

Міністерство освіти України

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

УДК 621. 895; 620. 187

На правах рукопису

Шалапко Юрій Іванович

**Забезпечення фретінгостійкості
конструкційних сталей
методом лазерного легування
поверхні**

СПЕЦІАЛЬНОСТІ: 05. 02 04 --Тертя та знос в машинах
05. 02. 01. —Матеріалознавство
в машинобудуванні (промисловість)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00802831 (M)

у технологічному інституті

- Науковий консультант — кандидат технічних наук, доцент
КОСТОГРИЗ С. Г.
- Офіційні опоненти — Лауреат Державної премії України, доктор
фізико-математичних наук, професор
ПРОХОРЕНКО В. Я.
кандидат технічних наук, доцент
ОЛЕКСАНДРЕНКО В. П.
- Ведуча організація — Городоцьке верстатобудівне об'єднання,
м. Городок, Хмельницької області.

Захист відбудеться „ 9 “ серпня 1993 р. о 10г на
засіданні спеціалізованої ради К 068 47. 01. при Хмельницькому
технологічному інституті за адресою: 280016, м. Хмельницький,
вул. Інститутська, 11. зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано 4 листопада 1993 року.

Відгуки на автореферат, завірені гербовою печаткою, просимо
направляти за адресою ради інституту вченому секретарю.

Вчений секретар спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук,
доцент

КАЛДА Г. С.

I. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток машинобудівного комплексу, транспорту, космічної техніки поставило підвищення довговічності і надійності машин в один з пріоритетних напрямків розвитку науки. Самостійне вирішення цих задач, починаючи з якості металу і закінчуючи технічною етикою, в значній мірі визначають рівень промислового потенціалу України.

Для машин, механізмів і агрегатів, працюючих в умовах динамічного навантаження, велике значення має здатність контакту тривалий час зберігати свої експлуатаційні властивості.

Одним із явищ відповідальним за втрату працездатності трибоспрязень, є малоамплітудне вібраційне тертя—руйнування поверхні металу в умовах фретінгу. В наш час серед методів управління якістю поверхні активно розвивається технологія впливу на метали висококонцентрованими джерелами енергії, одним з яких є лазерна термічна /ЛТО/ і хіміко-термічна обробка /ЛХТО/.

Застосування ЛТО і ЛХТО дає позитивні результати для широкого кола технологічних проблем. Але проведені дослідження не достатні для цілеспрямованого використання лазерної техніки в задачах підвищення фретінгостійкості конструкційних сталей.

В зв'язку з цим, актуальним є завдання дослідження фретінг-корозії металевих поверхонь, зміцнених лазерним легуванням. Отриманий при цьому стан поверхневого шару, володіє широким комплексом властивостей, щоб впливати на ту можливість явищ /більш 40/, які ініціюються малоамплітудними переміщеннями в спряженні і приводять до порушення працездатності машини в цілому. Треба додати, що застосування ЛХТО дозволить отримати значну економію стратегічних елементів при тих же результатах, що і при легуванні всього об'єму металу традиційним способом.

Ціль роботи. Дослідити вплив лазерного легування сталей 45, 30ХГСА, 20ХІЗ на механізм фретінгу в широкому діапазоні амплітуд проковзування і розробити технологічні рекомендації по застосуванню ЛХТО з метов підвищення фретінгостійкості конструкційних сталей.

Для досягнення поставленої цілі необхідно було виконати дослідження в таких теоретичних та прикладних напрямках:

1. Створення методів і експериментальних установок для вивчення процесів фрикційної взаємодії при вібраційному терті плоских пар.
2. Теоретичне дослідження процесу лазерного нагрівання і оплавлення поверхні.
3. Експериментальне дослідження впливу технологічних параметрів на глибину легованих шарів, їх мікротвердість та морфологію.
4. Дослідження впливу лазерного легування на фретінгостійкість матеріалів та на механізм фретінгу зміцнених поверхонь.
5. Дослідження трибологічних властивостей оброблених матеріалів при опромінюванні їх гігантським імпульсом наносекундної тривалості у режимі мікрооплавлення.

Наукове проведення. Розроблені методи і пристрої для дослідження матеріалів на зносостійкість в умовах тангенціальних і нормальних динамічних навантажень при малих $\sim 0 \dots 100$ мкм/ амплітудах проковзування /А.С. №1536264, А.С. №1672307, А.С. №1718049/.

Розраховані температурні поля по прямокутному перерізу променя лазера в металічній матриці з врахуванням^о теплофізичних характеристик рідкої і твердої фази. За даними розрахунків отримані діаграми, які дозволяють встановити ступінь завершеності структурних перетворень в залежності від густини енергії та тривалості імпульсу випромінювання.

Отримана якісна металографія легованих шарів сталі 45, 30ХГСА, 20ХІЗ в залежності від режиму обробки і легувального елементу.

Досліджено вплив режимів ЛХТО на формування фретінгостійкого покриття. Встановлені нові закономірності кінетики фретінгу сталевих поверхонь на етапі адгезійної взаємодії, виміряно віброактивність пари тертя до і після обробки.

Досліджена фретінг-корозія надмалих амплітуд проковзування спряжених поверхонь при пульсуючому нормальному навантаженні двох циліндрів.

