвердості в поперечному перерізі від поверхні вглиб зразка при швидкості переміщення лазерного променя 0,5 м/хв

Найвищі значення твердості сталей відповідають зоні найбільш дисперсного мартенситу, подальше збільшення дисперсності зерен призводить до зниження показників твердості (рис. 4).

Завдяки локальному зміцненню поверхні деталей зі сталей 40, 40X і 38X2MЮА методом лазерного гартування можна досягти підвищення експлуатаційних властивостей деталей при подальшій експлуатації. Даний метод підходить для зміцнення важкодоступних ділянок деталей, локальних контактних зон. За рахунок лазерного зміцнення на поверхні формується твердий шар, при цьому матриця деталі залишається в'язкою і більш м'якою. Таке поєднання властивостей забезпечує підвищення довговічності деталей.

Порівняльний аналіз показників твердості після об'ємного гартування, поліпшення і лазерного гартування сталей показав, що лазерне зміцнення дозволяє

підвищити твердість у 1,3–1,35 рази в порівнянні з об'ємним гартуванням і в 1,7–2,32 рази порівняно з твердістю сталі, яку отримано після поліпшення.

Знайдено закономірності впливу швидкості переміщення лазерного променя на глибину зміцненого шару залежно від марки сталі. Дані закономірності дозволяють прогнозувати значення глибини зміцненого шару.

Розподіл мікротвердості по поперечному перерізу в зоні локального лазерного зміцнення показало, що найвищі значення твердості сталей відповідають зоні найбільш дисперсного мартенситу, подальше збільшення дисперсності зерен призводить до зниження показників твердості.

У третьому розділі розроблено комбіновану технологію зміцнення поверхневого шару сталі, яка полягала у попередній лазерній обробці та наступного азотування. Процес азотування проводили в середовищі дрібнодисперсної азотовмісної речовини з активаторами при температурі 550 °С протягом 2–4 год в закритій атмосфері у вигляді герметичного контейнера в камерній печі. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив попередньої лазерної обробки та кінцевого азотування на товщину зміцненого шару і мікротвердість поверхневих шарів зразків зі сталі 38Х2МЮА

Тривалість азотування, год	Швидкість пересування лазерного променя, м/хв					
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
	Товщина зміцненого шару, мм			Поверхнева мікротвердість, ГПа		
2	0,59	0,31	0,18	12	11	10,5
3	0,65	0,36	0,21	12,5	11,5	11,0
4	0,69	0,42	0,27	11,0	11,2	10,9

Для побудови математичної моделі в якості вхідних змінних вибиралися швидкість пересування лазерного променя (x_1^*) і тривалість азотування (x_2^*). Діапазони варіювання цих величин вказані в табл. 1. Вихідними змінними є середні значення товщини зміцненого шару (y_1) і мікротвердості поверхневих шарів досліджуваної сталі (y_2). Математична модель має вигляд рівняння регресії. Для побудови проведено 10 паралельних експериментів для забезпечення умов однорідності експерименту.

Математичні моделі, що описують залежності товщини зміцненого шару та поверхневої твердості від значень швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування сталі, представлено у вигляді поліномів другого ступеня. Були проведені методи оцінювання коефіцієнтів моделі, перевірка її адекватності і статистичного аналізу точності.

Отримана модель товщини зміцненого шару залежно від нормованих значень швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування сталі має вигляд

$$y = 0,40889 - 0,21171 \cdot x_1 + 0,05001 \cdot x_2 + 0,06827 \cdot x_1^2 + 0,003272 \cdot x_2^2 - 0,0025 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (1)$$

Перевірку адекватності моделі (1) виконано перевіркою гіпотези про рівність дисперсії помилок експерименту і дисперсії неадекватності. Виконання умови $F < F_{кр}$ дозволило зробити висновок про адекватність моделі.

Оцінка значущості коефіцієнтів моделі з використанням t -критерію Стьюдента показала, що кінцева модель може мати вигляд

$$y = 0,40889 - 0,21171 \cdot x_1. \quad (2)$$

Математична модель, що описує вплив швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування сталі на значення поверхневої твердості зміцненого шару, в загальному вигляді представляється наступним чином

$$y = 11,28889 - 0,51677 \cdot x_1 - 0,06668 \cdot x_2 + 0,08164 \cdot x_1^2 - 0,56836 \cdot x_2^2 + 0,35 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3)$$

Однак перевірка значущості коефіцієнтів показала, що модель може перетворитися до виду

$$y = 11,28889 - 0,51677 \cdot x_1 - 0,56836 \cdot x_2^2 + 0,35 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (4)$$

Аналіз отриманих даних показав, що зі зниженням швидкості пересування лазерного променя і збільшенням тривалості азотування товщина зміцненого шару прагне до максимальних значень, однак теоретичний оптимум досягається за межами обраного плану експерименту, а саме на кордонах плану експерименту (рис. 5), тобто при $r=1,414$, і може бути визначений на основі рідж-аналізу.

