

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ТАРЕЛЬНИК ВЯЧЕСЛАВ БОРИСОВИЧ

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ІНСТРУМЕНТА ТА  
ВАЖКОАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИМ  
ЛЕГУВАННЯМ З НАСТІПНОЮ ПЛАСТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ

05.03.05 - Процеси та машини  
обробки тиском

05.03.01 - Процеси механічної та  
фізико-технічної об-  
робки, станки й ін-  
струменти

#### А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Луганськ, 1994

ДВ 30.014

Робота виконана в Східноукраїнському державному університеті на кафедрі "Машини та технологія обробки металів тиском".

Науковий керівник - доктор технічних наук,  
професор ЛЕЩІНСЬКИЙ В.М.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,  
професор ЗАРУВЦЬКИЙ Е.У.  
- кандидат технічних наук  
ЧЕРЕДНИЧЕНКО С.П.

Провідне підприємство - Луганський проектно-технічний інститут машинобудування

Захист відбудеться "29" 03 1994 р. в 12 годин на засіданні спеціалізованої ради в Східноукраїнському державному університеті за адресою: 348034, м.Луганськ, квартал Молодіжний, 20а. Довідки по телефону: 0642 46-67-88.

Спеціалізована рада К 068.44.02.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Східноукраїнського державного університету.

Автореферат розіслано "28" 02 1994 р.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00756470 (Т)

Вчений секретар спеціалізованої ради, кандидат технічних наук

Мей

Л.А. РЯВІЧЕВА

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасна зміцнююча технологія має в своєму розпорядженні численні методи покращання структури та властивостей поверхневого шару, кожен із яких має свої оптимальні галузі застосування, достоїнства та недоліки. Значний інтерес для практики має метод електроерозійного легування /ЕЕЛ/, який знаходить усе більше застосування в промисловості. Він використовується для підвищення зносостійкості та твердості поверхні деталей машин, у тому числі для роботи в умовах підвищених температур, жаростійкості та корозійної стійкості поверхні, довговічності металоріжучого та штампового інструмента, відновлення зношених поверхонь деталей машин при ремонті та ін. Поряд з тим, що ЕЕЛ позитивно впливає на зносостійкість поверхневого шару, істотно підвищує стійкість ріжучого та штампового інструмента, його недоліки нерідко обмежують застосування даної технології для широкого кола деталей машин. До таких відносяться: погіршення чистоти поверхні виробів, оброблених ЕЕЛ; нерівномірність поверхневого зміцнювання; негативний вплив ерозійного розряду на утомленість властивостей виробів, наявність у ряді випадків у загартованих виробах підшарку з пониженою твердістю та інші.

З іншого боку, надто ефективною технологією поверхневого зміцнювання є поверхнева пластична деформація /ПД/, яка значно усуває зазначені вище недоліки ЕЕЛ зміцнювання.

Через це дана робота присвячена дослідженню можливості застосування комплексної технології зміцнення ЕЕЛ та ПД поверхневих шарів важконавантажених деталей та інструмента.

**Метод роботи** є визначення основних закономірностей між якістю, працездатністю виробів і технологічними параметрами ЕЕЛ і ПД, розробка технології ЕЕЛ і ПД широкого асортименту інструментів і деталей машин та наступне її застосування в різних галузях народного господарства.

**Наукова новизна.** 1. Установлені особливості надвидкісних процесів формування структури поверхневого шару при ЕЕЛ на установках середньої потужності електроерозійного розряду в залежності від матеріалу електрода та оточуючого середовища і закономірності зміни параметрів структури та властивостей поверхневого шару в залежності від потужності та тривалості розряду.

2. Теоретично обґрунтована, експериментально доведена та кількісно оцінена роль поверхневої пластичної деформації в покращанні

експлуатаційних властивостей електроерозійного легуваного поверхневого шару важконавантажених деталей.

3. Знайдено оптимальне сполучення технологічних параметрів комплексної обробки ЕЕЛ і ППД на основі використання зниження спору деформації м'якого підшарку внаслідок ЕЕЛ та наступного ефективного зміцнення цього підшарку ППД.

Основні наукові положення, які захищаються в роботі.

1. Вплив комбінованих методів дії ЕЕЛ і ППД на структуру та властивості поверхневого шару за рахунок ефективного зміцнення м'якого підшарку при поверхневій пластичній деформації.

2. На основі аналізу напружено-деформованого стану при ППД поверхневого шару зі складною структурою, яка утворюється при ЕЕЛ, розроблена методика визначення основних характеристик структури та властивостей зміцненого шару в залежності від технологічних параметрів обох етапів технології.