Практична цінність роботи. Розроблені і виготовлені стенди для дослідження впливу зміцнювальної технології на зносостійкість матеріалів при фретінг-корозії.

Запропоновані способи виміру сил тертя з врахуванням жорсткості контакту, що дозволило підвищити точність вимірювання.

Розроблена програма розрахунку температурних градієнтів за глибиною поверхневих шарів при лазерному оплавленні.

Запропонована технологія дозволяє локально обробляти поверхні деталей машин, які зазнають фретінг-корозії і збільшити час їх використання у 4-6 разів.

Реалізація результатів роботи в промисловості. Запропонована технологія була реалізована при обробці деталей деревообробних верстатів, які випускають на Городоцькому верстатобудівному об'єднанні /м.Городок/. Оброблялись шпоночні пази, місця під посадки підшипників кочення на вали довбальних головок, шлицеві вали, місця під кріплення довяків, ножів, фрез та ін. На автопідприємствах /м.Хмельницький/ зміцнювались вали водяних насосів, шлицеві вали та деталі поршневої групи. Економічний ефект тільки від впровадження лазерного легування на Городоцькому об'єднанні - 15 тис.крб. на один оброблюючий центр в цінах 1991 року.

Апробація роботи. Основні положення докладені та обговорені на республіканському науковому семінарі "Технологические методы повышения износостойкости и усталостной прочности", м.Хмельницький, 1989; на республіканській науково-технічній конференції "Проблемы и новые способы нанесения и регенерации покрытий из драгоценных и редких металлов", Чернівці, 1989р.;

на всесоюзній науково-технічній конференції "Проблемы повышения качества, надежности и долговечности машин", м.Брянськ, 1990р.;

на всесоюзній науково-технічній конференції "Износостойкость машин", м.Брянськ, 1991р.;

на міжреспубліканській науково-технічній конференції "Качество и надежность узлов трения", м.Хмельницький, 1992р.;

на республіканському семінарі "Новые разработки и опыт внедрения лазерной техники и технологии", м.Ужгород, 1990р.;

на міжнародному симпозіумі "Przemiany strukturalne w stopach odlewniczych-teoria i efekty uzytkowe", Pzeshow, Poland, WSP, 1993р.;

на міжнародному симпозіумі по трибофатикі, Гомель, 1993р.;

на міжнародній науково-технічній конференції "Удосконалення обладнання легкої промисловості та складної побутової техніки", м.Хмельницький, 1993р.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 11 друкованих робіт, отримано 3 авторських свідоцтва на винаходи.

Об'єм та структура роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, бібліографії та трьох додатків. Робота вик-

ладена на 185 сторінках машинописного тексту, 70 рисунків та II таблиць. Список використаної літератури складається з 160 найменувань.

ПРОБЛЕМИ МАЛОАМПЛІТУДНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ТЕРТЯ В ПРОМИСЛОВОСТІ ТА АВТОТРАНСПОРТІ

Підвищення фретінгостійкості номінально нерухомих з'єднань не може бути успішним без дослідження фретінг-пошкоджень в реальних конструкціях, спраженнях та вузлах деталей машин. Аналіз сучасних проблем фретінгу в триботехніці проведено на основі літературних даних, а також дослідження фретінг-процесів у конструкціях автотранспортних засобів автобусів "ЛАЗ-695", "ЛАЗ-695Н", "Ікарус-250", "Ікарус-255", вантажних та легкових автомобілів "ЗІЛ-І30", "ГАЗ-53", "КАМАЗ-551", "ГАЗ-24", "ЗАЗ-968М", "ЗАЗ-ІІ02".

Було проведено аналіз та систематизацію пошкоджень елементів конструкції довбальних головок деревообробних центрів ОК-І04.ІІ.

Як правило, діагностування транспортних засобів, стосовно до номінально нерухомого з'єднання, оснований або на суб'єктивних методах контролю, або, при використанні технічних засобів, на вимірюваннях вібрації, шуму, прискорення. Аналіз роботи ремонтних служб підприємств показав, що при визначенні технічного стану автомобіля, не контролюються в місцях спраження деталей процеси, які можуть бути відповідальними за працездатність всього вузла в значний період експлуатації. Ігнорування цих процесів приводить до порушень причинно-наслідкового зв'язку діагностування поламок, відказів, великому розходу палива.

Практично кожна функціональна система автотранспортного засобу зазнає фретінг. Це група деталей циліндро-поршневої групи, блок циліндрів, коренні підшипники, розподільвальний вал, кривошипно-шатунна група, шків, шестерня і маховик колінчатого валу, механізми трансмісії, мостів. Широку гаму фретінг-пошкоджень в конструкціях автотранспортних засобів представляють підшипники і спряжені з ними поверхні деталей. В роботі по кожній групі деталей зроблено детальний аналіз пошкоджень.

Дослідження за допомогою мікроскопу реплік, знятих з пошкодженої поверхні показало, що мікроскопічна деформація спостерігається у вигляді ліній ковзання, слідів зсуву, вм'ятин, хвиль на поверхні металу. В місцях виходу дислокацій, поверхневий рельєф набуває східчастого характеру. Лінії ковзання переходять у смуги ковзання і про-

філь стає хвилеподібним, характерним для екструзій та інтрузій.