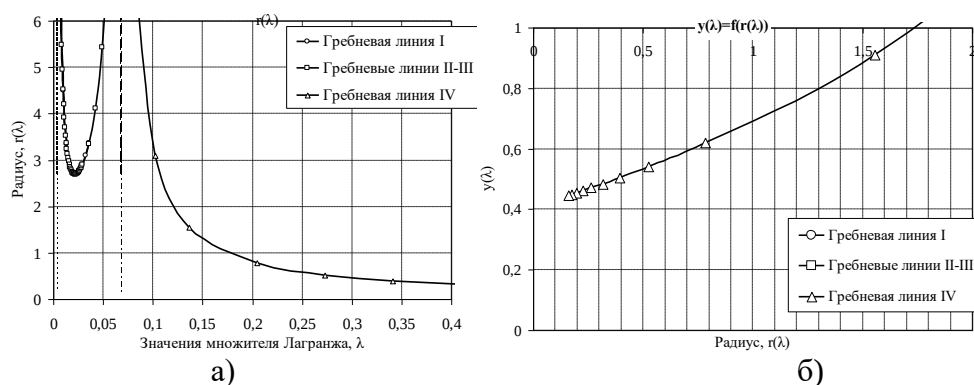


Рисунок 5 – Результати рідж-аналізу за визначенням локальних оптимумів на основі моделі (1): а) – $r=r(\lambda)$, б) – $y=y(r(\lambda))$

Обґрунтування отриманої закономірності пов'язано з особливостями формування структури зміцненого шару при комбінованій обробці. Низька швидкість пересування лазерного променя сприяє формуванню більшої товщини зміцненого шару. Це пов'язано з більш тривалим впливом високої температури лазера на поверхню сталі, тобто відбувається поверхневе гартування сталі на велику глибину. Дані зміни в поверхневому шарі сталі сприяють прискореній дифузії атомарного азоту при подальшому азотуванні сталі. Збільшення тривалості азотування приводить до формування більшої товщини зміцненого шару. При цьому поверхнева твердість також підвищується з пониженням швидкості пересування лазерного променя, однак вплив тривалості азотування не однозначний.

Субоптимальні значення поверхневої твердості сталі, що досягаються на кордонах плану експерименту, також можуть бути знайдені з результатів рідж-аналізу (рис. 5).

Значення поверхневої твердості сталі після комбінованої обробки відповідають діапазону значень тривалості азотування 2,69–3,30 год, які можуть бути визнані як раціональні. Максимальне значення поверхневої твердості сталі при швидкості пересування лазерного променя 0,5 м/хв відповідає тривалості

азотування 2,69 год, при швидкості пересування лазерного променя 1,0 м/хв – 3,0 год, 1,5 м/хв – 3,30 год.

Отримані математичні моделі дозволяють побудувати номограми одночасного впливу швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування на товщину зміцненого шару сталі і поверхневу твердість (рис. 6–9). Математичний опис взаємозв'язку вхідних і вихідних змінних забезпечує більш зручну роботу інженера-технолога комбінованої обробки.

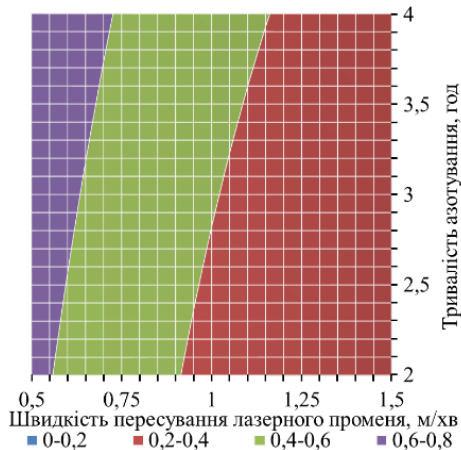


Рисунок 6 – Номограма товщини зміцненого шару від швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування

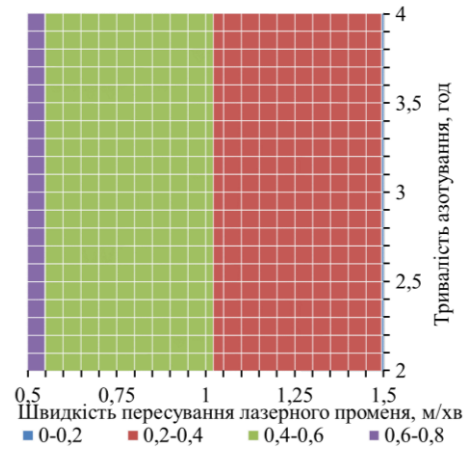


Рисунок 7 – Номограма товщини зміцненого шару від швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування з урахуванням значимості коефіцієнтів