Також одержані і захищаються такі наукові результати:

1. Закономірності структуроутворення поверхневого шару в залежності від потужності розряду та характеру легування поверхневого шару при ЕЕЛ.

2. Експериментально виявлені резерви зміцнення м'якого підшарку й теоретично обґрунтовані раціональні режими поверхневої пластичної деформації останнього.

3. Технологічні режими комбінованої обробки ЕЕЛ і ППД поверхневих шарів інструмента й важконавантажених деталей колічастих валів, серги компресора та ін.

Практична цінність роботи. У даній роботі запропоноване комплексне вирішення проблеми підвищення зносостійкості поверхневих деталей машин та інструмента, збереження ними триквісних властивостей при тривалій експлуатації за рахунок оптимального сполучення технології електроерозійного легування й поверхневої пластичної деформації.

Розроблена гама технологічних процесів для підвищення стійкості деталей штампового й металоріжучого інструмента, колічастих валів, осей та інших, які впроваджені в промисловості /НВО імені М.В.Фрунзе м.Суми, ЦБІО ПирНО-4 м.Нижньовартівськ, ЦБК м.Котлас, НВО "Сибнефтегазпроммил" м.Тюмень та ін/.

Апробація роботи. Результати проведеної роботи доповідались і схвалені на республіканській міжвузівській конференції "Автомати -

зачія технологічної підготовки виробництва в машинобудуванні й приладобудуванні" /м.Ворошиловград, 1989 р./; на Уш Всесоюзній науково-технічній конференції "Створення компресорних машин та установок, забезпечуючих інтенсивний розвиток галузей паливно-енергетичного комплексу"/м.Суми, 1989 р./; на Ш Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми розвитку локомотивобудування"/ м.Луганськ, 1990 р./; на республіканському семінарі "Фізика та механіка пластичних деформацій порошкових матеріалів"/ м.Луганськ, 1991 р./; на науково-технічній раді ВНДУ компресормаш /м.Суми, 1989-1993 р.р./.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в семи статтях, одному авторському свідоцтві, одна стаття прийнята до друку.

Структура й обсяг роботи. Робота складається зі вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури й додатка.

Дисертація нараховує сторінок машинописного тексту, в тому числі 14 таблиць, 61 малюнок. Бібліографія включає 115 найменувань.

### ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми, у ньому сформульовані мета і завдання дослідження.

У першій главі зроблений літературний огляд, якій характеризує сучасний стан досліджуваних питань. Приводяться результати експериментальних і теоретичних робіт по вивченню суті процесу ЕЕЛ, його достоїнств і недоліків. Розглянуті питання формування структури поверхневого шару в залежності від матеріалу електродів, середовища, режимів легування. Показано позитивний вплив ПІД на структуру і властивості виробів. Обкатка кулькою /ОК/ або алмазне вигладжування /АВ/ поверхонь дозволяє покращити чистоту поверхні, зняти залишкові розтягуючі напруження. Систематизовані найважливіші результати робіт по вивченню пластичних деформацій у зоні контакту, розглянуті різні аспекти механізму та закономірностей цього явища.

На жаль, у цих роботах дослідження проводились для однорідних матеріалів. У них дається аналіз напружено-деформованого стану в осередку деформації для однорідних матеріалів, який базується на понятті пластичної твердості матеріалу, як ступеня його зміцнення, і дозволяє обґрунтовано призначати технологічні ре-

ними ППД, які забезпечують потрібну структуру, властивості і шорсткість поверхневого шару. Показано, що доцільно перебудувати методику розрахунків параметрів ППД для ЕЕЛ шарів, які мають свої особливості структури.

Із літературного огляду випливає, що практично відсутні дані по визначенню зв'язку кількості залишкового аустеніта в ЕЕЛ шарах з режимами ЕЕЛ. Висока наявність аустеніта в ЕЕЛ може слугувати резервом підвищення їх експлуатаційних якостей при наступному ППД.

Внаслідок аналізу літературних даних сформульовані завдання дослідження:

1. Вивчення особливостей та установлення механізму формування структури поверхневого шару при ЕЕЛ на установках середньої потужності електроерозійного розряду в залежності від матеріалу електрода та оточуючого середовища.

2. Дослідження напружено-деформованого стану, технологічних параметрів поверхневої пластичної деформації ЕЕЛ поверхневих шарів та їх вплив на якість і працездатність виробів.

3. Розробка та впровадження комбінованої технології ЕЕЛ і ППД інструмента та інших важконавантажених деталей.