В цьому розділі аналізуються сучасні методи підвищення фретінгостійкості конструкційних матеріалів. Показано, що змінов параметрів стану поверхневого шару можна значно підвищити фретінгостійкість робочої поверхні деталей машин. У наш час, дякуючи досягненням в галузі створення високоенергетичних джерел енергії, широко використовуються лазерні технології. Дослідження, які проходять під керівництвом Лахтіна Ю.М., Коваленка В.С., Ковалевського В.В., Прохоренка В.Я., Сафонова А.І., Григор'янца А.Г. та інших, показали, що за допомогою лазерного легування можна створити поверхневий шар з унікальними властивостями, що дуже важливо для пригнічування окислювальних процесів та збільшення контактної з'ємної міцності при фретінг-корозії. Але, маючи ряд унікальних можливостей, лазерна технологія поки не знайшла свого застосування як хіміко-термічна обробка з метою збільшення зносостійкості при фретінгу.

ВИПРОБУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКОВУВАННЯ, МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ І ДОСЛІДЖУВАНІ МАТЕРІАЛИ

Для дослідження можливостей збільшення фретінгостійкості, широко використовуваних в машинобудуванні вуглецевої сталі 45, легуваної 30ХГСА і нержавіючої 20ХІЗ була реалізована технологія лазерного легування на установці "Квант-ІВМ". При легуванні вводили порошки Nb, Cr, W, Co, Mo, Ti, Ni та інші.

Обробку зразків та експериментальній партії деталей машин проводили за розробленими технологічними режимами з 50% перекриттям оброблювальних ділянок.

Потужність технологічного лазера до 60 Дж. Легування здійснювалось через обмазку на основі 10% розчину клею БВ-2 в ацетоні. Кількість обмазки на зразку контролювалась ваговим методом.

Для нанесення тврдосплавного покриття використовувалась установка "СЛСА-54І". Матеріал електроду - сплав ВКВ.

Фретінгостійкість одержаних покриттів досліджували на двох випробувальних стендах. Перша установка реалізує контакт площина-площина. Частота вібрації рухливого зразка: 70, 60, 50, 40, 30 + 20 Гц, амплітуда відносного проковзування: 1. 150 мкм, максимальний тиск стиснення зразків 140 МПа. Під час випробувань знімались дані по

віброактивності пари тертя. Друга установка моделює процес фретінг-корозії, яка виникає в номінально нерухомих сполученнях в межах контактних площин контакту. Розглядався динамічний контакт двох циліндрів по твірній, фретінг-корозія у яких виникала на периферії прямокутної площини контакту.

Розглядався динамічний контакт двох циліндрів по твірній, фретінг-корозія у яких виникла на периферії прямокутної площини контакту.

Мікроструктури зміщених зон вивчали на мікросліфах з використанням металографічного мікроскопу "MIM-10". Концентрації легувальних елементів в зоні легування і термічного впливу виявляли на приставці енергодисперсного рентгенівського аналізу ЕДАР на базі растрового мікроскопу РЕМ-101М. Фазовий склад легувального шару на дифрактометрі "ДРОН-3М". Мікротвердість поверхневих шарів вимірювали на мікротвердомері ПМТ-3 та твердомері ІТ 5010-01.

Питома масова зношеність вимірювали на аналітичних вагах ВЛР-200М з точністю 0,00015 г, площа враження від фретінгу на інструментальному мікроскопі "Ц".

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ

Вивчення можливостей лазерного легування відносно до проблеми усунення фретінг-зношування неможливе без дослідження механізму насичення та прогнозування властивостей поверхневого шару.

Високі швидкостя процесу плавлення та кристалізації не дозволяють спостерігати за процесом легування безпосередньо, а тільки за "замороженими" малюнками структур на поперечних шліфах. Розглядаючи в перетізі легований шар після одноразової дії лазером, спостерігаються темні і світлі розводи вихревого характеру збагачені або обіднені легувальними елементами. Розміри цих розводів від 50 до 100 мкм. Їх форма свідчить про те, що в період перебування розплаву в рідкому стані, в ньому діяли сили, які створили турбулентні потоки.

Загальноприйнята модель масопереносу зумовлена залежністю коефіцієнту поверхневого натягу від температури. В зоні розплаву виникає нерівномірно нагрітий шар рідкого металу, на поверхні якого діють сили поверхневого натягу, направлені з центру зони розплаву до

периферії. В глибині ванни розплаву виникає вихровий рух, зафіксований при одноразовому опроміненні.

Металографічні дослідження дозволили здійснити умовну ідентифікацію виникаючого температурного малюнка по структурно-фазовій неоднорідності у ванні розплаву. Встановлено, що рівномірність розподілу легуючих елементів, мігруючих з поверхні в глиб ванни, залежить не тільки від температурного градієнту, але і від оптичної системи, стану активного елементу, ступеня розфокусування, а також теплофізичних властивостей легуючих елементів. Ступінь заповнення ванни розплаву, при інших рівних умовах, залежить від температури плавлення матеріалу який вводиться. Чим вища температура плавлення, тим більш неоднорідний розподіл легуючих елементів, тим більш необхідна густина енергії лазерного опромінення для повного заповнення ванни. При одноразовому опроміненні повне перемішування проходить при $E = 3,5 \dots 4 \text{ Дж/мм}^2$.

