

ЛЬВІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

КУЛІЧЕНКО Анатолій Якович

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ
ДИСКОВИМИ СЕКЦІЙНИМИ ШІТКАМИ

Спеціальність 05.02.08 - Технологія машинобудування

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1993



Робота виконана у Львівському політехнічному інституті 00814753 (S)

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Шабайкович В.А.

Офіційні опоненти - заслужений діяч науки і
техніки України,
доктор технічних наук,
професор Гавриш А.П.
- кандидат технічних наук,
доцент Гриньов В.Ф.

Провідна організація - ЛВО "Алмазінструмент" /м. Львів/

Захист відбудеться "4" травня 1993 р. о 14 год.
на засіданні спеціалізованої ради К068.36.08 при Львів-
ському політехнічному інституті за адресою: 290646,
м. Львів, вул. С.Бандери, 12, корп. 14, ауд. 61.

Із дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Львівсько-
го політехнічного інституту.

Автореферат розісланий "22" березня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук

Марець В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Прискорений розвиток машинобудування - однієї із основних галузей народного господарства, здатної ввести молоду незалежну Україну на один рівень із економічно розвинутими країнами світу - в більшості своїй залежить від успіхів у створенні і реалізації ефективних технологій, характерних ростом продуктивності праці, економним використанням матеріальних і трудових ресурсів, якістю та надійністю виробів.

Важливим етапом технологічного процесу виготовлення ряду деталей є його викінчувальне оброблення, де традиційні технології поверхневої очисно - зміцнювальної обробки шляхом тільки механічного впливу, при певних перевагах, мають і ряд недоліків. Так, наприклад, шротометна обробка пов'язана із застосуванням громіздкого і енергоємного обладнання. Поверхнева обробка різними за конструкціями механічними щітками обмежена при застосуванні їх для складних по формі профілю деталей. Процес обробки голкофрезами не задовільняє вимоги по якості очищування та продуктивності.

Сучасний рівень машинобудівних підприємств вимагає впровадження більш ефективних технологій, позбавлених перелічених недоліків і здатних якісно формувати поверхневий шар виробів при високій продуктивності праці. Саме до таких технологічних процесів слід віднести поверхнєве оброблення механічними щітками із застосуванням електричного струму, що значно розширюють функціональні можливості інструментів даного типу, які характерні своєю відносною конструктивною простотою виготовлення і можливістю застосування, як у промислових умовах, де існують всі необхідні передумови ефективного їх використання, так, і у польових.

Електроіскровий, електроімпульсний та інші методи поверхневого оброблення із приміненням електроструму, що застосовуються для ціленаправленого зняття шару металу з метою остаточного формоутворення деталі вимагають використання складного обладнання, електронних контрольних приладів, а в окремих випадках - застосування електроліту, що значно обмежує можливості широкого впровадження вказаних методів обробки у про-

мисловість. Крім цього, ефективність використання механічних щіток знижується із-за відсутності рекомендацій по вибору режимів обробки і параметрів інструменту, які обумовлюють у сукупності певні характеристики якості обробленої поверхні. Отже, дослідження технологічних особливостей обробки механічними щітками, а саме однією із їх різновидностей конструкцій-дисковою секційною щіткою /ДСЩ/ - при застосуванні методу електромеханічної обробки /ЕМО/, визначення впливу умов обробки на якісні характеристики та експлуатаційні властивості деталей і довговічність інструменту, розробка і реалізація у виробництво рекомендацій є досить актуальними.

Мета роботи. Комплексне теоретико-експериментальне дослідження очисно-зміцнювального оброблення електромеханічним способом дисковими секційними щітками поверхонь виробів і встановлення науково обґрунтованих рекомендацій по технологічному забезпеченню необхідної якості поверхневого шару матеріалу деталі та експлуатаційних його властивостей.

Наукова новизна. Розроблені модель контактної взаємодії робочих струмопровідних елементів та секцій очищування із поверхнею деталі при умові під'єднання електричного струму та конструкція ДСЩ. Вперше проведено комплексне дослідження якості поверхні обробленої електромеханічним способом інструменту із гнучкими робочими елементами, при послідовному впливі високотемпературного концентрованого джерела теплової енергії та динамічного контактування. Вивчені теплові, кінематичні та динамічні особливості контактної взаємодії гнучких щіткових елементів /ГЩЕ/, що обертаються, із поверхнею оброблення при різних геометричних характеристиках інструменту, натягу його ГЩЕ та умов експлуатації. Встановлений характер деформованого поверхневого шару при очисно-зміцнюючому обробленні. Теоретично розглянуті і експериментально підтверджені питання комбінованої інтенсифікації поєднаного процесу теплового і динамічного впливу робочих секцій ДСЩ. Визначені основні конструктивно-технологічні параметри процесу, одержані залежності, які поєднують умови оброблення із якістю поверхневого шару, що дозволяють керувати процесом ЕМО ДСЩ у необхідному напрямку. Досліджений вплив обробки на експлуатаційні особливості деталей машин.

Методи дослідження. В роботі застосовувались теоретичні та експериментальні методи досліджень. Теоретичні дослідження проводились із використанням наукових положень технології машинобудування, теорії зварювальних процесів, теорії контактних деформацій, теорії теплових процесів, теорії імовірності та числових методів, теоретичної механіки. В основу експериментальних досліджень покладені методи теорії планування багатофакторного експерименту.