У другій главі викладені методики дослідження, типи обладнання, установок, машин для реалізації комбінованих технологій зміцнення ЕЕЛ і ППД.

В якості матеріалу катода /деталі/ використовувалася сталь 45, як найбільш поширена і виявлена класичним представником конструкційних сталей для виготовлення деталей машин, швидкоріжуча сталь Р6М5, як класичний представник відповідно до ріжучого інструмента. Крім того, реалізація розробленого способу ЕЕЛ /а.с. №1734968/ проводилась для практичного застосування на виробах, виготовлених із сталі 07Х16Н6, широко розповсюдженої в хімічному машинобудуванні.

В якості анода /електрода/ застосовувались чисті метали: залізо /армо/, хром, вольфрам, нікель, молибден, титан, індій, олово, а також графіт, сталь 50, 30 Х 13, 38 Х Н3МФА, тверді сплави ПН8 і Т15К6.

Вплив матеріалу електрода, середовища, режимів ЕЕЛ на якісні параметри покриттів визначався за допомогою установки електроерозійного легування моделі ЗНЛВ-8. ЕЕЛ здійснювалось на зразках площини 1 см<sup>2</sup> як у повітряному середовищі, так і в середовищі аргону та азота.

З метою вивчення масоперенесення при ЕЕЛ, на аналітичних те-

резах ВЛА-200, з точністю до 0,0001 г, визначались приріст катода та ерозія анода.

Оцінка якості шару, його щільність, товщина та будова зон підшарку проводилась на оптичному мікроскопі "Неофіт - 2". Одночасно проводився замір мікротвердості по глибині шліфа на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавлюванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н.

Рентгенівський фазовий аналіз зразків проводився на установці ДРОН-3М.

Для аналізу фазового стану проведені зйомки дифрактограм з поверхні покриттів на всіх кутах від  $\theta$  20° до 150° на зразках з підкладками із сталі 45 та армко-заліза. У якості анода запроваджували: армко-залізо, хром, вольфрам, титан, нікель. ЕЕЛ проводилося в середовищі повітря та аргона по режимах ( $I_{кл.} = 2,1 А$ ,  $U_{кл.} = 60,7 В$ ) при ємкості позитивного конденсатора 300 мкф. Тривалість легування становила  $1 \times 10^2 / \text{см}^2$  і  $2 \times 10^2 / \text{см}^2$ .

Зносостійкість зміцнених шарів досліджувалась двома способами. Зносостійкість круглих зразків  $\phi$  50 мм із сталі 45 визначалась на машині тертя СМЦ-2 у парі з індентором із твердого сплаву Т І6Н6, а плоских зразків 10 X 10 X 6 мм - із сталі 45, Р6М5 і 07 X І6Н6 експрес-методом на спеціально сконструйованій установці на базі вертикально-свердлильного станка Мод 2М-ІІ2 у парі з індентором із фторопласта 4К-20. Лінійне зношування зразків визначалось методом штучних баз по різниці глибин відбитків вимірних після припасовування та по закінченню експеримента. Глибини відбитків вимірювалися на твердомірі Віккерса. Інтеграмне зношування з усієї поверхні зразка визначалось як різниця ваги зразка до і після проведення експерименту.

Алмазне вигладжування ЕЕЛ зразків  $\phi$  50 мм із сталі 45 виконувалось за допомогою пружино-гідравлічного прилаштування вигладжувачами з радіусом вершини  $R = 1, 2, 3, 4$  мм, в залежності від твердості покриття при швидкості  $V = 40 - 80$  м/хв, та зусиллі вигладжування  $P = 60 - 350$  Н, та подачі  $S = 0,02 - 0,07$  мм/об.

Обкатка кулькою проводилась пружино-штоковим прилаштуванням з кульковими голівками  $D_{ш} = 19$  і 10 мм. Максимальне зусилля обкатки  $P_{ш} = 2000$  Н,  $P_{ш} = 1200$  Н.

Подача  $S = 0,05 - 0,21$  мм/об., швидкість -  $V = 300$  об/хв.