Процес взаємодії лазерного випромінювання був описаний в рамках чисельних уявлень теорії теплопровідності. Оптична система установки "КВАНТ-ІВМ" формує в прямокутному перерізі лазерного випромінювання нормальний розподіл густини енергії:

$$E(x,y) = E_{\max} \cdot \exp\left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}\right)$$

Нами було отримано нестационарне рішення, яке дозволяє прослідити нагрівання і плавлення шарів металу при легуванні. Вирішення є трьохмірним: враховується симетрія променя лазера й закон розподілу енергії. Вирішуючи рівняння теплопровідності Фур'є, було визначено температуру нульового вузла в момент часу $t + \Delta t$, через температуру навколишніх вузлів в момент часу t :

$$T_0^{t+\Delta t} = F_0 \cdot (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6) + (1 - 6 \cdot F_0) \cdot T_0^t$$

де F_0 - число Фур'є;

T_i - температура i -го вузла;

$i = 1 \dots 6$;

T_0 - температура граничного кубика.

Температура на границях визначалась лінійною апроксимацією температурного поля:

$$T_1 - T_0 = T_2 - T_1$$

На рис. I показано розрахунковий розподіл температур за глибиною

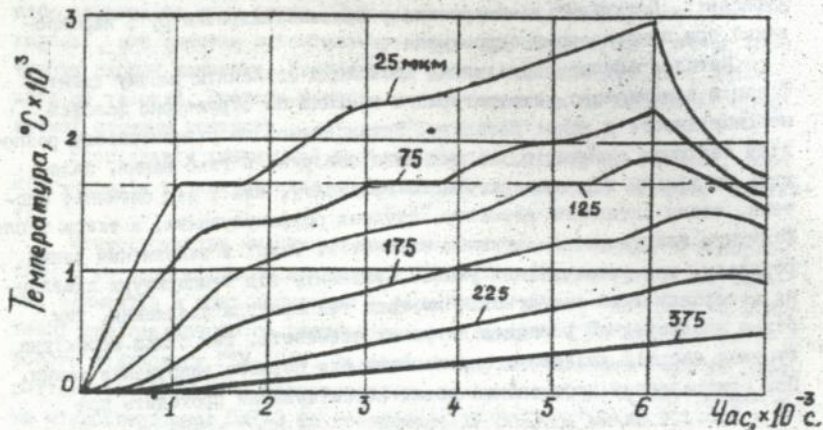


Рис. 1. Розподіл температур в поверхневих шарах металу при лазерному оплавленні металу. $E = 3 \text{ Дж/мм}^2$, $t_{\text{imp.}} = 6 \times 10^{-5} \text{ с}$.

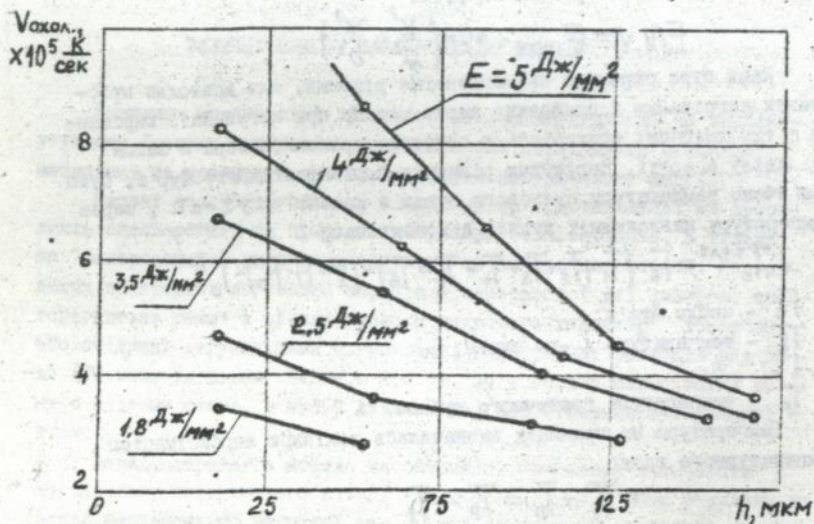


Рис. 2. Зміна швидкості охолодження розплаву за глибинов поверхневого шару при різних режимах опромінення.

поверхневого шару при імпульсному опроміненні. Тангенс кута нахилу кривих відповідає швидкості нагрівання. При цьому спостерігається наступна картина: при досягненні температури плавлення верхніх шарів, вони поглинають енергію, яка йде тільки на плавлення даного об'єму металу, а нагрівання нижчих шарів різко сповільнюється.

Так при лазерній обробці в режимі $E = 3 \text{ Дж/мм}^2$ та тривалості імпульса 6×10^{-3} секунди, розрахункова швидкість нагрівання на глибині 75 мкм до початку плавлення вищеележачого шару була $10,2 \times 10^5$ град/с, а після початку плавлення - 3×10^5 град/с. Розрахунок температурних полів дозволив отримати дані про швидкість охолодження на різних глибинах ванни розплаву в залежності від режимів обробки /рис.2/. Така значна різниця в швидкостях охолодження за глибиною, приводить до зональної ліквідації в середині ванни розплаву і високих температурних напружень, що і підтвердили металографічні дослідження.