Практична значимість та реалізація роботи. Результати роботи складають основу методики по встановленню оптимальних режимів оброблення, що забезпечують найбільш раціональним шляхом одержання необхідних характеристик якості поверхні та поверхневого шару при комплексній взаємодії робочих елементів струмопровідних та секцій очищування. Запропонована нова конструкція дискової секційної щітки для процесу ЕМО, яка одержала позитивне заключення Державного патентного відомства СРСР № 4822363/12 від 3.05.1990 року. Розроблені рекомендації по виготовленню вказаної ДСЩ.

Результати дисертаційної роботи використовувались при виконанні господарськодоговірної науково-дослідної роботи / № держ. рег. 01910013657 /, яка відноситься до категорії найважливіших.

Процес очисно-зміцнюючої обробки ДСЩ із застосуванням електричного струму для листового прокату перед його антикорозійним покриттям впроваджений на Стрийському ВО ковальсько-пресового обладнання / Львівська обл. / із річним економічним ефектом в 165,0 тис. крб., та на Петрівському заводі стінових матеріалів і конструкцій / м. Київ / при річній економічній ефективності в 112,0 тис. крб.

На захист вноситься:

1. Механізм процесу електромеханічного оброблення ДСЩ, який пояснює можливість послідовних теплового і динамічного впливів на поверхню деталі в процесі контактування та обґрунтування прийняття мінімальних режимів сили струму I , напруги U та швидкості обертання інструменту V .

2. Теоретична модель температурного впливу електродугового розряду та встановлення величини найбільшої подачі S , при якій гарантується утворення зони теплового враження по всій поверхні робочого контакту секцій щітки.

3. Теоретична модель динамічної взаємодії секцій очищування із поверхневим обробленням та умови формування мікропрофілю.

4. Методика і результати експериментальних досліджень впливу теплових та динамічних параметрів процесу ЕМО ДСЦ на якісні характеристики поверхневого шару деталі.

5. Конструкція дискової секційної щітки та практичні рекомендації по вибору геометричних характеристик інструменту і режимів оброблення, які забезпечують необхідну інтенсивність процесу та стійкість інструменту.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи викладені у доповідях і обговорені на республіканській науково-технічній конференції "Прогресивні методи оброблення важко-оброблювальних матеріалів" /м. Маріуполь, 1989 р./; Міжнародна науково-технічна конференція "WYTWARZANIE ELEMENTÓW MASZYN ZE STOPÓW METALI O SPECJALNYCH WŁASNOŚCIACH" /RP, Rzeszów, 1990 р./; Всесоюзна науково-технічна конференція "Вдосконалення існуючих та створення нових ресурсозбеігаючих технологій і обладнання в машинобудуванні, зварювальному виробництві та будівництві" /м. Могильов, 1991 р./; Республіканській технічній конференції "Прогресивні технології у машинобудуванні" /м. Одеса, 1991 р./; Всесоюзній науково-технічній конференції "Актуальні проблеми машинобудування на сучасному етапі" /м. Владимир, 1991р./; Міжреспубліканська науково-технічна конференція "Прогресивні методи одержання конструкційних матеріалів і покриттів, які підвищують довговічність деталей машин" /м. Волгоград, 1992р./; Республіканська науково-технічна конференція "Питання забезпечення точності на машинобудівних підприємствах" /м. Пенза, 1992 р./.

Публікації. По результатах виконаних досліджень опубліковано 22 друковані праці, в тому числі одна авторська заявка на винахід.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, заключення, викладених на сторінках друкованому на комп'ютері "IBM" тексту, містить малюнків, таблиць, список літератури із 124 найменувань та додатку.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, вказується її наукова новизна і викладаються основні результати, що виносяться на захист.

У першому розділі проаналізований характер продукту поверхневої корозії та розглянутий стан проблеми її руйнування та очищення. Сформульовані мета і задачі дослідження.

Процес корозії металу полягає у фізико-хімічній реакції між матеріалом та оточуючим середовищем і приводить до зміни у властивостях металу. Одним із різновидностей поверхневої корозії є прокатна окалина - будова, хімічні та фізико-механічні характеристики якої досліджені і викладені у працях Б.Гопкінса, Ю.Р.Еванса, П.Кофстада, В.П.Северденка та О.Кубашевського, що дозволило, узагальнивши весь матеріал, встановити закономірності поетапного руйнування окалини від теплового впливу.

Очищення корозійного нашарування механічними щітками, як один із методів поверхневої обробки, володіє широкими технологічними можливостями, що дозволяє застосовувати даний процес на кінцевих етапах у металообробленні, про що свідчать дослідження виконані І.Г.Гавриленком, В.С.Бршовим, В.А.Куликовським та Ю.І.Кургузовим. По характеру взаємодії із поверхнею виробу якісно виділяються дискові секційні щітки, робочі елементи яких, зформовані у секції, мають здатність динамічним впливом руйнувати поверхневе нашарування. Повднання теплових властивостей дугового розряду електричного струму із механічним впливом значно розширило функціональні можливості інструменту даного виду.