Залишкові напруження визначали в двох напрямках - тангенціальному та осьовому. Тангенціальні залишки напруження визначали на

кільцевих зразках /  $D_H = 60$  мм,  $D_B = 58$  мм,  $B = 10$  мм/ по наклеєних тензодатчиках після розточки та після розрізування по твірній. Дослідження осьових залишкових напружень проводили на призматичних зразках розміром  $70 \times 5 \times 2$  мм, за методикою І.А.Біргера, шляхом шарового електрополірування напружених шарів на установці типу "Піон". Стан поверхневого шару зразків із сталі 45 при визначенні залишкових напружень: 1. Обкатка кульков /  $P_{10} = 1500$  Н/ + ЕЕЛ хромом /  $J_{к.з.} = 2, I A, U_{х.х.} = 68,7$  В,  $C = 300$  мкФ/ + обкатка кульков /  $P_{10} = 1500$  Н/. 2. ЕЕЛ хромом /  $J_{к.з.} = 2, I A, U_{х.х.} = 68,7$  В,  $C = 300$  мкФ/ + обкатка кульков /  $P_{10} = 1500$  Н/. ЕЕЛ хромом /  $J_{к.з.} = 2, I A, U_{х.х.} = 68,7$  В,  $C = 300$  мкФ/.

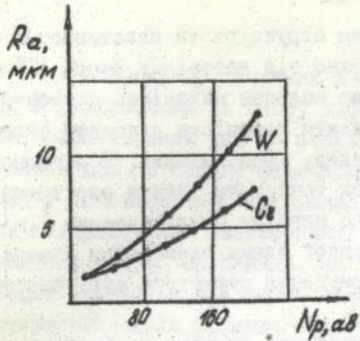
Дослідження на витривалість проводили на машині УП-20 на базі  $1 \cdot 10^6$  циклів. Для визначення межі витривалості були виготовлені натурні моделі - зразки з робочим діаметром 50 мм із сталі 45. Межа витривалості визначалася з точністю 10 МПа для таких серій: - без ЕЕЛ і зміцнення ППД, - ЕЕЛ хромом без ППД, - ЕЕЛ хромом і обкатка кульков, - обкатка кульков + ЕЕЛ хромом + обкатка кульков, - ЕЕЛ хромом + алмазне вигладжування, - ЕЕЛ графітом + алмазне вигладжування.

Кількісна оцінка експериментальних даних виконувалася методом математичної статистики у відповідності з вимогами ГОСТа 8.207-76 "Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений".

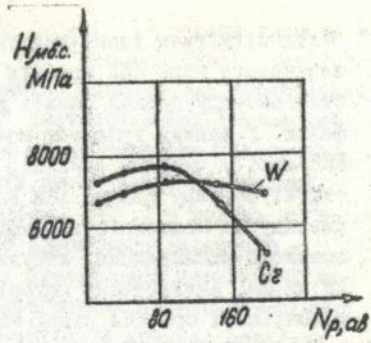
Третя глава присвячена вивченню особливостей формування структури поверхневого шару зразків із сталі 45 в залежності від режиму і параметрів ЕЕЛ, матеріалу легуючого електрода, середовища та часу легування.

Результати обробки експериментальних даних одержані у вигляді залежностей приросту матеріалу катода, шорсткості зміцнюваної поверхні, мікротвердості й товщини білого шару, вмісту аустеніта в ЕЕЛ шарі від потужності розряду  $N_p = J_{к.з.} \cdot U_{х.х.}$ . На мал.1 показані типові графіки функцій

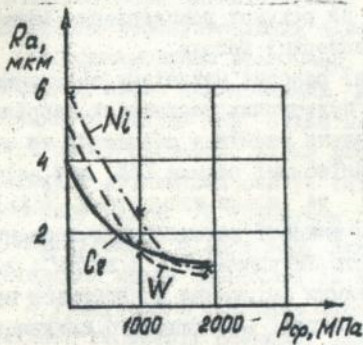
Із лінійної апроксимації функції  $\Delta h_{д.с.} = f(\ln N_p)$  виходить, що в першому наближенні ця функція постає рівнянням  $\Delta h_{д.с.} = C + \text{tg} \delta \ln N_p$ . Тут  $C$  - товщина білого шару при легуванні на мінімальному режимі установки ЕЕЛ,  $\text{tg} \delta$  - характеризує кут нахилу лінійної апроксимації  $\Delta h_{д.с.} = f(\ln N_p)$ .  $N_p$  - потужність розряду, яка визначається помноженням струму короткого замикання  $J_{к.з.}$  на напруження холостого ходу  $U_{х.х.}$ .