Просторовий розподіл температурних полів в перерізі променя лазера, дозволив розрахувати ефективну площу легування поверхні:

$$K = \frac{S_A}{S_0} \cdot 100\%$$

де S_A - площа оплавленої поверхні;

S_0 - площа опромінюваної поверхні.

За результатами розрахунків були побудовані діаграми, які дозволили визначити режими, що необхідні для реалізації на поверхні тих чи інших фізичних процесів, починаючи від переходу сталі в аустенітний стан і закінчуючи активним випаровуванням.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ, СТРУКТУРИ ТА СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПІСЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ

Як легувачі елементи використовувався ряд перехідних металів:

Cr, Mn, W, Nb, Ti / розташовані по зростаючій ступені спорідненості з вуглецем та стійкості карбідних фаз/, а також їх суміші.

Встановлено, що структура та властивості легованих шарів залежать від типу елемента, який вводиться, та режиму опромінювання. Тому дослідження проводились для кожної сталі і легovanого матеріалу окремо. З точки зору міцносних та антикорозійних властивостей покриття, які отримуємо, перш за все грає роль ступінь завершеності

структурних перетворень, рівномірність легуючих елементів у ванні розплаву, існування перехідної зони та поверхнева мікротвердість. При однаковій товщині обмаски єдиним технологічним параметром, який визначає перераховані властивості, є густина енергії лазерного випромінювання $E / \text{Дж}/\text{мм}^2$. Із збільшенням густини енергії збільшується зона легування, незалежно від складу обмаски. Керуючись розрахунками III розділу, на основі якого можна було прогнозувати розміри зон легування та зон термічного впливу, була здійснена обробка зразків в межах $E = 1,5 \dots 4 \text{ Дж}/\text{мм}^2$ з кроком $0,2 \text{ Дж}/\text{мм}^2$.

Порогове значення E , коли не відбувається легування, тобто більша частина легуючих елементів не вступає у взаємодію з матрицею, знаходиться в залежності від температури плавлення матеріалу обмаски. Так, при легуванні сталі 30ХГСА вольфрамом спільна ванна розплаву утворюється при $E = 2,5 \text{ Дж}/\text{мм}^2$, а при легуванні нікелем $E = 2 \text{ Дж}/\text{мм}^2$. Легований шар, в цьому випадку, характеризується грубою, відносно м'якою структурою. Фазовий рентгеноструктурний аналіз показав наявність твердого розчину заміщення легуючих елементів в α -залізі. Мікротвердість цієї структури в зоні плавлення /ЗП/ нижча мікротвердості зони термічного впливу /ЗТВ/. Так, при легуванні сталі 45 хромом, мікротвердість ЗП складала 5000 МПа, а ЗТВ— 7000 МПа.

Максимальна мікротвердість отримана при легуванні сталі 45 ніобієм і складає 14000 МПа, для сталі 30ХГСА та 20ХІЗ, 12000 та 10000 МПа відповідно / $E = 3 \text{ Дж}/\text{мм}^2$ /.

Зони підвищеної мікротвердості зв'язані з карбідоутворенням при легуванні. Рентгеноструктурний аналіз показав, що найбільш стійкими до розпаду при швидкісному нагріванні є карбіди, які мають просту кристалічну решітку /фази проникнення/, наприклад, NbC , Nb_2C дякуючи яким, легований шар робиться армірованим цими карбідами. Для кожної сталі були визначені режими легування, які забезпечують максимальний вміст у розплаві ділянок з підвищеною мікротвердістю. Металографічні та діаметричні дослідження показали, що мікротвердість ЗП напряму пов'язана з процентним складом вуглецю в сталі.

При збільшенні ЗП зменшується концентрація легуючого елементу. Тому при великій густині енергії $E = 3,5 \text{ Дж}/\text{мм}^2$, карбідоутворюючі фази розчиняються в цементиті з утворенням легovanого цементиту, наприклад $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$. Із збільшенням вмісту легуючих елементів утво-

рюються складні карбіди $(Cr, Fe)_7C_3$, $(Cr, Fe)_{23}C_6$ та ін. Легування вольфрамом і молібденом при їх кількості, яка перевищує межу насичення цементиту, дає на рентгенограмах крім ліній \mathcal{L} -заліза, лінії подвійних карбідів $Fe_3W_3C(Fe_2W_2C)$ та $Fe_3Mo_3C(Fe_2Mo_2C)$. Ці карбіди рівномірно розташовані по об'єму ванни розплаву і не дають суттєвого приросту мікротвердості. Задачою в цьому випадку було знайти такі режими опромінювання, коли карбіди знаходились би поза розчину у вигляді окремих агломератів. Тоді залишковий аустеніт стає менш стійким і перетворюється $\gamma - \mathcal{L}$ проходить більш повно. Це пояснюється тим, що карбіди є центрами кристалізації, а також тим, що в присутності нерозчинених карбідів аустеніт збіднюється легуваним елементом і вуглицем. Режими в області 2,3...3 Дж/мм² найбільш прийнятні для зміцнення, оскільки досягається повне перемішування металу в ванні і утворюється рівномірна структура з максимальною твердістю. Легування кобальтом розширює режими легування з гарантованою високою мікротвердістю, так як це єдиний елемент, який прискорює ізотермічний розпад аустеніту і підвищує температуру мартенситного перетворення. Мікротвердість сталі 30ХГСА складає 10 000 МПа при глибині ЗП 280 мкм.

Локальний мікрорентгеноспектральний аналіз показав, що при рекомендованих режимах легування концентрація легуваних елементів в ЗП розподілена рівномірно і складає 1-10%. В ЗТВ легуваних елементів не виявлено. При $E = 2,8$ Дж/мм² спостерігається різке падіння твердості в ЗП у границі з ЗТВ /Рис.3/. Падіння мікротвердості пояснюється зниженням вмісту легуваних елементів та зневуглицюванням. ЗТВ в цьому випадку має структуру мартенсита.

Лазерне випромінювання використовувалося при обробці електроіскрового покриття з твердого сплаву ВК6, нанесеного на установці ЕЛФА-541. Це дозволило збільшити адгезію покриття з основою, ліквідувати термічні тріщини та зменшити середньоарифметичну шорсткість з $Ra = 2...4$ мкм до $Ra = 0,4...0,8$ мкм. При більш глибокому оплавленні гексагональний карбід WC переходить в кубічний WC та W_2C , що підвищує мікротвердість на 1000 МПа.

З метою отримання більш тонких функціональних покриттів, лазерна установка була модернізована шляхом переходу до режиму генерації гігантських імпульсів. Для цього використовувався внутрішньорезонаторний пасивний оптичний затвор на основі кристалу LiF з центрами

окраски. В залежності від енергії накачки, оптичної густини і втрат в резонаторі, за час імпульса накачки генерувалось від 1 до 10 гігантських імпульсів випромінювання тривалістю 10-30 наносекунд. При опроміненні сталей відбувалось легування з внутрішніх джерел і формувалась тонка аморфна плівка оплавленого металу товщиною до 10 мкм і $R_a = 0,3-0,8$ мкм, що не потребує подальшої шліфовки поверхні.

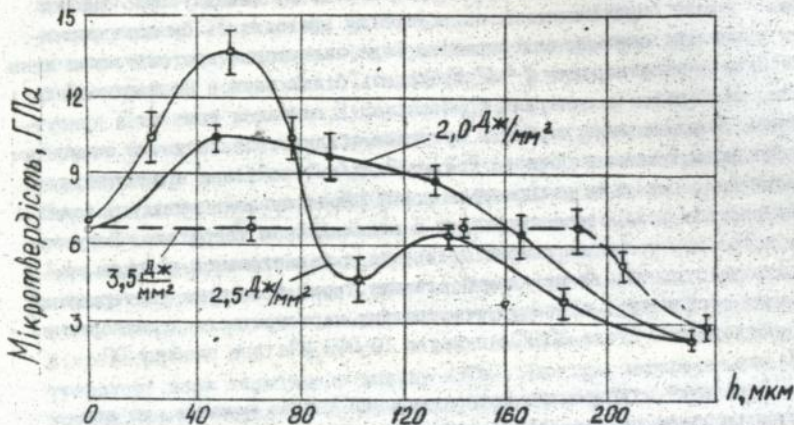


Рис. 3. Розподіл мікротвердості за глибиною в зоні лазерного впливу сталі 45, легованої ніобієм.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ ПІСЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ В УМОВАХ ФРЕТІНГ-КОРОЗІЇ

Аналіз будови та властивостей оброблених поверхонь показав, що вони мають широкий комплекс властивостей. Випробування зразків проводили за схемою площина-площина. Тиск стиснення зразків змінювався від 10 до 40 МПа. Амплітуда проковзування зразків 50-60 мкм. Контрольний зразок - сталь 45, термооброблена /HRC 42-45/. Дані умови випробувань відповідають реальним умовам експлуатації номінально-нерухомих з'єднань деталей машин.

Відомо, що при фретінгу тонкий поверхневий шар металу знаходиться у високодисперсному стані, активізуються процеси дифузії і атомні явища на контакті. Складний взаємозв'язок фізико-хімічних процесів при фретінг-корозії, значне число факторів, які зумовлюють їх активність в конкретному випадку, робить лазерне легування універсальним способом підвищення фретінгостійкості. При випробуваннях критерієм фретінгостійкості було питоме вагове зношення.

Лазерне легування у всіх без винятку випадках зменшує вагові втрати зразків при фретінгу у порівнянні з відпаленими і загартованими зразками. Найбільшою фретінгостійкістю з ряду досліджуваних зразків мала сталь 20Х13, легувана ніобієм $E = 2,9 \text{ Дж/мм}^2$. При цьому режимі поверхневий шар має найбільшу мікротвердість за рахунок карбідів ніобія, а також достатню глибину ЗП /200 мкм/ та рівномірний розподіл легуючих елементів. З числа елементів, які вводились, ніобій найбільш ефективний як для сталі 45, так і для 30ХГСА. І хоча мікротвердість після обробки цих сталей набагато більша, ніж для сталі 20Х13, питоме вагове зношення у них на 30% більше. Отже, вплив м.кротвердості на фретінг-зношення не можна оцінювати однозначно. Очевидно, що для збільшення зносостійкості при фретінгу нержавіючих сталей необхідно збільшувати мікротвердість, а для вуглецевих сталей збільшувати корозійну стійкість. В першому випадку це досягається в результаті високошвидкісного нагрівання-охолодження та утворенням карбідів, в другому випадку- утворенням легуваного мартенситу та окисних плівок типу Cr_2O_3 .

Вимірювання нестатичних переміщень в місці дотику зразків, які труться, дозволило визначити час активної адгезійної взаємодії при фретінгу. З перших же циклів фретінгу виявлено явище "негативного" зношування, коли зразки розсуваються. При цьому виникає швидкий ріст сили тертя та тангенціальних віброприскорень нерухомого зразку. Дослідження топографії поверхні тертя на цьому етапі дозволило оцінити роль адгезії в розвитку фретінг-корозії, як модифікованих, так і вихідних матеріалів. Було запропоновано механізм фретінгу на початковій стадії, коли корозійний фактор не проявляється в повній мірі і руйнування окисних плівок переважає над їх відновленням. Коливальні тангенціальні рухи ведуть до накопичення зрізаного металу між поверхнями. Процес розшарування поверхневих шарів металу супроводжується двома важливими явищами, які багато в чому зумовлюють про-

цес зрешення при фретінгу: деформаційним зміцненням та утворенням мікротріщин в місцях пересічення площин ковзання, що розповсюджуються в площині головних напружень під кутом 45° до поверхні. Дослідження підповерхневих шарів показали, що лазерне легування веде до того, що при фретінгу локалізуються всі деформаційні явища в тонкому поверхневому шарі і механізм зношення з області малоциклової втоми переходить в область багатоциклової.

Стендові випробування показали, що фретінгостійкість корелює з періодом адгезійної взаємодії поверхонь. Найбільший період був для легованої сталі 45 та ЗОХГСА молібденом, найменший - ніобієм. Лазерне легування сталей дозволило збільшити фретінгостійкість при таких умовах випробувань в 8-12 разів у порівнянні з термообробленою. Коефіцієнт тертя зменшується з 0,7 до 0,28 на стадії адгезійної взаємодії, з 0,5 до 0,35 на етапі усталеного фретінгу.

лазерна обробка електроіскрового покриття з карбіду вольфраму робить модифіковану поверхню практично беззною при фретінгу, але тільки при зовсім помірному тиску до 3 МПа. Збільшення тиску між зразками приводить до катастрофічного зношення через силне фрагментування твердої кірки карбіду вольфраму, яка діє як абразив на м'яку основу.

Ефективність обробки сталей випромінюванням наносекундних тривалістю, вивчалось при малоамплітудному фретінгу $/2...5 \text{ мкм}/$, який ініціювався на периферії площини контакту двох циліндрів, які контактують по сферичній. Згідно уявленню Джонсона та Пінгетіна була виділена зона проковзування і оцінено вплив на площу фретінг-пошкодження наступних факторів: радіусів циліндрів, тиску і тангенційної складової сили стиснення. Лазерне опромінування приводить до часткової аморфізації поверхні, що зменшує поразки від фретінг-корозії при цих випробуваннях в 3 рази для сталі 20Х13 та в 1,8-2 рази для сталей 45 і ЗОХГСА.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведено аналіз та систематизацію фретінг-пошкоджень функціональних систем автотранспортних засобів. Робота номінально-нерухомих спряжень характеризується несталими режимами в умовах динамічних та ударних навантажень. При цьому ефективним засобом припинен-

ня фретінг-процесів для багатьох матеріалів : умов експлуатації може бути зміцнення поверхні за допомогою лазерного легування перехідними металами.

2. Були розроблені випробувальні стенди /А.с. №1536254/ та способи виміру сил тертя при фретінгу /А.с. №1672307, А.с. №1719049/, які дозволяють отримати більш широкі умови випробувань та підвищити точність вимірювань.

3. Металографічні дослідження легованих структур показали, що головний механізм міграції легуючих елементів— конвективне переміщення у ванні розплаву. Рухачи і сили процесу є сили поверхневого натягу, які залежать від температурних градієнтів.

4. Методом скінчених різниць розраховані температурні поля в перерізі зміцнених шарів. Отримані значення швидкостей нагріву-охолодження при імпульсному опроміненні на різних глибинах. В залежності від глибини ванни, температурний градієнт може відрізнятись в 2-3 рази. Розраховані площі легування на поверхні при прямокутній формі променя лазера. Складені діаграми для визначення розмірів ЗП та ЗТВ для різних режимів обробки.

5. Досліджені фізико-механічні властивості легованих шарів. Найбільша мікротвердість отримана при легуванні сталей ніобієм /12000-14000 МПа/. Встановлена роль карбідної фази в зміцненні та режими с.ромінення, які забезпечують нерозчинення карбідів. Основс легуваного шару є метастабільний твердий розчин заміщення легуючих елементів в α -залізі з їх вмістом 2-8%.

6. Адгезія є найважливішим фактором, який визначає експлуатаційні властивості поверхонь. Вона приводить до зношування на ранній стадії, внаслідок розшарування металу та сприяє зародженню етмлювальних субмікро-та мікротріщин у поверхневому шарі. Практично з перших циклів навантаження у локальних об'ємах поверхневих шарів формується дрібнодисперсна субструктура, яка характерна для високого ступеня деформації.