Вивченню процесу обробки механічними щітками із приданням електричного струму присвячені роботи П.П.Серебrenицького та Ю.В.Черепанова, в яких обґрунтовується доцільність застосування даного принципу та інструменту для ціленаправленого зняття поверхневого шару металу. Виконаний аналіз свідчить про недостатнє вивчення впливу умов обробки при відсутності електроліту, стабільного електричного розряду, тощо на якість поверхні деталі. Остаточо не досліджений механізм поелементного та сумісного впливу робочих елементів щітки на якісні, температурні, силові та експлуатаційні характеристики процесу. Відсутність конкретних рекомендацій не дозволяє при практичному викорис -

танні даного методу повністю керувати процесом і впливати на результати обробки.

На основі викладеного, виходячи із поставленої мети, визначені основні задачі дослідження:

1. Розроблення методики комплексного дослідження впливу технологічних параметрів процесу на формування характеристик якості поверхні виробу.

2. Визначення математичної моделі для встановлення якісних показників впливу параметрів процесу на його технологічні, якісні та експлуатаційні характеристики.

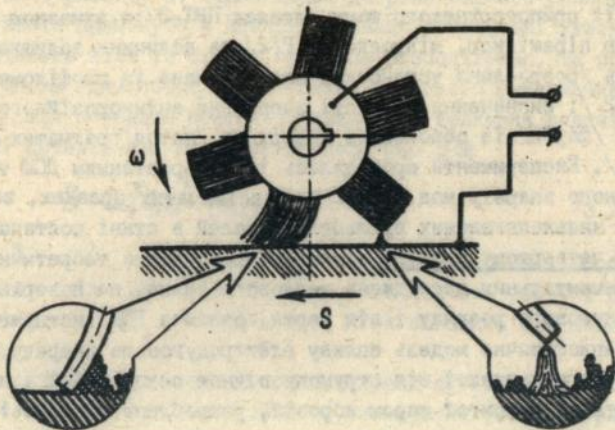
3. Встановлення методики вибору оптимальних режимів очисно-зміцнюючої обробки ДСЦ та раціональних параметрів інструменту на основі дослідження їх впливу на шорсткість поверхні виробу та товщину зміцненого шару, зусилля та потужності при обробці, розподілення температури по товщині поверхневого шару, довговічності інструменту та якості очищення.

4. Розроблення обґрунтованих рекомендацій по забезпеченню експлуатаційних властивостей поверхні виробів перед нанесенням антикорозійного покриття.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню прийнятого принципу ЕМО ДСЦ, конструкції інструменту та взаємодії його робочих елементів із поверхнею обробки.

Виникнення і стабільне існування дугового розряду характерні періодичним контактуванням струмонесучих електродів / робочі елементи - поверхня деталі/, що дозволило сконструювати дискову секційну щітку, особливість якої полягає у послідовному розташуванні струмопровідних робочих секцій та секцій очищення.

Внаслідок обертання інструменту /мал.І / струмопровідні секції, вступаючи у контакт із деталлю, утворюють дуговий розряд, який своїм тепловим впливом руйнує поверхнєве корозійне нашарування. Секції очищення здійснюють видалення зруйнованих продуктів корозії, проводячи одночасно якісне формування як мікрогеометричних, так і фізико-механічних характеристик поверхневого шару виробу.



Мал.І. Схема електромеханічної обробки дискової секційною щіткою

Результатами попередніх експериментальних досліджень встановлені мінімально допустимі значення технологічних режимів швидкості обертання щітки / $V > 6,7$ м/с /, сили струму / $I \geq 10A$ / та напруги / $U \geq 12$ В /, які сприятимуть ефективній якійсній обробці поверхневого шару деталі.

Третій розділ присвячений методикам проведення експериментальних досліджень і включає опис умов та використаних приладів .

Дослідження виконувались по планам багатofакторних експериментів, Приводяться методики експериментальної перевірки кінематичних параметрів взаємодії гнучких щіткових елементів / ГЩЕ / струмопровідних секцій та секцій очищення із плоскою поверхнею / мікроскоп МІР-2 /; визначення складових контактного зусилля; яке виникає внаслідок удару щіткової секції / осцилограф СВ-17, пьезоелектричні акселометри АВС 034, розроблений двохкомпонентний динамометр /; визначення розподілення середньої температури по товщині зразка / хромель-алюмелеві терпари, потенціометр КВП-1 /; вимірювання потужності приводу обертання щітки та подачі / вимірювальний комплекс К-50, динамометр ВНДІ УДМ-600, модернізовані самописці ДСП-1 /; вимірювання шорсткості

обробленої поверхні /профілограф -профілометр мод. 252/; твердості її приповерхневого шару /прилад ПМТ-3 із алмазною чотиригранною пірамідкою, мікроскоп МІР-2/ та величини залишкових напружень /розроблена установка, яка з'єднана із профілометром мод.252 /; визначення міцності зчеплення антикорозійного покриття /фарби/ із обробленою поверхнею /метод гратчатих надрізів /. Експерименти проводились із використанням ДСЩ та зварювального апарату мод.СТЕ-22 на пластинчатих зразках, виготовлених із низьколегованих вуглецевих сталей в стані постачання.

В четвертому розділі викладені результати теоретичних та експериментальних досліджень теплового впливу на поверхню обробки дугового розряду і від тертя ковзання ГШЕ інструменту.