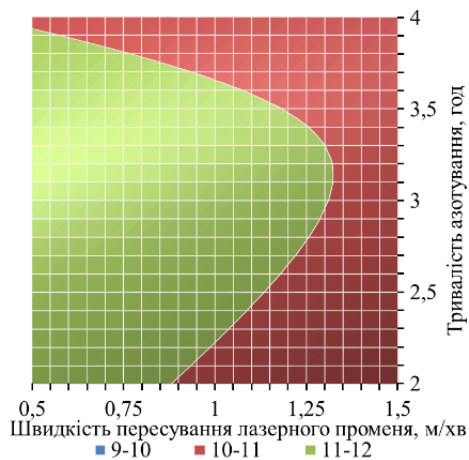


Рисунок 8 – Номограма поверхневої твердості від швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування

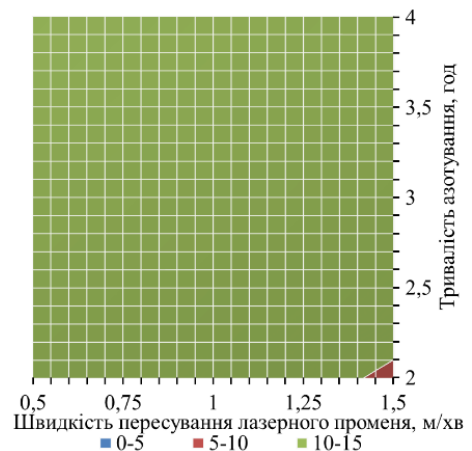


Рисунок 9 – Номограма поверхневої твердості від швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування з урахуванням значимості коефіцієнтів

Виходячи із заданих параметрів зміцненого шару деталі (його товщини і твердості), можна знайти відповідні значення швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування. Також такого роду опис дозволяє вирішувати зворотну задачу, а саме, оцінити можливу товщину зміцненого шару і поверхневу твердість при одночасному впливі швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування. Отримані номограми надають можливість визначати конкретні умови зміцнюючої обробки, виходячи із заданої товщини зміцненого шару або поверхневої твердості сталі 38Х2МЮА відповідно.

У четвертому розділі розроблено способи підвищення експлуатаційних властивостей машинобудівних деталей. Задача полягала в удосконаленні відомого способу обробки виробів в подальшому азотуванні таким чином, щоб, уникнувши деформування виробів, інтенсифікувати процес ХТО, отримати покриття більшої товщини і з кращими показниками експлуатаційних властивостей сталевих виробів, знизити трудомісткість процесу і поліпшити умови праці при одночасному насиченні поверхні деталей азотом і вуглецем.

Поставлена задача вирішується тим, що за відомим способом ХТО виробів, що включає обробку поверхні виробів і подальшу ХТО, проводять попередню лазерну обробку поверхні сталевих виробів з потужністю лазерного випромінювання $1,0 \pm 0,1$ кВт, швидкістю пересування лазерного променя 0,5–1,5 м/хв і подальшим азотуванням в середовищі меламіну з активатором фтористий натрій 3-5 % за температурою 530–560 °С протягом 2–3 год. Пропонуємий спосіб включає попередню лазерну обробку, яка не змінює розміри виробу і якість його поверхні.

Інтенсифікація процесу хіміко-термічної обробки при скороченні витримки і спрощенні процесу зі зменшенням енерговитрат прискорює дифузію атомів азоту і вуглецю вглиб матеріалу для отримання таких же параметрів покриттів (товщину, мікротвердість та ін.), що досягаються збільшенням дефектності кристалічної будови матеріалу, а саме збільшенням щільності дислокацій, подрібненням зерен і, відповідно, збільшенням протяжності їх меж.

Дослідження показали, що попереднє лазерне зміцнення підвищує поверхневу твердість після азотування до 1,15 разів (рис. 10) залежно від марки сталі та швидкості переміщення лазерного променя порівняно з азотуванням сталей в аналогічних умовах, але без попереднього лазерного гартування (на рис. 10 показано штрихуванням).

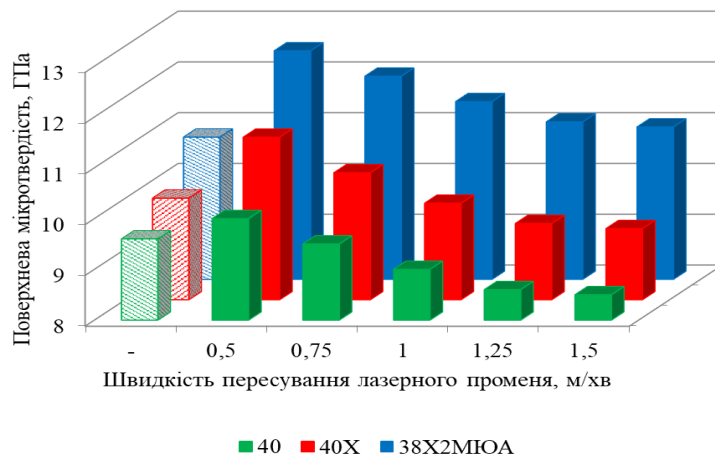


Рисунок 10 – Зміна поверхневої твердості сталей після комбінованої зміцнюючої обробки залежно від швидкості пересування лазерного променя порівняно з азотуванням сталі в аналогічних умовах без попереднього лазерного гартування