7. Лазерне легування перехідними металами дозволяє гнучко регулювати структуру, а, отже, і трибофізичні властивості поверхні. Зносостійкість досліджуваних сталей зростає в умовах фретінгу у 3-12 разів. Опромінення електроіскрових покриттів робить їх практично незношуваними при тиску до 3 МПа. В іншому випадку відбувається катодостроїчне абразивне знош.

8. Модернізація установки отримані гігантські імпульси тривалістю 10-30 наносекунд. Тонкий мікрооплавлений шар /за даними рентгеноструктурного аналізу аморфний/ зменшує розвиток фреттинг-корозії при надмалих амплітудах проковзування в 1,8-3 рази і не вимагає довідних операцій обробленої поверхні.

9. Результати роботи впроваджені на Городоцькому верстатобудівному об'єднанні. За розробленою технологією оброблялись місця з'явлення деталей деревообробного верстата ОК-104. Економічний ефект на один комплект деталей оброблюючого центру склав 15 тис.крб. за цінами 1991 року.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ НАДРУКОВАНО У ТАКИХ РОЗДАТКАХ:

1. Исследование напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев упрочненных деталей /Шалун В.Г., Марченко В.Л., Шалапко В.И.//Известие ВУЗов.Машиностроение, 1989.-II.-с.7-10.

2. Получение комбинированных покрытий методом лазерного облучения/В.В.Ковалевский, Т.В.Тарасова, В.И.Шалапко//Труды 7-го Международного конгресса по термической обработке. Москва, 1990.-с.435-437.

3. Исследование износостойкости покрытий, полученных методом лазерного упрочнения/А.А.Овчинников, В.И.Шалапко//Управление триботехническими и прочностными свойствами механических систем, Сб. научных трудов ХИИ.Хмельницкий, 1990.-с.9-14.

4. Установка для исследования поведения стыка при фреттинге/В.В.Ковалевский, С.Г.Костогряз, В.И.Шалапко// Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Износостойкость машин". Брянск, 1991.-с.156-157.

5. Резонансные эффекты трения в номинально неподвижном контакте при малом амплитудном фреттинге/С.Г.Костогряз, В.В.Ковалевский, В.И.Шалапко// Трение и износ.-1991.-т.2.-37.-с.459-461.

6. Лазерная обработка посадочных мест подшипников качения с целью уменьшения их фреттингостойкости/В.В.Ковалевский, В.И.Шалапко// Тезисы докладов республ.научно-техн.конф. "Материалы и упрочняющие технологии". Курск, 1992.-с.72-73.

7. Экспериментально-теоретические исследования изнашивания стальных в условиях фреттинг-коррозии/В.И.Шалапко// Тезисы докладов республ.научно-техн.конф. "Качество и надежность трения". Хмельницкий, 1992.-с.56-58.

8. Экспресс-метод определения толщины тонких упрочняющих покрытий/В.В.Ковалевский, Л.Е.Зубков, В.И.Шалапко//Заповская лаборатория.-1990.-1.-с.55-56.

9. Лазерне легирование в задачах трибологии / W.W. Kowalewski, J.I. Szalapko, J.P. Zaspal // *Przemiany strukturalne w stopach odlewniczych - teoria i efekty uzytkowe* - Proszow, 1993 - с. 34-41

10. Запобігання фретінг-корозії конструкційних сталей лазерним легуванням поверхні / В.В.Ковалевський, Б.І.Шалапко, Ю.П.Заспа // Тези міжнародної конф. "Конструкційні та функціональні матеріали". Львів "Львівська політехніка", 1993. - с. 58-59.

11. Моделирование процесса лазерного нагрева при термической обработке конструкционных сталей / В.В.Ковалевский, Ю.И.Шалапко, А.В.Ткачук // Тези міжнарод. науково-техн. конф. "Вдосконалення обладнання легкої промисловості та складної побутової техніки", Хмельницький, 1993. - с. 75-76.

12. А.с. №1536264 СССР, МКИ ОI 3/56. Установка для испытания материалов на контактную выносливость / С.Г.Костогурыз, В.В.Ковалевский, В.Г.Каплун, Е.А.Ляшенко, Ю.И.Шалапко и др. // Оpubл. 15.01.90. Бюл. №2.

13. А.с. №1672307 СССР, МКИ ОI 19/02. Способ измерения силы трения / В.В.Ковалевский, С.Г.Костогурыз, Е.А.Збитнев, Ю.И.Шалапко и др. // Оpubл. 23.08.91. Бюл. №31.

14. А.с. №1716049 СССР, МКИ ОI 19/02. Способ измерения силы трения / В.В.Ковалевский, С.Г.Костогурыз, Е.А.Збитнев, Ю.И.Шалапко и др. // Оpubл. 07.03.92. Бюл. №9.



1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900



464486

Підписано до друку 2.11.93р. Формат 60x84 16, друк офсетний,
ум. друк. арк. 1,0, папір писальний, тираж 100 экв. зам. 2769

Надруковано в друкарні Хмельницької міської адміністрації

AB 28.460

AB 28.460

INTERNATIONAL BUSINESS

1970-1971

1972-1973

1974-1975

1976-1977

1978-1979

1980-1981

1982-1983

1984-1985

1986-1987

1988-1989

1990-1991

1992-1993

1994-1995

1996-1997

1998-1999

2000-2001

2002-2003