Теплофізична модель впливу електродугового розряду, що виникає при контакті між струмопровідною секцією ДСЩ і поверхнею деталі, покритої шаром корозії, розроблена на основі аналізу процесу впливу висококонцентрованого джерела теплової енергії, який швидко переміщується.

Температура ефективного радіуса стовпа дугового розряду становить $\sim 3000 \dots 3500^\circ \text{C}$, значна частина якої $\sim 28\%$ витрачається в оточуюче середовище. Нагрівання поверхневого шару матеріалу деталі досягає температури T , величина якої залежить від ряду факторів: сили струму I ; напруги U ; швидкості переміщення дугового розряду V_d ; об'ємної теплопровідностей $c\gamma_i$, температуропровідностей α та товщин шару корозії h_k і основного металу деталі h_m ; початкової температури T_n матеріалу виробу; радіусу r зони, в якій визначається дана температура нагрівання.

$$T = \frac{0,165 IU}{V_d c\gamma_i h_k r} \left(1 - \frac{\alpha h_k}{0,9\delta_{\text{ефк}}}\right) + T_n \quad /1/$$

Із довідникової літератури встановлено, що температура плавлення окалини, як домінуючої складової шару сталльної корозії, становить $T_{\text{пл}} = 1370 \dots 1375^\circ \text{C}$, пом'якшення $T_m = 1215 \dots 1225^\circ \text{C}$, а руйнування $T_p = 1050 \dots 1070^\circ \text{C}$. Згідно даного твердження, складено рівняння для визначення розмірів зони теплової руйнівної дії дугового розряду в шарі прокаленої окалини.

$$r_p = \left[(2IU\eta) / \pi c\gamma_i T_p \right]^{0,5} \quad /2/$$

На основі розглянутої моделі процесу і згідно із положень теорії імовірності, що відносяться до рівномірного розподілу на обмеженій прямокутній поверхні певних точок, які утворюють пуассонівське поле із сталою густиною розподілення, та при умові, що за один оберт шітки зонами теплового руйнування розміром Γ_p вся поверхня контакту, визначена величина подачі S поверхні деталі, яка підлягає процесу ЕМО ДСЦ

$$S = 2r_p^2 \xi Z^{3/2} [N_{\Sigma k} / (\pi DB)]^{0.5}, \quad /3/$$

де D , B та Z - відповідно, діаметр ДСЦ, ширина її робочої поверхні та кількість секцій; $N_{\Sigma k}$ - кількість робочих елементів у секції; ξ - коефіцієнт, який залежить від швидкості обертання шітки.

Виконаний комплекс експериментальних досліджень, які підтвердили правильність теоретичного визначення температури нагрівання поверхні виробу

$$T_{Ye} = g \cdot V^{k_v} \cdot I^{k_i} \cdot Z^{k_z} \cdot S^{k_s} \cdot h^{k_h}. \quad /4/$$

Теплофізична модель процесу внаслідок тільки механічної обробки, тобто нагрівання поверхні деталі від тертя ковзання ГЩЕ ДСЦ по поверхні виробу, розроблена на основі аналізу руху по адіабатичній поверхні зразка джерелом, який швидко переміщується. Розподілення густини теплових потоків джерела прийнято аналогічним розподіленню сил тертя ковзання всією сукупністю ГЩЕ в межах зони контакту. Поставлена задача рішалась методом точкових джерел. Максимальна температура T_{max} на поверхні пластини, яка оброблялась при зустрічній подачі, визначається за формулою

$$T_{max} = [4,313306 \cdot P_z (v+s)] / [\nu_{екв} (\pi S)^{0.5} BL_2^{0.5}], \quad /5/$$

де $\nu_{екв}$ та L_2 - відповідно, еквівалентний коефіцієнт теплопровідності /шар корозії - основний метал/ та довжина контакту; P_z - горизонтальна складова зусилля обробки, величина якої рівна за величиною, але протилежна за напрямом загальній силі тертя F_{TP} /, значення якої визначається по формулі

$$F_{TP} = k_0 BL_2 \sigma_{x_0} \int_0^{L_2} [(L_1/L_2) - (L_1/L_2)^5] dL_1 = \frac{1}{3} k_0 BL_2 \sigma_{x_0}, \quad /6/$$

де k_0 - постійний коефіцієнт / $k_0 = 1,869186$ /; b_{x_0} - найбільше питоме зусилля тертя.

Параметри обробки підбираються таким чином, щоб T_{max} не перевершувала граничної температури T_{gr} , при якій змінюється напружений стан поверхневого шару деталі.

Експериментальні дослідження, по результатам яких одержана адекватна емпірична модель, підтвердили вірність теоретичних викладок.

$$T_{Y_{ощ}} = g_1 V^{T_v} \cdot H_N^{T_h} \cdot B^{T_b} \cdot Z^{T_z} \cdot t^{T_t} \cdot S^{T_s} \cdot h_K^{T_h} \quad /7/$$

Оцінка величин температур нагрівання поверхні виробу свідчить про те, що процес ЕМО ДСЩ значно переважає своїм тепловим впливом процес лише механічної обробки, приводячи до певних структурних змін у матеріалі деталі. При режимі механічної обробки ДСЩ, виконаної в межах раціональних змін, приріст температури є незначним і не перевищує значення при яких можливі зміни деформаційного стану металу.