Наявність у сталі легувальних елементів сприяє збільшенню поверхневої твердості (рис. 11). Найбільші показники відповідають сталі 38X2MЮА (11–12,5 ГПа), найменші – сталі 40 (8,5–10 ГПа). Дане явище пов'язане з наявністю в поверхневому шарі легованої сталі спеціальних нітридів і карбідів більш твердих, ніж нітриди та карбіди заліза. Такий висновок підтверджено

рентгеноструктурним фазовим аналізом досліджуваних сталей, який виявив наявність нітридів. Наявність хрому в сталі сприяє збільшенню поверхневої твердості в поверхневому шарі в 1,10-1,12 рази (рис. 11 порівняння кривих сталі 40 і 40Х). Характер зміни кривих, залежно від швидкості переміщення лазерного променя при попередньої лазерної обробки, описуються поліномами третього ступеня, зазначеними на рис. 11 з перевіркою достовірності апроксимації.

Зміну товщини зміцненого шару залежно від швидкості переміщення лазерного променя показано на рис. 12 порівняно з азотуванням сталі в аналогічних умовах, але без попереднього лазерного гартування (на рис. 12 показано штрихуванням).

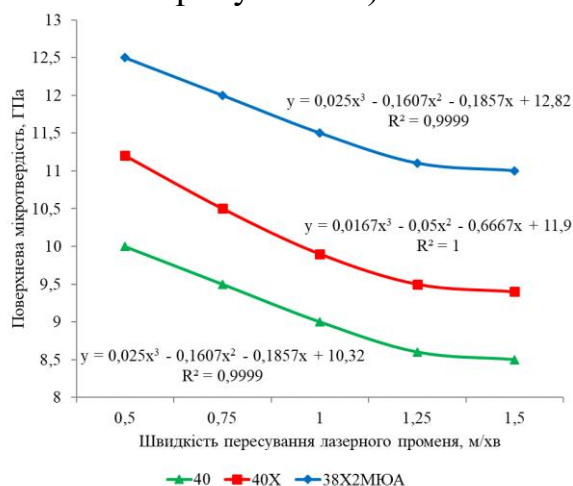


Рисунок 11 – Залежності зміни поверхневої твердості сталей після комбінованої зміцнюючої обробки від швидкості пересування лазерного променя

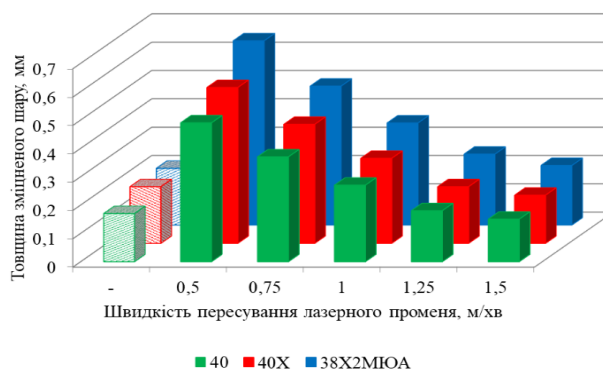


Рисунок 12 – Зміна товщини зміцненого шару в залежності від швидкості переміщення лазерного променя порівняно з азотування сталі в аналогічних умовах, але без попередньої лазерної гарту (показано штрихуванням)

Чисте азотування в аналогічних умовах дозволяє отримати зміцнений шар товщиною від 0,17 мм (сталь 40) до 0,2 мм (сталі 40Х і 38Х2МЮА). Попередня лазерна обробка перед азотуванням сприяє значному збільшенню зміцненого шару, а саме до 0,49 мм (сталь 40), до 0,55 мм (сталь 40Х) і до 0,65 мм (сталь 38Х2МЮА). Це пояснюється полегшенням дифузії атомів азоту та підвищенням його розчинності внаслідок утворення більш дефектної структури металу після лазерного опромінення (підвищення щільності дислокацій, дроблення зерен і збільшення протяжності їх меж, отримання ультрадисперсних разорієнтованих зерен). Аналогічний вплив попередньої лазерної обробки фіксували при азотуванні сталей 40, 40Х і 18ХГТ.

Рентгеноструктурний фазовий аналіз досліджуваних сталей виявив наявність нітридів ξ -Fe₂N, ε -Fe₃N-Fe₂N, γ '-Fe₄N, Fe₃N і α -Fe. У легованих сталях додатково фіксуються нітриди та карбіди легувальних елементів.

Процес отримання твердого покриття на поверхні сталевих виробів полягав у послідовній лазерній обробці та боруванні. Атомарне насичення поверхні сталі бором здійснювали методом борування в порошковому середовищі, яке містить атомарний бор і активатори. Борування здійснювали в камерній печі.