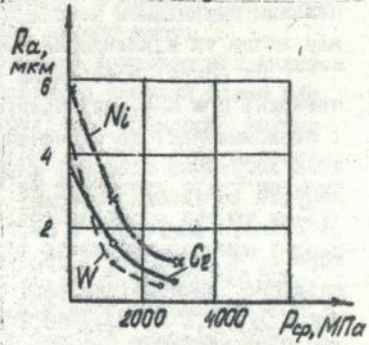
a



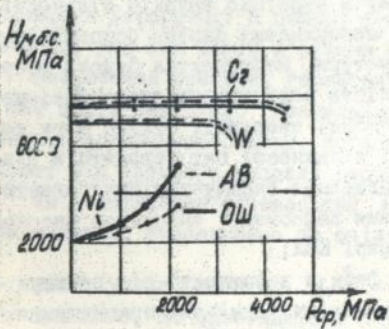
б



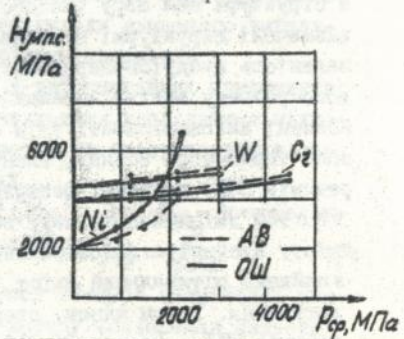
в



г



д



е

Мал. I. Залежності основних характеристик поверхневого шару від технологічних параметрів обробки

а -  $R_a = f(N_p)$ ; б -  $H_{нс} = f(N_p)$ ; в, г -  $R_a = f(P_{cp})$ ; д, е -  $H_{нс} = f(P_{cp})$ .

Слід відмітити ідентичність будови структури та властивостей поверхневого шару ЕЕЛ зразків незалежно від матеріалу анода. Тільки рентгеноструктурний аналіз дозволяє виявити наявність елемента у фазах. У деяких випадках можна виявити наявність елемента анода в ЕЕЛ шарі у чистому вигляді, наприклад, хром, нікель. В основному структура шару формується внаслідок теплового діяння електричного розряду на поверхність, надшвидкого нагріву з оплавленням і надшвидкого охолодження, легування рідкої ванни елементами матеріалу анода. Аналогічний механізм формування структури шару спостерігається і при ЕЕЛ сталі Р6М5.

Природа утворення шару в літературі описана в основному капельним механізмом нанесення шару за рахунок розплавлення матеріалу анода та відкладання його на поверхні катода.

На основі досліджень уточнені основні механізми зміцнення поверхні при ЕЕЛ, які полягають у пульсуючих надшвидких нагрівах і охолодженнях, що забезпечує локальне термічне зміцнення та часткове легування поверхні шару; оптимізовані режими ЕЕЛ, які забезпечують легування поверхні  $Cr, Ni$  та іншими елементами  $I_{к.д.} = 1,8 + 2,1 \text{ А}$ ,  $U_{к.к.} = 56,1 + 68,7 \text{ В}$ , при ємкості накоплюючого конденсатора  $C = 300 \text{ мкф}$  з продуктивністю легування  $I = 2 \text{ хв/см}^2$ ; досліджено, що найбільш ефективні режими зміцнення досягаються при  $E_{к.д.} / I_{к.д.} = 2,1 \text{ А}$ ,  $U_{к.к.} = 63,7 \text{ В}$  при ємкості накоплюючого конденсатора  $C = 300 \text{ мкф}$  з продуктивністю  $2 \text{ хв/см}^2$ , що призводить до появи в структурі ЕЕЛ шару чистого хрому в надмірно великій кількості; визначені структурні особливості поверхневих шарів, основні з яких: наявність субдрібнозернистої структури, мартенситна будова твердого розчину заліза, значна кількість залишкового аустеніта; установлені закономірності змін по глибині твердості білого шару та зони термічного впливу, визначені залежності цих параметрів від режимів ЕЕЛ; виявлені резерви підвищення експлуатаційних властивостей зміцнюваного шару методами деформації внаслідок високого вмісту аустеніта в поверхневому шарі ЕЕЛ; знайдено оптимальний вміст  $\gamma$  - фази в залежності від режиму легування. Таким чином, одержані вихідні дані для призначення режимів ЕЕЛ з наступною ПЦД.

Четверта глава містить у собі дослідження напружено-деформованого стану, технологічних параметрів поверхностей пластичної деформації ЕЕЛ поверхневих шарів і їх вплив на якість і працездатність виробів.

Для розрахунку основних характеристик процесу ПІД поверхневих шарів з урахуванням їх опору деформації застосовувався інженерний метод, перетворений для ЕЕ покриття. При цьому параметр пластичної твердості  $HD$  по своєму фізичному змісту являє собою не умовний тиск у константі як, наприклад, твердість  $HV$ , а модуль зміцнення матеріалу при застосуванні в тіло сферичного індентора - контактний модуль зміцнення. На випадок поверхневої пластичної деформації зміцнених ЕЕЛ шарів така характеристика фізико-механічних властивостей шарів фізично більш обґрунтована й зручна, оскільки фактично визначає здатність шару до зміцнення в процесі ПІД, таким чином, зміни експлуатаційних властивостей даного шару.