П'ятий розділ присвячений теоретичним аспектам і результатам експериментальних досліджень силових характеристик та потужності, що виникають у процесі ЕМО ДСЩ.

Силовий вплив, що передається від робочих органів верстатів, механізмів тощо гнучкими стержнями малої жорсткості, які формовані у секцій, залежать лише від пружних властивостей та степені деформування ГШЕ. Тиск у дуговому розряді, що виникає в наслідок контактування струмопровідної секції ДСЩ із поверхнею деталі, утворюється під дією електромагнітних сил /сил Лоренса/, величина якої у порівнянні із силою тиску механічного впливу надзвичайно мала / при силі струму $I = 100 \text{ A}$ - $p = 1,15 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$ /. Отже, основний силовий вплив, здатний якісно формувати поверхню, викликаний тільки динамічною дією ГШЕ.

Контактна ударна взаємодія ГШЕ із поверхнею обробки супроводжується як пружнопластичним деформуванням, так і пружним. Надзвичайно малий період часу контактування при ударі дозволяє розглядати згинання елементарного ГШЕ, як згин консольно закріпленої балки із незначними прогинами. В даному випадку приймаємо, що кінець балки переміщується на відстань K , рівну відрізку AA_1 / мал.2/, тобто переміщується по прямій П-П, перпендикулярній осі недеформованого ГШЕ.

де k_1 - коефіцієнт, що враховує пружні властивості матеріалів ГЩЕ та деталі; \mathcal{K}_1 - коефіцієнт розмірів контактної поверхні ГЩЕ; P_N - контактна сила удару; N_S - критичне навантаження, яке відповідає початку зародження пластичної деформації.

Згідно рівняння руху матеріальної точки при пружнопластичному заглибленні, та при умові, що $h_3 = h_{max}$ - одержано

$$0,5mV^2 = 0,5C_t h_{max}^2 + \frac{2}{3} k_1 P_{Nmax}^{3/2} + 0,5\mathcal{K}_1 (P_{Nmax}^2 - N_S^2). \quad /12/$$

Виражаючи останнє рівняння транцендентно відносно прийнятого P_{Nmax} , одержана формула вирахування максимального зусилля удару ГЩЕ по поверхні обробки методом простих ітерацій

$$P_{Nmax} = \frac{0,5mV^2 - 0,5\mathcal{K}_1 (P_{Nmax}^2 - N_S^2) - 0,5\mathcal{K}_1 C_t (P_{Nmax} - N_S)}{0,5 \cdot P_{Nmax}^{3/2} \cdot k_1 (C_t + 0,8)}. \quad /13/$$

Кількісний показник величини максимального зусилля удару ГЩЕ характеризує оцінку впливу параметрів процесу на якісні та експлуатаційні особливості поверхні та поверхневого шару виробу.

У шостому розділі представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень по впливу параметрів процесу ЕМО ДСЩ на характеристики якості поверхні обробки.

Оброблення ДСЩ суміщає в собі одночасно як тепловий та силовий впливи на поверхневий шар деталі, так і впливати на нього тільки динамічно /без підключення електричного струму/. Кожен із цих способів обробки з властивою тільки йому особливістю здатний якісно формувати поверхневий шар основного металу виробу, що характеризується геометричними та фізико-механічними показниками.

Аналіз результатів попередніх експериментальних досліджень підтвердив, що формування геометричних параметрів якості поверхні в переважній більшості випадків здійснюється за рахунок слідуючих факторів: складової профілю h_1 , утвореної тепловою дією дугового розряду; геометричної складової h_2 , яка характеризує робочу поверхню інструменту та кінематику руху його ГЩЕ; складової h_3 , властивої динаміці формоутворення поверхні всією сукупністю ГЩЕ секції з врахуванням пружних та пластичних деформацій матеріалу виробу та складової h_4 , що утворюється за рахунок шорсткості робочої поверхні ГЩЕ інструменту. Висота мікропрофілю шорсткості представлена у вигляді суми вказаних складових

$$R_z = h_1 - (h_2 + h_3 + h_4). \quad /14/$$

Складова h_1 є частиною сферичної лунки глибиною h_1 , у шарі

поверхневих окислів та основного металу /мал.3/, яка утворюється в наслідок викиду розплавленого металу під впливом температури та внутрішнього тиску у стовпі дугового розряду, і визначається за формулою:

$$h_1 = h_A - h_K = \frac{21k_n}{\pi R_{2n}^2 U_{\text{ексг}}} \sqrt{\frac{\mu_i (2e_1 U - 3kT)}{Ae_1}} - h_K, \quad /15/$$

де k_n - коефіцієнт оплавлення одиничного ГЩЕ; $g = 9,806 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння; $\mu_i = 55,847$ - атомна вага для дугових розрядів у парах заліза; e_1 - елементарний електричний заряд $/e_1 = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл/}$; k - постійна Больцмана $/k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К/}$; A - постійна Авогадро $/A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}/$.



Мал.3 Січення сферичної лунки, утвореної дуговим розрядом.