Технічний результат забезпечується тим, що в даному способі пропонується зробити попередню обробку поверхні матеріалу лазерним випромінюванням. При цьому температура поверхневого шару для сталі повинна перевищувати A_{C3} (температуру кінця перетворення фериту в аустеніт), але не бути вище температури плавлення. Температура борування вибиралася відповідно до температури гартування сталі для поєднання двох технологічних процесів, що скорочує час і тим самим дозволяє істотно знизити витрати на технологічний процес.

Результати досліджень наведено в табл. 2. Аналіз отриманих результатів показав, що після лазерної обробки має місце подрібнення зеренної структури поверхневих шарів сталі 38Х2МЮА, а після подальшого борування отримуємо борований шар більшої товщини (до 0,140 мм) і з більшою мікротвердістю (до 22,5 ГПа) в порівнянні з чисто борованими ділянками (без попередньої лазерної обробки), на яких товщина дифузійного шару не перевищувала 0,070–0,073 мм, а мікротвердість – 18–20 ГПа. Це пояснюється полегшенням дифузії атомів бору та підвищенням його розчинності внаслідок утворення більш дефектної структури металу після лазерного опромінення.

Таблиця 2 – Параметри поверхневих шарів

Вид обробки	Швидкість пересування лазерного променя, м/хв	Товщина обробленої лазером шару, мм	Товщина борованого шару, мм
Борування без лазерної обробки	-	-	0,070–0,073
Борування після лазерної обробки при швидкості пересування лазерного променя	0,5	0,41	0,140
	0,75	0,33	0,113
	1,0	0,27	0,097
	1,25	0,23	0,082
	1,5	0,20	0,075

Рентгеноструктурний фазовий аналіз досліджуваних сталей виявив наявність боридів та α -Fe.

Застосування пропонованої технології борування сталевих виробів дозволить поєднувати хіміко-термічну обробку з операцією термообробки, що підвищить термін служби деталей обладнання, експлуатаційних властивостей дифузійних шарів інструментів, штампового і пресового устаткування.

У п'ятому розділі показано практичну реалізацію технологічних основ в навчальному процесі та на виробництві.

Дослідження та створення ефективної лазерної обробки для підвищення експлуатаційних властивостей деталей зі сталей застосовані у навчальному процесі кафедри ливарного виробництва НТУ «ХП» для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка» спеціалізації 131-09 «Обладнання та технології ливарного виробництва» та 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» спеціалізації 151-07 «Комп'ютеризовані системи управління технологічними процесами».

Виробничими випробуваннями було встановлено:

- поверхнева твердість зубців зубчастого колеса зі сталі 40 з зовнішнім діаметром 136 мм, внутрішнім діаметром 24 мм, довжиною 26 мм після комбінованого зміцнення поверхневого шару зубців лазерною обробкою та наступному азотуванні підвищується у 2 рази. А саме становить до 11,5 ГПа у

порівнянні з поверхневою твердістю зубців зубчастого колеса після лазерної обробки при отриманні поверхневої твердості зубців до 5,6 ГПа, що дозволило підвищити зносостійкість зубців у 1,5 рази та експлуатаційну стійкість виробу в цілому до 2,5 разів;

- процес комбінованого зміцнення поверхневого шару зубців вал-шестерень, зубчастих коліс, шестерень, зірочок та втулок зі сталей 40, 40Х та 38Х2МЮА, якій полягав у попередній лазерній обробці та наступному азотуванні, дозволив підвищити поверхневу твердість зубців у 1,5-2,5 рази, зносостійкість у 1,5-2 рази, експлуатаційну стійкість у 3-7 разів у порівнянні з поверхневими зміцнюючими обробками, які використовуються у виробництві;

- стійкість вал-шестерні довжиною 111,5 мм, максимальним діаметром 34 мм, масою 0,48 кг та втулки з зовнішнім діаметром 25 мм, внутрішнім діаметром 17 мм, довжиною 4 мм, масою 5 г, виготовлених зі сталі 40Х, після комбінованого зміцнення поверхневого шару зубців лазерною обробкою та наступному азотуванні підвищується у 2-2,5 рази (поверхнева твердість зубців становить до 12 ГПа) та 3-3,6 рази після комбінованого зміцнення поверхневого шару зубців лазерною обробкою та наступному боруванні (поверхнева твердість зубців становить до 22 ГПа) у порівнянні зі стійкістю вал-шестерні та втулки, зміцненими лише лазерною обробкою при отриманні поверхневої твердості зубців до 6 ГПа.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі поверхневого локального зміцнення деталей машин для значного підвищення довговічності виробів в цілому. При виконанні роботи отримано такі результати:

1. Відомі комбіновані технології лазерної обробки і хіміко-термічної обробки мають ряд невирішених питань. Зокрема, вони не забезпечують достатню товщину зміцненого шару, є складними у використанні, трудомісткими, енергозатратними, тривалими процесами. Тому перспективним напрямком збільшення терміну служби деталей машин є створення інноваційної технології комбінованого зміцнення поверхневого шару сталі завдяки прискоренню процесу азотування і борування.