Експериментально визначено, що сферичний індентор під впливом доданого до нього навантаження  $P$  впроваджує твердий білий шар, одержаний внаслідок ЕЕЛ, більш м'який перехідний підшарок, зміцнюючи при цьому останній. Білий шар при цьому служить ніби передатною ланкою, збільшуючи радіус індентора на величину, рівну товщині білого шару  $\Delta h_{\text{с.с.}}$ . Й зменшуючи діаметр зміцнюваного виробу на  $2 \cdot \Delta h_{\text{с.с.}}$ . Товщину білого шару для всякого матеріалу покриття і режиму зміцнення можна визначити із залежності  $\Delta h_{\text{с.с.}} = C + tg S \ln Np$ .

З урахуванням введення параметрів лінійної апроксимації в розрахунок геометрії осередку деформації при ПІД знайдені його основні макроскопічні параметри: глибина наклепаного шару  $h_s$  та інтенсивність деформації в центрі контакту кульки алмазного вигладжувача  $G_{10}$  для ЕЕЛ шарів з різним матеріалом покриття.

Визначення основних геометричних і деформаційних параметрів ПІД ЕЕЛ шарів дозволило узагальнити результати дослідження мікрогеометрії поверхневого шару, його структури та властивостей в залежності від питомого зусилля деформації.

Із дослідження залежностей  $R_a = f(P_{\text{ср}})$ , де  $P_{\text{ср}}$  - питоме зусилля обкатки, визначаване по співвідношенню:  $P_{\text{ср}} = \frac{P}{n \cdot a \cdot b}$  / тут

$P$  - повне зусилля обкатки,  $a, b$  - полуосі контура залишкової умятини/ впливає, що ефективність ПІД як методу поліпшення чистоти обробки залежить від питомого зусилля обкатки й засобу електроерозійного легування. Якщо для покриття, одержаних із застосуванням вольфрамового електрода величина  $R_a$  в значній мірі визначається радіусом алмазного індентора, то із збільшенням пластичності покриття /електроди  $Cu$  і  $Ni$  відповідно/ вплив радіуса індентора зменшується. Характерно, що при ПІД обкатки кулькою практично всі точки залежності  $R_a = f(P_{\text{ср}})$  укладаються на одну криву для всіх покриття, не-

залежно від виду ЕЕЛ. Цей факт свідчить, принаймні, про наявність спільного механізму формування мікрогеометрії поверхні, суть якого, на наш погляд, перш за все полягає в комбінації двох процесів: деформатії м'якої підкладки покриття й зрізуванні мікронерівностей.

Аналіз мікроструктур поверхневого шару зразків ЕЕЛ  $Cr, W, Ni$  й опрацьованих алмазним вигладжуванням і обкатки кулькою дав можливість одержати залежність мікротвердостей білого шару та підшарку від питомого зусилля деформатії /мал.І-д,е/. Характерно, що для ППД шарів ЕЕЛ електродами із хрому й вольфрама мікротвердість білого шару знаходиться приблизно на одному рівні й трохи знижується відповідно з 7500 до 7000 МПа /мал.3-д/ й з 7000 МПа до 6700 МПа при збільшенні питомих зусиль до 4500 МПа і 3000 МПа. Мікротвердість білого шару нікелю при алмазному вигладжуванні збільшується з 2000 до 2800-3000 МПа /мал.І-д/. Із мал.І-е видно, що зі збільшенням пластичності матеріалу підвищується його здатність до зміцнення. Так, при АВ мікротвердість підшарку вольфрамового покриття виросла з 4500 до 5000 МПа, хромового - з 4000 до 4500 МПа і нікелевого - з 2000 до 6700 МПа.

Проведені дослідження на зносостійкість зразків із сталі 45, зміцнених ЕЕЛ з подальшою ППД, свідчать про те, що найбільш ефективними режимами зміцнення поверхневих шарів виробів з точки зору підвищення їх зносостійкості є ЕЕЛ хромом з подальшою ППД алмазним вигладжуванням. Застосування даної технології зміцнення дає можливість збільшити показники зносостійкості в порівнянні з традиційною поверхневою термічною обробкою струмами високої частоти в два рази. Напевно, це наслідок утворення в поверхневому шарі певної кількості карбідів хрому, значно впливаючих на підвищення зносостійкості при всіх інших рівних умовах. ППД алмазним вигладжуванням у цьому випадку особливо ефективна в порівнянні з обкатуванням кулькою: мабуть внаслідок більш високих показників накопиченої деформатії і, відповідно, деформаційного зміцнення ЕЕЛ шару.