Складова висоти профілю шорсткості h_2 ґрунтується на умові відсутності коливань робочих поверхонь ГЩЕ у процесі контакту із поверхнею деталі, що забезпечується зусиллям натягу інструменту. Дана величина визначається за формулою:

$$h_2 = \frac{S^2}{8R_{2n}} = \frac{(r_p^2 \xi_e)^2 Z^3 N_{\text{ЕК}}}{\pi d DB} \quad /16/$$

Складова h_3 характеризується лише механічною дією ГЩЕ секцій очищування при контакті із поверхнею деталі, яка попередньо зазнала теплове враження дугового розряду і визначається в залежності від величин пружного деформування та пластичного відновлення

$$h_3 = R_{2n} - (h_{nA} - h_{np}), \quad /17/$$

де R_{2n} - висота залишкових мікроступів на поверхні основного металу, залишених після оброблення дуговим розрядом. Значення $R_{2n}^{(0)}$ змінюється в залежності від напрямку замірювання по відношенню до напрямку подачі поверхні оброблення:

- поперечно подачі

$$R_{2n}^{(0)} = \frac{4(h_A^2 - r^2) - [16(h_A^2 - r^2)^2 - (\pi d h_A K_{\text{ЕГ}})^2]^{0,5}}{8h_A}; \quad /18/$$

- у напрямі подачі

$$R_{2n}^{(0)} = \frac{4Z N_{\text{ЕК}} (r^2 \xi_e)^2}{\pi d BD} \quad /19/$$

Підставляючи в /17/ вираз /18/ чи /19/ та рівняння /II/ - одержується значення шуканої складової висоти мікропрофілю

$$h_3 = R_{2n}^{(0)} - [k_1 \cdot (P_n - N_5) - k_1 P_n^{2/3}]. \quad /20/$$

Рядом експериментальних дослідів встановлено, що складова

мікропрофілю $h_k=0$, так як будь-яка шорсткість робочої поверхні ГШЕ / при $R_{z, \text{нестр.}} = 2,5 \dots 400$ мкм/ не вносить змін у геометрію профілю основного металу виробу, поверхня якого попередньо нагрі- залась дуговим розрядом до значної температури.

Підставивши в рівняння /14/ вирази /15/, /16/ та /20/ одер- жано формулу для математичного прогнозування шорсткості поверхні в наслідок процесу ЕМО ДСШ. Обробка експериментальних результа- тів дала можливість скласти емпіричну залежність, яка підтвердила вірність теоритичного твердження:

$$R_a = a^{(a)} \cdot V^{a^{(v)}} \cdot H_n^{a^{(h)}} \cdot B^{a^{(b)}} \cdot Z^{a^{(z)}} \cdot I^{a^{(i)}} \cdot S^{a^{(s)}} \cdot t^{a^{(t)}} \cdot h_k^{a^{(h)}} \quad /21/$$

Одним із фізико-механічних показників якості поверхні є степінь зміцнення поверхневого шару матеріалу деталі. Характерною особливістю теплового впливу при ЕМО ДСШ дуговим розрядом, який є висококонцентрованим джерелом енергії - процес швидкоплинного наг- рівання вище критичних точок сплаву / нагрівання супроводжується поверхневим обплавленням металу/ та швидкого охолодження, яке про- ходить за рахунок високої теплопровідності металу і умові, що наг- рітий об'єм становить незначну його частину. Швидкість відводу тепла переважає значення критичної точки гартування $-\partial T_r / (\partial t) \sim (\partial T_m) / \partial t$, що супроводжується явищем автогартування, тобто гартування без при- мусового охолодження нагрітих об'ємів.

Виведена математична залежність гартованого шару від марки матеріалу та температури нагрівання в зоні дії дугового розряду

$$h_Y^T = \left\{ \frac{8ar}{V_a} \ln \left[\frac{q}{4\pi r T_{\text{екв}} (1 + (V_{ar})/8a)} \right] \right\}^{0,5} \quad /22/$$

Експериментально встановлено, що величина h_Y^T для конструк- ційних низьковуглецевих сталей досягає $1,3 \cdot 10^{-3}$ м, при цьому спос- терігається кристалізація, орієнтована в напрямі тепловідводу, а мікроструктура приймає однорідну дендритно-стовпчату форму, що в більшості своїй складається із мартенситу. Середня відносна похиб- ка відхелення розрахункових значень від експериментальних становить 12%.

При процесі ЕМО ДСШ в поверхневому шарі від теплового впливу дугового розряду формуються залишкові напруження розтягу, які част- ково компенсуються напруженнями зтиску, що виникають в наслідок динамічної дії секцій очищування ДСШ.

Сьомий розділ присвячений практичній реалізації результатів дослідження.

Вибір технологічних параметрів процесу та характеристик інструменту, виходячи із довговічності ГЩЕ, запропоновано проводити використовуючи умову $\sigma_{\max} \leq \sigma_{-1}^{3r} (n_m)^{-1}$, де σ_{-1}^{3r} - границя витривалості при згині; n_m - коефіцієнт запасу міцності; σ_{\max} - максимальне напруження згину, величина якого визначається експериментально встановленої залежності

$$\ln \left(\frac{\sigma_{\max}}{E} \right) = -5,652 + 1,325 \ln R + 0,28 \ln H_H + 0,768 \ln t + 0,07 \ln f + \\ + 0,19 \ln R \cdot \ln H_H - 0,43 \ln R \cdot \ln t - 0,179 \ln t \cdot \ln H_H, \quad /23/$$

де R - радіус робочої поверхні ДСЩ; f - коефіцієнт тертя ковзання; t - довжина вільного вильоту ГЩЕ секцій очищення.