2. Експериментально встановлено, що на формування зміцненої лазером зони впливають такі фактори, як швидкість обробки лазерним променем і потужність лазера. Зі збільшенням потужності глибина зміцненого шару зростає, а збільшення швидкості обробки носить протилежний характер. Найкращим способом попередньої термічної обробки сталі перед лазерним гартуванням є поліпшення. Такий спосіб зміцнення поверхневого шару сприяє формуванню достатньої зони з високими показниками твердості (7 ГПа) з плавним переходом до серцевини, що в подальшому позитивно позначається при експлуатації деталі.

Порівняльний аналіз показників твердості після об'ємного гартування, поліпшення і лазерного гартування сталей показав, що лазерне зміцнення дозволяє підвищити твердість у 1,3-1,35 рази в порівнянні з об'ємним гартуванням і в 1,7-2,32 рази порівняно з твердістю сталі, яку отримано після поліпшення. Знайдено закономірності впливу швидкості переміщення лазерного променя на глибину зміцненого шару залежно від марки сталі. Дані закономірності дозволяють прогнозувати значення глибини зміцненого шару.

Розподіл мікротвердості за поперечним перерізом в зоні локального лазерного зміцнення показало, що найвищі значення твердості сталей відповідають зоні найбільш дисперсного мартенситу, подальше збільшення дисперсності зерен призводить до зниження показників твердості.

3. Розроблено технологію комбінованого зміцнення поверхневого шару сталевих деталей, яка полягає в попередній лазерній обробці і азотуванні. Дослідження показали, що попереднє лазерне зміцнення підвищує поверхневу твердість після азотування до 1,15 разів залежно від марки сталі та швидкості переміщення лазерного променя порівняно з азотуванням сталі в аналогічних умовах, але без попереднього лазерного гартування. Комбінована обробка сприяє значному збільшенню зміцненого шару, а саме до 0,49 мм (сталь 40), до 0,55 мм (сталь 40X) і до 0,65 мм (сталь 38X2МЮА).

Створено математичні моделі у вигляді рівняння регресії, що описують залежності товщини зміцненого шару та поверхневої твердості від зміни значень швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування сталі після комбінованої обробки. Знайдені залежності мають практичне технологічне значення, тому що дозволяють побудувати номограми для вибору раціональних режимів зміцнюючої обробки.

Побудовано номограми одночасного впливу швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування на товщину зміцненого шару сталі і поверхневу твердість. Номограми дозволяють визначати конкретні умови зміцнюючої обробки, виходячи із заданої товщини зміцненого шару або поверхневої твердості сталі 38X2МЮА відповідно, а також вирішити і зворотну задачу.

4. Інтенсифіковано процес борування за рахунок попередньої лазерної обробки поверхні сталевих виробів і застосування дрібнодисперсного боровмісного порошку в якості насичуючого середовища для хіміко-термічної обробки. Вивчення впливу попередньої лазерної обробки сталі на зміну глибини зміцненого шару показало, що лазерна обробка сприяє збільшенню зміцненого шару в 2,7–5,5 разів залежно від зміни швидкості переміщення лазерного променя. Показано, що попередня лазерна обробка сталі сприяє збільшенню поверхневої твердості після борування сталі на 2 ГПа порівняно з чистим боруванням. Впроваджено результати досліджень у виробництво та навчальний процес.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Алаа Фадил И Идан. Улучшение эксплуатационных свойств деталей лазерным поверхностным легированием / Алаа Фадил И Идан, О. В. Акимов // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Серія : Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 39 (1148). – С. 3-8.

Здобувачем запропоновано метод поліпшення експлуатаційних властивостей деталей лазерним поверхневим легуванням.

2. Idan, A. F. I. The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels / A. F. I. Idan, O. Akimov, L. Golovko, O. Goncharuk, K. Kostyk // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – V. 2. – №. 5 (80). – Р. 69-73. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65455 (Scopus)

Здобувачем досліджено вплив режимів лазерного гартування на зміну властивостей сталей.

3. Идан Алаа Фадил И. Влияние предварительной термической обработки и режимов лазерной закалки на структуроформирование стали / Алаа Фадил И Идан,

О. В. Акимов, Е. А. Костик, А. А. Гончарук // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Серія : Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2016. – № 18 (1190). – С. 66-73. doi:10.20998/2413-4295.2016.18.10

Здобувачем зроблено підбір раціональних режимів лазерного гартування сталі.

4. Идан Алаа Фадил И. Упрочнение стали 40Х комбинированной обработкой с применением лазера / Алаа Фадил И Идан, О. В. Акимов, Е. А. Костик, А. А. Гончарук // Металл и литье Украины– 2016. – № 7 (278). – С. 33–35.

Здобувачем розроблено методикау комбінованої обробки сталі 40Х із застосуванням лазера.

5. Идан Алаа Фадил И. Инновационная технология скоростного азотирования стали / Идан Алаа Фадил И, О. В. Акимов, Е. А. Костик // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Серія : Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2016. – № 42 (1214). – С. 49-53. doi:10.20998/2413-4295.2016.42.08

Здобувачем запропоновано інноваційну технологію швидкісного азотування сталі.