Внаслідок вивчення осевих залишкових напружень у зразках з ЕЕЛ хромом треба відзначити, що в поверхневому шарі глибиною до 0,2 мм виникають розтягуючі залишкові напруження, які при застосуванні вибраних режимів ППД зміцнення для зниження шорсткості незалежно від послідовності зміцнення утворюють сприятливі стискувальні залишкові напруження глибиною їх розповсюдження 0,75-0,9 мм, що повністю нейтралізує несприятливий вплив процесу ЕЕЛ на утом-

лену міцність.

Одержані результати досліджень на межу витривалості натурних моделей валів з робочим діаметром 50 мм із сталі 45 свідчать про значне зниження межі витривалості від ЕЕЛ. Досліджено, що алмазне вигладжування не тільки повністю відновлює утомлену тривкість зразків з покриттям хрому, але й збільшує їх утомлену тривкість на 10 % у порівнянні з базовим варіантом зразків без ЕЕ покриття і в 2,3 + 2,5 рази зразків з ЕЕ покриттям хромом.

Із аналізу наведених вище експериментальних результатів дослідження фізико-механічних властивостей виробів, зміцнених ЕЕЛ і ППД, випливає, що доцільне використання режимів ППД ЕЕ покриття обкатуванням кулькою та алмазним вигладжуванням з  $\delta_i = 0,017... 0,023$ , що дає можливість знизити шорсткість поверхні до  $R_a = 0,1... 0,3$  мкм. При цьому застосування ППД ЕЕ покриття одночасно з підвищенням їх зносостійкості змінює несприятливі розтягуючі залишкові напруження, утворені при ЕЕЛ на глибині 0,2 мм у стискувальні, які повністю нейтралізують останні, причому ППД покриття обкатуванням кулькою й алмазним вигладжуванням підвищує  $\sigma_{-1}$  до стандартного рівня.

Таким чином, застосування режимів ЕЕЛ, забезпечуючих одержання відносно пластичного підшарку з низьким початковим опором деформації, збільшує резерви підвищення утомленої витривалості наступною поверхневою пластичною деформацією.

У пятій главі на основі результатів викладених вище досліджень розроблена гама комбінованих технологічних процесів, які дозволяють забезпечити підвищення експлуатаційних властивостей деталей.

У першому наближенні із широкого переліку деталей, які підлягають поверхневою зміцненню, треба виділити дві групи: деталі типу колінчастих валів та інструмента різного призначення /штемповий, ріжучий та інші/.

З урахуванням досягнень високих значень поверхневої твердості, утомленої тривкості при допустимій мікрогеометрії поверхні, на основі знайдених вище залежностей цих характеристик якості від технологічних параметрів процесу вибрані відповідні сполучення режимів ЕЕЛ і ППД для кожної деталі. При цьому розрахунок технологічних параметрів ЕЕЛ і ППД за одержаними в III главі висновками і показав відповідне узгодження з експериментальними даними.

Наведені приклади технологічних розробок комплексного по-  
верхнього зміцнення деталей показаних вище груп, які впровад-  
жені у виробництво на підприємствах України та країн СНД.

Сумарний річний економічний ефект від впровадження техно-  
логій, підтверджений актами впровадження, складає 411,2 тисячі  
карбованців /у цінах 1990 року/.

### ВИСНОВКИ

1. Розроблена нова комбінована технологія ЕЕЛ і ППД інстру-  
мента та інших важконавантажених деталей.

2. Уточнені основні механізми зміцнення поверхні при ЕЕЛ, які  
полягають у пульсуючих надшвидкісних нагрівах та охолодженнях,  
які забезпечують локальне термічне зміцнення й часткове легу-  
вання поверхні шару.

3. Установлені закономірності зміни по глибині твердості  
білого шару та зони термічного впливу й визначені залежності  
цих параметрів від режимів ЕЕЛ, одержані лінійні апроксимації  
функції  $\Delta h_{\text{св}} = \sigma + \epsilon g \delta \ln \rho$ , константи якої залежать від природи  
процесу.

4. Експериментально знайдені резерви зміцнення м'якого підшар-  
ку й теоретично обґрунтовані раціональні режими поверхневої  
пластичної деформації останнього.

5. На основі аналізу напружено-деформованого стану при ППД  
поверхнього шару зі складною структурою, яка утворюється при  
ЕЕЛ, розроблена методика розрахунку основних характеристик струк-  
тури й властивостей зміцненого шару в залежності від техноло-  
гічних параметрів обох етапів технологій.

6. Поверхнева пластична деформація ЕЕЛ шарів забезпечує на  
глибині до 0,2 мм зміни знаку залишкових напружень з розтягую-  
чих на стискувальні. Одержані дані, що межа витривалості на-  
турних моделей із сталі 45 з ЕЕЛ хромом знижується в порівнянні  
зі зразками, обробленими ТВЧ, більше ніж у 2 рази, а застосу-  
вання ППД покриття обкатуванням кулькою та алмазним вигладжуван-  
ням підвищує  $\sigma_{\text{г}}$  до стандартного рівня.

7. Обробка результатів експериментів та розрахунку основних  
характеристик технології і властивостей дозволяє зробити вис-  
новки, що експериментальні значення підлягають нормальному роз-  
поділу, відтворення експерименту підтверджується критерієм

Кохрена при рівні значущості  $Q = 0,05$ , адекватність математичного опису досліджених даних підтверджується критерієм Фішера при рівні значущості  $Q = 0,05$  межі погрешностей, розраховані по дисперсії адекватності, складають  $\pm 1,64 \%$ , для одного зразка й  $\pm 10,18 \%$  для серії зразків.

8. Розроблений новий технологічний процес зміцнення інструмента та інших важконавантажених деталей впроваджені на Сумському НВО імені М.В.Фрунзе /з організацією дільниць і навчанням операторів на компресорному, насосному, хімовиробництві, виробництві АГНС і трубному заводі/, Нижньовартівській НЦБЮ ПирНО-4, Котласткому ЦКК, Тюменському НПО "Сибнефтегазпромаш". Сумарний річний економічний ефект від впровадження розробленої технології складає 411,2 тисячі карбованців /у цінах 1990 р./.

Основний зміст дисертації відображено в таких друкованих роботах:

1. Тарельник В.Б., Высоцкий А.Л. Методика определения материала покрытия и способа упрочнения многозубого металлорежущего инструмента // Тезисы докладов республиканской межвузовской конференции "Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении и приборостроении", октябрь 1989, Ворошиловград, - с.130.

2. Тарельник В.Д., Высоцкий А.Л. Упрочнение концевых фрез для обработки нержавеющей стали // Тезисы докладов УШ Всесоюзной научно-технической конференции "Создание компрессорных машин и установок, обеспечивающих интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса", 10-12 октября 1989 г., Сумы, - с.106.

3. Тарельник В.Б., Коломыцев Е.А. Электроискровое упрочнение и восстановление деталей компрессоров // Тезисы докладов УШ Всесоюзной научно-технической конференции "Создание компрессорных машин и установок, обеспечивающих интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса", 10-12 октября 1989, Сумы, - с.106.

4. Тарельник В.Б. Электроискровое упрочнение и восстановление деталей компрессоров локомотивов // Тезисы докладов Ш Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы развития локомотивостроения", 22-24 мая 1990, Луганск, - с.195.

5. Тарельник В.Б. Расширение функциональных возможностей электроискрового легирования деталей штампового инструмента для прессования порошков // Тезисы докладов республиканского семинара "Физика и механика пластических деформаций порошковых материалов",

457461

ІНБ ім. В. Степаніка  
АН України

9-12 апреля 1991, Луганск, - с.40.

6. Коломышев Е.А., Тарадонов В.И., Тарельник В.Б. и др. Новые технологические процессы упрочнения металлорежущего инструмента и деталей // Информационный листок о передовом производственно-техническом опыте, 1990, Харьков.

7. Марченко В.Г., Тарельник В.Б., Коломышев Е.А. Расширение функциональных возможностей электроискрового легирования деталей компрессоров // Сб. научных трудов "Расчет, исследование, конструирование и технология изготовления компрессоров", Сумы, 1991, с.133-137.

8. Тарельник В.Б. Электроискровое упрочнение и восстановление деталей компрессоров // Сб. научных трудов аспирантов и соискателей "Современные ресурсосберегающие технологии получения и обработки материалов в машиностроении", Киев, УМКВО, 1991, - с.49-52.

9. А.с. I734968 СССР, В23Н9/00. Способ электроэрозионного легирования. Опубл.23.05.92/В.Б.Тарельник, В.Ф.Руденко, Ю.А.Серебабин и Г.Н. Анисимов/.

*В.Тарельник*

Підписано до друку 3.02.1994 р. Формат 60 x 64

1/16 Л.А. Тираж 100 экз. Заказ № 87

Ротопрінт СУДУ

м.Луганськ, кв.Молодіжний, 20а