Дана умова прийнятлива для сумісного вибору довжини вільного вильоту ГЩЕ при забезпеченні незмінності розмірів інструменту та величини натягу H_H .

Кількісну оцінку механічних властивостей в сукупності ГЩЕ рекомендується виконувати, застосовуючи універсальний параметр C_3 - жорсткість щітки:

$$C_3 = (N_{EK} Z E d^4) \cdot (64 \pi DBL)^{-1}, \quad /24/$$

де d - діаметр одиничного ГЩЕ.

Руйнування шару прокатної окалини від дії секцій очищення слід чекати в тому випадку, коли середнє динамічне контактне напруження удару $\bar{\sigma}_d = P_{N_{\max}} (\pi d b)^{-1}$ перевищує граничне напруження контактного руйнування прокатної окалини $[\sigma_{3A}]$. Виходячи із цього, запропонована методика вибору режимів оброблення.

Підтверджена можливість альтернативної заміни обробки електроабразивного шліфування на процес ЕМО ДСЩ при підготовці поверхні деталі перед нанесенням захисного антикорозійного покриття.

По результатах виконаних досліджень розроблена конструкція ДСЩ та методика комплексного вибору раціональних параметрів інструменту і оптимальних режимів обробки, що забезпечує необхідні характеристики якості поверхні /жорсткість R_d / та поверхневого шару /товщина зміцнення h_y / обробляємої деталі. Згідно методики, виходячи із заданої програми випуску при забезпеченні довговічності ГЩЕ, підбирається і при необхідності

уточнюються діаметр D та ширина B щітки, кількість секцій Z та довжина вільного вильоту ПШЕ l , натяг інструменту H_n та діаметр робочих елементів d .

Вибір оптимальних режимів оброблення V , S та I проводиться при значенні найменшої цільової функції із використанням методу нелінійного програмування - комплексного методу Бокса. Так, як витрати на щітки та їх заміну Z_i , які приходяться на період довговічності експлуатації T_d значно менші вартості верстатогодини $C_{вх}$, то вартість C_T технологічної операції очищування $C_T = T_0 [C_{вх} + (Z_i/T_d)]$ визначається основним часом обробки T_0 . Задача оптимізації вирішується при використанні T_0 в якості критерію оптимізації.

Річна економічна ефективність від впровадження результатів досліджень становить 277,0 тис.крб.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Розроблений і експериментально підтверджений механізм електромеханічного оброблення поверхонь деталі дисковою секційною щіткою, який пояснює протікання процесу за рахунок виникнення дугового розряду в момент виходу робочих елементів струмопровідних секцій із контакту з поверхнею деталі та динамічного удару секції очищування в повднанні із тертям ковзання, що супроводжується мікрорізнанням, і дозволяє, провівши спочатку теплове руйнування поверхневого шару, повністю очистити метал від корозійного нашарування, здійснивши одночасно якісне формування поверхні обробки.

2. Одержана теплофізична модель впливу дугового розряду на поверхню оброблення, що характеризує розподілення температурних зон по степені руйнування шару корозії /розплавлення, пом'якшення та часткове руйнування/, із врахуванням її реальних властивостей, на основі якої встановлюється величина максимальної подачі деталі в зону оброблення.

3. Проведені комплексні дослідження по визначенню впливу технологічних параметрів на якість поверхні. Вказано, що при обробленні ЕМО ДСЩ можна одержати шорсткість поверхні рівну

$R_a = 3,2$ мкм. Достовірність результатів підтверджена проведеними дослідно-виробничими роботами.

4. Розроблена модель математичного прогнозування по встановленню глибини зміцненого поверхневого шару металу, в якому від дії теплового впливу відбувається процес автогартування. Експериментально підтверджено, що при обробці деталі із сталі 45 / $I = 75$ А; $V = 18,42$ м/с; $Z = 8$ шт; $S = 4,166 \cdot 10^{-3}$ м/с/ твердість поверхневого шару становила HRC 38...42 і досягала глибини $H_T = 0,45$ мм.

Процес зміцнення відбувається за рахунок перетворення в поверхневому шарі матеріалу деталі перлітної складової в аустеніт із наступним перехсдом у мартенсит.

5. В процесі ЕМО ДСЦ у поверхневому шарі формуються залишкові напруження розтягу /від теплового впливу дугового розряду/, які частково компенсуються напруженнями стиснення /від динамічної дії секцій очищування/. Максимальна остаточна величина залишкових напружень розтягу досягає 520 МПа із глибиною залягання до 0,1 мм.

6. Розроблена та обгрунтована конструкція дискової секційної щітки /п.з. №4822363/12/ і запропонований алгоритм розрахунку її геометричних параметрів в залежності від режимів експлуатації. Експериментально встановлено, що найбільший термін експлуатації інструменту становить 284 год.

7. Результати роботи впроваджені на Стрийському ВО кавальсько-пресового обладнання /Львівська обл./ та Петрівському заводі стінових матеріалів та конструкцій /м.Київ/ із загальним річним економічним ефектом в 277,0 тис.крб.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Позитивне заключення Державного патентного відомства СРСР по заявці № 4822363/12 від 3.05.1990 р. Щітка для очищення поверхонь металу. В.В.Перепічка, А.Я.Куліченко; Львів, політехн. ін-т.

2. В.В.Перепічка, А.Я.Куліченко. Електродугове очищення виробів металевими щітками /Вісн. Львів. політехн. ін-ту. - Львів, вид-во Світ, 1990. - № 246. - С. 40-42.

3. Куліченко А.Я. Ефективність обробки поверхневого шару

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

металу електродуговим способом. /Вісн. Львів. політехн. ін-ту.- Львів: Вид-во Світ, 1991. - № 255. - С. 27-28.

4. Перепічка Є.В., Куліченко А.Я. Властивості прокатної окалини та її усунення із поверхні металу дисковими щітками /Вісн. Львів. політехн. ін-ту.- Львів: Вид-во Світ, 1992.- № 265. С.31-33.

5. Куліченко А.Я. Характер впливу електричної дуги на поверхню металу при електромеханічній очистці щітками /Вісн. Львів. політехн. ін-ту.- Львів: Вид-во Світ, 1992. - №265.- С.34-36.

6. Перепічка Є.В., Куліченко А.Я. Електромеханічна обробка поверхні деталей металевими щітками /Технолог. и организац. пр-ва, 1991. № 4. - С.55-56.

7. Куліченко А.Я. Зависимость температурного влияния от факторов обработки при очистке окалины электромеханическим способом /Библ.указат.ВИНИТИ "Деп. научн.работы", 1991. №12/242, б/с 563.- 19с.

8. Куліченко А.Я., Литвиняк Я.М. Влияние факторов обработки электромеханическим способом на показатели шероховатости поверхности деталей /Библ.указат.ВИНИТИ "Депон.научн.работы", 1992. -№ 7/249. - 21 с.

9. Куліченко А.Я., Литвиняк Я.М. Упругопластическое деформирование поверхностного слоя детали упругими элементами цилиндрической щетки при ударном нагружении /Библ.указат.ВИНИТИ "Депон.научн.работы", 1992. - № 8/250. - 14 с.

10. Куліченко А.Я. Влияние электромеханического способа очистки на шероховатость поверхности металла. - В кн. WYTWARZANIE ELEMENTÓW MASZYN ZE STOPÓW MET. Тезиси докл. IV Международной конференции по вопросам машиностроения и строительства. RZESZÓW/RP/, 1992. - С.207-211.

11. Перепічка Є.В., Куліченко А.Я. Электродуговой метод очистки металлическими щетками и силы, способствующие поверхностному упрочнению: - В кн. ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI WARSZAWSKY. - WARSZAWA /RP/. Тезиси докл. II Международной конференции по вопросам прочности машин. - WARSZAWA/RP/, 1990.- С.169-173.

12. Куличенко А.Я. Обработка плоской поверхности металлическими щетками с одновременным нанесением покрытия // Технолог. и организац. пр-ва, 1992. № 2 - С.50-51.

13. Куличенко А.Я. Геометрические показатели качества поверхности изделий при электродуговом методе обработки. - В кн. Усовершенствование существующих и создание новых ресурсосберегающих технологий и оборудования в машиностроении: Тезисы докл. I Белорус. Республиканской конференции. - Могилев, 1991, ч. I, - С.29-30.

14. Куличенко А.Я. Электромеханический способ поверхностной обработки металлическими щетками. - В кн. Актуальные проблемы машиностроения на современном этапе: Тезисы докл. Всесоюзной конференции по вопросам технологии машиностроения. - Владимир, 1991. - С. 82-83.

15. Куличенко А.Я., Литвиняк Я.М. Технологическое обеспечение эффективности очистно-упрочняющей обработки щетками // Библиограф. указат. ВИНТИ "Депонированные научные работы", 1992. - № 7 /249/. - 17 с.

16. Куличенко А.Я., Перепичка Е.В. Влияние дугового способа обработки на формирование микрорельефа поверхности изделий. - В кн.: Прогрессивные технологии в машиностроении: Тезисы докл. в школе - семинаре при Республиканском доме экономической и научно-технич. пропаганды. - Одесса, 1991. - С.32.

17. Куличенко А.Я., Литвиняк Я.М. Обеспечение точности при обработке поверхности изделий щетками электромеханическим способом. - В кн.: Вопросы обеспечения точности машиностроит. производств: Тез. докл. III Всесоюзной научно-техн. конференции. - Пенза, 1992. - С. 28-29.

18. Куличенко А.Я. Электромеханический способ нанесения поверхностных покрытий дисковой комбинированной щеткой. - В кн.: Прогрессивные методы получения конструкционных материалов и покрытий повышающих долговечность деталей машин: Тез. докл. межреспубликанской научно-техн. конференции - Волгоград, 1992. - С.31-32.

Підп. до друку 26.02.93 . Формат 60x84¹/16.
Папір друк. № 2, Друк. офс. Умовн. друк. арк. 1.15
Умовн. фарб.-відб. 1.15 Обл.-вид. арк. 1.17
Тираж 100 прим. Зам. 33 . Безплатно

ЛПІ 290646 Львів-13, Ст. Бандери, 12

Дільниця ротарійного друку Дослідн. з-ду ЛПІ,
Львів, вул. Городоцька, 286

AB 27.077