6. Idan Alaa Fadhil I. Development of the combined hardening technology of obtaining solid coating on the surface of steel products / Alaa Fadhil I Idan // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2017. – № 1/1(33). – С. 20–23. DOI: 10.15587/2312-8372.2017.93431

Здобувачем запропоновано технологію отримання твердого покриття на поверхні сталевих виробів.

7. Idan Alaa Fadhil I. Surface hardening of steel parts / Alaa Fadhil I Idan, O.V. Akimov, K.O. Kostyk // Праці Одеського політехнічного університету. – 2017. – №1(51). – С. 17–23. DOI 10.15276/opu.1.51.2017

Здобувачем запропоновано підхід до поверхневого зміцнення сталевих деталей.

8. Idan Alaa Fadhil I. Development of a combined technology for hardening the surface layer of steel 38Cr2MoAl / Alaa Fadhil I Idan, O. Akimov, K. Kostyk // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2017. – № 2/11 (86). – Р. 56–62. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.100014> (Scopus)

Здобувачем запропоновано комбіновану технологію зміцнення поверхневого шару сталі 38Х2МЮА.

9. Пат. 111066 Україна, МПК8 С23С 8/02-26 UA. Спосіб комбінованої обробки сталевих виробів / Ідан А., Акімов О. В., Костик К. О., Костик В. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Нац. техн. ун-т «ХП»; заявл. 19.05.16 ; опубл. 25.10.16, Бюл. № 20. – 5 с.

Здобувачем запропоновано комбіновану обробку сталевих виробів.

10. Пат. 116116 Україна, МПК8 С23С 8/02-26 UA. Спосіб отримання твердого покриття на поверхні сталевих виробів / Ідан А., Акімов О. В., Костик К. О., Костик В. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Нац. техн. ун-т «ХП»; заявл. 11.11.16 ; опубл. 10.05.17, Бюл. № 9. – 6 с.

Здобувачем запропоновано технологію отримання твердого покриття на поверхні сталевих виробів.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Идан Алаа Фадил И. Лазерное поверхностное легирование / Алаа Фадил И Идан, О. В. Акимов // Матеріали X Міжнародної науково-практичної студентської

конференції магістрантів (05–08 квітня 2016 р.): матеріали конференції у 3-х ч. – Ч. 2. – Харків : НТУ «ХП». – 2016. – С. 8.

12. Идан Алаа Фадил И. Поверхностное легирование сталей / Алаа Фадил И Идан, О. В. Акимов // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Литво – 2016» (24-26 травня 2016 р.). - Запоріжжя: Редакційний відділ ЗТПП. – 2016. – С 106-107.

13. Идан Алаа Фадил И. Локальное упрочнение деталей / Алаа Фадил И Идан, О.В. Акимов, Е.А. Костик // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (18-20 травня 2016р.) матеріали конференції у 4-х ч. – Ч.І. – Харків: НТУ «ХП». – 2016. – С. 304.

14. Идан Алаа Фадил И. Упрочнение поверхностного слоя деталей из сталей / Алаа Фадил И Идан, О.В. Акимов, Е.А. Костик // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2016» (30-31 травня 2016 р.). – Київ: НТУУ «КП». – 2016. – С. 11.

15. Идан Алаа Фадил И. Особенности формирования упрочненного слоя при комбинированном азотировании стали / Алаа Фадил И Идан, О.В. Акимов, Е.А. Костик // Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці» (16 березня 2017 р.). – Харків: ХНАДУ, 2017. – С. 113-114.

16. Idan Alaa Fadhil I. Surface hardening of steel 38Cr2MoAl / Alaa Fadhil I Idan, O. Akimov, K. Kostyk // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної студентської конференції магістрантів та аспірантів (18–21 квітня 2017 р.): матеріали конференції у 3-х ч. – Ч. 1. – Харків : НТУ «ХП». – 2017. – С. 143.

17. Идан Алаа Фадил И. Получение твердого покрытия на поверхности стальных изделий / Алаа Фадил И Идан, О. В. Акимов // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Литво – 2017» (23-25 травня 2017 р.). – Запоріжжя: Редакційний відділ ЗТПП. – 2017. – С. 109.

18. Идан Алаа Фадил И. Особенности комбинированного упрочнения поверхностного слоя стальных деталей / Алаа Фадил И Идан, О.В. Акимов, Е.А. Костик // Тези доповідей XXV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (17-19 травня 2017 р.) матеріали конференції у 4-х ч. – Ч.ІІ. – Харків: НТУ «ХП». – 2017. – С. 4.

19. Идан Алаа Фадил И. Комбинированная технология упрочнения поверхности легированной стали / Алаа Фадил И Идан, О.В. Акимов, Е.А. Костик // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2017» (30-31 травня 2017 р.). – Київ: НТУУ «КП». – 2017. – С. 77.

АНОТАЦІЇ

Идан Алаа Фадил Идан. Технологічне забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин із застосуванням комбінованих методів локального зміцнення поверхонь. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування (13 – механічна інженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2020.

Дисертацію присвячено вирішенню науково-практичної задачі поверхневого локального зміцнення деталей для значного підвищення довговічності виробів в цілому.

Наукова новизна основних результатів дисертаційної роботи полягає в такому, що вперше: отримано закономірності впливу швидкості переміщення лазерного променя на глибину зміцненого шару залежно від марки сталі при обробці тільки лазером і комбінованою технологією зміцнення; розроблено метод інтенсифікації процесу азотування, який відрізняється від існуючих попередньою лазерною обробкою поверхні; розроблено метод інтенсифікації процесу борування, який відрізняється від існуючих попередньою лазерною обробкою поверхні; розроблено математичні моделі та номограми впливу швидкості пересування лазерного променя і тривалості азотування на товщину зміцненого шару та поверхневу твердість.

Практичне значення роботи полягає у вирішенні важливої наукової і технічної задачі у розробці технологій комбінованого зміцнення поверхневих шарів сталевих деталей, які полягають в попередній лазерній обробці і наступної хіміко-термічної обробки.

Ключові слова: технологічний процес, зміцнений шар деталі, твердість, локальне поверхнєве зміцнення, лазерна обробка, азотування, борування, комбінована обробка.

Идан Алаа Фадил Идан. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин с применением комбинированных методов локального упрочнения поверхностей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения (13 – механическая инженерия). – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2020.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи поверхностного локального упрочнения деталей для повышения долговечности изделий в целом.

Научная новизна основных результатов диссертационной работы заключается в том, что впервые: получены закономерности влияния скорости перемещения лазерного луча на глубину упрочненного слоя в зависимости от марки стали при обработке только лазером и комбинированной технологией упрочнения; разработан метод интенсификации процесса азотирования, отличающийся от существующих предварительной лазерной обработкой поверхности; разработан метод интенсификации процесса борирования, который отличается от существующих предварительной лазерной обработкой поверхности; разработаны математические модели и номограммы влияния скорости передвижения лазерного луча и продолжительности азотирования на толщину упрочненного слоя и поверхностную твердость.

Практическое значение работы заключается в решении важной научной и технической задачи в разработке технологий комбинированного упрочнения поверхностных слоев стальных деталей, которые заключаются в предварительной лазерной обработке и последующей химико-термической обработке.

Использование разработанных комбинированных технологий поверхностного упрочнения стальных изделий имеет следующие преимущества: упрощена технология получения твердого упрочненного слоя на сталях за счет интенсификации процессов химико-термической обработки; обеспечены высокие эксплуатационные свойства упрочненных слоев стальных изделий; применение технологии борирования стальных изделий позволяет сочетать химико-термическую обработку с операцией термообработки (закалки), что повысит срок службы деталей оборудования, эксплуатационных свойств диффузионных слоев инструментов, штампового и прессового оборудования.

Выполнена апробация эффективных технологических процессов комбинированного упрочнения поверхностного слоя стальных изделий для повышения поверхностной твердости зубьев зубчатого колеса из стали 40, зубьев вал-шестерен, зубчатых колес, шестерен, звездочек и втулок из сталей 40, 40X и 38X2МЮА, зубьев вал-шестерни из стали 40X и зубцов втулки из стали 40X.

Практическое значение полученных результатов подтверждено внедрением предложенных методов и подходов в опытно-конструкторские работы на производстве и в учебном процессе.

Ключевые слова: технологический процесс, упрочненный слой детали, твердость, локальное поверхностное упрочнение, лазерная обработка, азотирование, борирование, комбинированная обработка.

Idan Alaa Fadil Idan. Technological support of operational properties of machine parts using combined methods of local strengthening of surfaces. – Manuscript.

Thesis for granting Candidate of Technical sciences Degree in specialty 05.02.08 – technology of mechanical engineering (13 – mechanical engineering). – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the solution of the scientific and practical problem of surface local hardening of details for increase of durability of products.

The scientific novelty of the main results of the thesis is that for the first time: the obtained regularities of influence of the velocity of the laser beam to the depth of the hardened layer depending on the grade of steel in the processing of only a laser and combined technologies of hardening; developed a method of intensification of nitriding process, different from the existing previous laser treatment of the surface; developed a method of intensification of the process of boriding, which differs from previous existing laser surface treatment; developed mathematical models and nomograms influence the speed of movement of the laser beam and duration of nitriding on the thickness of the hardened layer and surface hardness.

Practical value of work consists in the solution of important scientific and technical challenges in the development of technologies of combined hardening of surface layers of steel parts, which are advanced laser processing and subsequent chemical and thermal treatment.

Keywords: technological process, hardened part layer, hardness, local surface hardening, laser processing, nitriding, boriding, combined processing.



Підписано до друку 23.12.2020 р.
Формат 60 x 84¹/16. Папір офсетний.
Друк-цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 23

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua

