

На правах рукопису
УДК 621.91

ОНИЩУК Сергій Григорович



ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ КОРПУСНИХ ТА
БАЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

Спеціальність 05.02.08 - технологія машинобудування

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Краматорському індустріальному інституті

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
доцент Кухтік Тамара
Васильовна

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Проволоцький
Олександр Євдокимович
кандидат технічних наук,
доцент Шестаков Володимир
Леонідович

Провідне підприємство - Краматорське верстатобудівне виробниче об'єднання

Захист відбудеться 20 грудня 1993 р. на засіданні
Спеціалізованої вченої ради К 068.14.15 в Київському
політехнічному інституті за адресою:
252056, м.Київ-56, проспект Перемоги, 37, учбовий корпус
19, ауд.340.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий "19" листопада 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

 В.В.Романенко

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00802864 (S)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

А Н О Т А Ц І Я

Дисертаційна робота присвячена проблемі технологічного забезпечення точності корпусних та базових деталей в умовах важкого машинобудування.

Метою дисертаційної роботи є розробка технологічних методів механічної обробки з використанням електричного струму в зоні різання і способів їх реалізації, дозволяючих знизити залишкові деформації та забезпечити потрібну точність.

У роботі вирішені наступні завдання:

- розроблені технологічні способи, які забезпечують точність корпусних та базових деталей з використанням електричного струму при різанні;
- розроблена аналітична модель, яка описує залежність залишкових напружень при одноосьовому напруженому стані від режимів обробки, фізико-механічних характеристик стану деталі, а також сили струму;
- досліджено дію залишкових напружень на короблення корпусних та базових деталей при електромеханічній обробці з урахуванням технологічної спадковості;
- розроблена методика розрахунку залишкових напружень та деформацій при електромеханічній обробці фрезеруванням і струганням корпусних та базових деталей;
- розроблені практичні рекомендації по використанню електромеханічних методів обробки корпусних та базових деталей важкого машинобудування.

Автор захищає:

- аналітичні залежності, які описують величину залишкових напружень і деформацій при одноосьовому напруженому стані від режимів електромеханічної обробки, фізико-механічного стану деталі;
- математичну модель механізму технологічної спадковості при електромеханічній обробці;
- розрахунково-експериментальна методика визначення поля залишкових напружень при електромеханічній обробці;
- методика призначення технологічних режимів при електромеханічній обробці і їх оптимізація у операціях фрезу-

руванням і струганням.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Сучасне важке машинобудування характеризується великою кількістю великогабаритних корпусних та базових деталей, до якості виготовлення яких ставляться підвищені вимоги. Проте існуюча технологія виготовлення цих деталей не дозволяє повністю вирішити проблему стабілізації залишкових напруг, виникаючих при механічній обробці, які приводять до короблення деталей нежорсткого типу. Це приводить до того, що на складальних операціях запроваджуються доводочно-приганяльні операції, які вимагають додаткових витрат часу і засобів (до 30-70 % від загальної трудомісткості складання машин).

Нині є технологічні рішення, зв'язані з використанням електромеханічної обробки, яка у принципі дозволяє вирішити завдання значного зниження залишкових деформацій. Однак електромеханічна обробка набуває своє застосування як операція обробно-зміцнювальної обробки, яка не зв'язана із зніманням металу. Відсутні теоретичні дослідження дії технологічних факторів електромеханічної обробки різанням на залишкові деформації корпусних та базових деталей.

Тому дослідження процесів, протікаючих при електромеханічній обробці деталей різанням із застосуванням електричного струму, а також розробка методики розрахунку залишкових напруг та деформацій і практичних рекомендацій по режимам обробки, які значно інтенсифікують процес пластичної деформації при різанні, сприяючих зниженню короблення деталей з метою підвищення їх точності, є актуальним науково-технічним завданням.

Загальна методика досліджень. Дослідження процесу технологічної спадковості залишкових напруг і деформацій виконано із застосуванням розрахункових та експериментальних методів. Математичне описання зв'язків залишкових напруг і деформацій при електромеханічній обробці виконано на основі фундаментальних положень технології машинобудування, теорії пружності і теплопроводності. Перевірка адекватності математичної моделі процесу перерозподілу залишкових напруг при електромеханічній обробці і

експериментальних досліджень виконана із застосуванням теорії планування експериментів.

Наукова новина. На основі теоретичних та експериментальних досліджень отримані аналітичні залежності для розрахунку залишкових напруг та деформацій, які ураховують залишкові напруги в заготовці та залишкові напруги при електромеханічній обробці.

Розроблено інженерну методіку оцінки напружено-деформованого стану з використанням методу кінцевих елементів при електромеханічній обробці корпусних та базових деталей.

Виявлені та вивчені закономірності, які ураховують вплив режимів електромеханічної обробки на залишкові напруги та деформації корпусних та базових деталей.

Розроблено новий технологічний процес електромеханічної обробки корпусних та базових деталей.

Практична цінність. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблені аналітичні залежності, які описують напружено-деформований стан заготовки при електромеханічному фрезеруванні та струганні.

Розроблена методика визначення залишкових деформацій при оптимальних режимах електромеханічної обробки корпусних та базових деталей з урахуванням технологічної спадковості.

Розроблена технологічна оснастка і технологічний процес обробки деталей прокатного обладнання і важких токарних верстатів електромеханічним фрезеруванням та струганням.

Реалізація результатів роботи. Технологічний процес електромеханічної обробки станів важких токарних верстатів введено на КВВО (м.Краматорськ). Економічний ефект складає 1982 тис. карбованців (у цінах 1992 року).

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на 5 Республіканських і міжвузівських науково-технічних конференціях:

- Республіканська науково-технічна конференція "Качество и надежность технологических систем механообработки". - Краматорськ, 1991, травень;

- Всесоюзна науково-технічна конференція "Остаточные напряжения - резерв прочности в машиностроении". - Ростов-на-Дону,

1991, листопад.

- конференція "Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства". - Домбай, 1992, травень;

- міжвузівська науково-технічна конференція "Качество и надежность технологических систем". - Краматорськ, 1992, червень;

- конференція "Новые технологические процессы в механической обработке". - Одеса, 1992, жовтень.

Публікації. Основний зміст і результати дисертаційної роботи відображені у 7 публікаціях.

Структура і об'єм роботи. Робота складається із вступу, 5 розділів, закінчення, списку літератури і додатків. Об'єм роботи: 162 машинописних сторінок основного тексту, 55 малюнків, список літератури із 79 найменувань, 28 сторінок із актами впровадження та програмами розрахунків на ЕОМ.

У вступі обгрунтовано актуальність теми, викладені дані про основні дослідження, про апробацію роботи, практичні цінності і впровадження результатів роботи на виробництві.

У першому розділі дано аналіз сучасного стану питання на основі огляду вітчизняних і зарубіжних досліджень по досягненню точності виготовлення деталей. Показано, що досягнення точності пов'язано із стабілізацією залишкових напруг і деформацій корпусних та базових деталей, які виникають в процесі різання. Існуючі методи стабілізації не дозволяють повністю вирішити проблему короблення корпусних та базових деталей і призводять до запровадження доводочно-приганяльних операцій на складанні машин. Застосування електромеханічної обробки може сприяти стабілізації залишкових напруг і зниженню деформацій з метою досягнення точності корпусних та базових деталей.

У цьому розділі визначені мета та завдання досліджень.

У другому розділі викладена загальна методика проведення досліджень. Дані відомості про використане металорізальне обладнання, загоби і методи, вимірювання залишкових напруг і деформацій при електромеханічній обробці, а також застосовані матеріали.

У третьому розділі виконані: дослідження напружено-деформованого стану з використанням методу кінцевих елементів при

електромеханічній обробці корпусних та базових деталей; одержані залежності для розрахунку залишкових напруг та деформацій; статистичні дослідження точності корпусних та базових деталей; дослідження стану поверхневого шару після електромеханічної обробки корпусних та базових деталей.

У четвертому розділі розроблена математична модель механізму технологічної спадковості при електромеханічній обробці, розроблено алгоритм перерозподілу залишкових напруг та деформацій з урахуванням технологічної спадковості, проведені експериментальні дослідження установлених залежностей.

У п'ятому розділі приведені результати виробничих досліджень електромеханічної обробки фрезеруванням і струганням корпусних та базових деталей, оптимальні режими обробки, розроблені номограми.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Важке машинобудування характеризується широкою номенклатурою корпусних та базових деталей різних видів обладнання. Точність більшості цих деталей є важливішою характеристикою їх якості. Підвищення точності виготовлення деталей та складання вузлів збільшує довговічність і надійність експлуатації механізмів та машин. Цим пояснюється безперервне підвищення вимог до точності виготовлення деталей і машин в цілому.

В процесі виготовлення заготовок корпусних та базових деталей відбувається нерівномірний нагрів і охолодження їх окремих ділянок, що приводить до виникнення залишкових напруг. Наступне знімання припусків при обробці різанням приводить до неминучого виникнення неврівноважених внутрішніх сил в деталі, внаслідок чого відбувається перерозподіл залишкових напруг і, як наслідок, короблення деталей.

Дані по фактичній якості виготовлення корпусних деталей на заводах м.Краматорська показують, що необхідно удосконалювати технологічні процеси їх виготовлення з метою підвищення точності і керування обробкою на стадії проектування технологічного процесу.

Технічні вимоги, котрі пред'являють до корпусних та базових

деталей прскатного обладнання, потребують виконання спеціальних заходів з метою зниження залишкових напруг і деформацій для досягнення заданої точності.

Серед методів, які застосовуються на заготівельній та черновій стадії обробки для стабілізації залишкових напруг і деформацій найбільш поширені природне і штучне старіння, нормалізація, віброобробка, статичне і динамічне навантаження та інші. Застосування цих методів потребує введення в технологічний процес додаткової операції термічної обробки.

Після механічної обробки рівноважний стан деталі порушується, що потребує на чистовому етапі обробки застосовувати обробно-зміцнювальні методи, які дозволяють здійснити зніження залишкових напруг і деформацій.

Існуючі методи обробно-зміцнювальної обробки, до яких належать методи поверхнево-пластичної деформації та інші, потребують також виділення їх в окрему операцію технологічного процесу, що подовшує його тривалість.

Крім того, вищезазвані методи стабілізації залишкових напруг і деформацій не можуть повністю вирішити проблему зніження короблення корпусних та базових деталей нежорсткого типу.

Сучасні електрофізичні та електротехнологічні методи можна використовувати для стабілізації залишкових напруг, але їх застосування потребує використання спеціального обладнання і додаткових витрат коштів.

Електромеханічна обробка різанням, яка використовувалась раніше як високопродуктивний метод обробки важкообробних матеріалів, може бути застосована як метод, який дозволяє стабілізувати залишкові напруги і деформації, зменшити короблення та забезпечити точність деталей.

Вирішення завдання підвищення точності обробки корпусних та базових деталей зв'язано з вивченням питань виникнення та перерозподілу залишкових напруг заготовки, виявлення дії технологічних факторів, які базуються на технологічній спадковості процесу короблення.

Одержана залежність, яка дозволяє визначити взаємозв'язок залишкових напруг та сили електричного струму при електромеханічній обробці

$$\sigma_0 = \frac{J}{S_y} \sqrt{\frac{E J_x \rho \sin \varphi}{\nu L}} \quad (1)$$

- де σ_0 - залишкова напруга;
 J - сила електричного струму;
 S_y - статичний момент площі відносно головних центральних осей y і z частини заготовки, яка залишилась після знімання припуску;
 E - модуль пружності;
 J_x - момент інерції;
 ρ - питомий електричний опір;
 φ - головний кут у плані інструменту ($\varphi = 45^\circ$);
 ν - швидкість різання;
 L - довжина заготовки.

Для визначення короблення деталей після електромеханічної обробки одержана залежність

$$f = \frac{K \Delta t \alpha \beta [4d_0^2 - 3e(2d_0 - e)] J L}{6 E J_x \lambda d_0} \sqrt{\frac{E J_x \rho \sin \varphi}{\nu L}} \quad (2)$$

- де K - коефіцієнт, який ураховує схему навантаження;
 α , β і λ - коефіцієнти тепловіддачі, температурного розширення і теплопровідності відповідно;
 $2d_0$ - товщина стінки деталі;
 e - величина припуску;
 Δt - різниця між температурою навколишнього середовища і початковою температурою перед охолодженням заготовки.

Аналіз одержаних залежностей (1) і (2) показує, що напружено-деформованим станом поверхневого шару деталі можна керувати, якщо варіювати режимами електромеханічної обробки (I , ν), величиною припуску.

Експериментальна перевірка одержаних залежностей (1) і (2) робилась на зразках, які були відлиті із сталі 35Л (ГОСТ 977-75) Обробка здійснювалась на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6Р13НФ3-01 торцювою фрезею діаметром 120 мм із вставними ножами з пластинами із твердого сплаву Т5К10.

Вимірювання залишкових деформацій здійснювали з використанням електротензометричного методу за допомогою приладу ЦТМ-5.

Адекватність одержаних залежностей перевірялась з використанням апарату математичної статистики.

Одержані рівняння регресії при прямолінійному кореляційному зв'язку

$$\begin{aligned} f &= 0,56e + 3,73 & (3) \\ e &= 1,62f + 1,1 & (4) \end{aligned}$$

При проектуванні раціонального технологічного процесу виготовлення корпусних та базових нежорстких деталей необхідно мати досить точну інформацію перерозподілу залишкових напруг та деформацій при електромеханічній обробці.

Розроблено алгоритм визначення залишкових напруг за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ), який складається з трьох етапів.

На першому етапі здійснюється чисельний експеримент, за допомогою якого визначаються залишкові напруги в пружній зоні

$$\{\dot{\sigma}\} = [D^e] \{\dot{\epsilon}\} \quad (5)$$

де $[D^e]$ - матриця пружності, яка визначається відношенням

$$[D^e] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & \mu/(1-\mu) & 0 \\ \mu/(1-\mu) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\mu)/2(1-\mu) \end{bmatrix} \quad (6)$$

де μ - коефіцієнт Пуасона.

Розподілене навантаження визначається із слідуячого відношення

$$q = \sqrt{\frac{2M}{a^2}} \quad (7)$$

де a - відстань між вузловими точками трикутних елементів;

M - момент неурівноважених внутрішніх сил.

На другому етапі проводиться експеримент на зразку - здійснюється електромеханічна обробка різанням і металографічні дослідження для визначення пластичної зони.

Визначаються залишкові напруги в пластичній зоні

$$\{\dot{\sigma}\} = [D^p] \{\dot{\epsilon}\} \quad (8)$$

де матриця пластичності $[D^p]$ визначається відношенням

$$[D^p] - [D^e] - \frac{(2G)^2}{9G^2(3G+H')} \begin{bmatrix} \epsilon_x^2 & \epsilon_x \epsilon_y & \epsilon_x \tau_{xy} \\ \epsilon_y \epsilon_x & \epsilon_y^2 & \epsilon_y \tau_{xy} \\ \tau_{xy} \epsilon_x & \tau_{xy} \epsilon_y & \tau_{xy}^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$\{\dot{\epsilon}\}$ - повна швидкість деформації;
 ϵ_x, ϵ_y - компоненти девіатора напруг;
 G - модуль зсуву;
 H' - модуль зміцнення.

На третьому етапі розраховуються поля залишкових напруг за результатами перших двох етапів.

Визначення напружено-деформованого стану при електромеханічному фрезеруванні корпусної деталі полягає в послідовному зніманні припуску з поверхні деталі і проведення металографічних досліджень, рентгеноструктурного аналізу, вимірювання шерехатості поверхні, результати яких використовувались на другому етапі розрахунку методом кінцевих елементів.

Проведені дослідження показують, що пластичне деформування при електромеханічній обробці супроводжується утворенням пружно-пластичної зони поверхневого шару деталі з здрібнюваних блоків та зерен. Мікротвердість поверхневого шару після електромеханічної обробки збільшується в 1,5 разів. Глибина зміненого шару становить до 0,3 мм.

Рентгеноструктурний аналіз, який було проведено на устаткуванні ДРОН-2, показав, що після електромеханічної обробки збільшується число та густина дислокацій, з'являються залишкові напруги стиску.

Результати розрахунків та експериментальних досліджень погоджуються задовільно.

Для розробки математичної моделі процесу виникнення залишкових деформацій деталі досліджувався процес формування якісних та кількісних характеристик деталі з урахуванням технологічної спадковості.

Комплексна дія факторів технологічної спадковості визначає процес формування якісних характеристик оброблюваних поверхонь

$$\bar{Y}_{im} = f(\bar{Y}_{im-1}, \bar{W}_{im}, \bar{V}_{im}, \bar{V}_{im-1} \dots \bar{V}_{im}) \quad (10)$$

$i \in I, m \in M$

Цільовою функцією є результуюча величина залишкових деформацій i -ої стінки корпусної деталі після електромеханічної обробки за $M = 1, 2 \dots t$ операцій (переходів)

$$f_{рез i} = \sum_{M=1}^t f_{im} \quad (11)$$

Критерієм є мінімум цільової функції

$$\sum_{M=1}^t f_{im} \leq f_{im \text{ доп}} \quad (12)$$

де $f_{im \text{ доп}}$ - величина залишкових деформацій i -ої стінки деталі в межах допуску.

Перемінні, які оптимізуються:

1. Величина припуску.
2. Сила електричного струму.
3. Величина деформацій та залишкових напруг.

Одні із основних перемінних параметру, які визначають зміну стану технологічної системи обробки, є залишкові напруги та деформації корпусної деталі. Для якісного та кількісного аналізу залишкових деформацій з використанням властивостей орієнтованого графа технологічної спадковості отримана залежність для визначення результуючих залишкових напруг та деформацій усіх стінок деталі

$$B_{рез m_i} = \sum b_i + \sum b_j \quad (13)$$

де b_i - залишкові напруги від попередньої обробки;

b_j - залишкові напруги стінки при електромеханічній обробці.

Аналогічно для деформацій

$$f_{рез m_i} = \sum f_i + \sum f_j \quad (14)$$

З урахуванням коефіцієнтів технологічної спадковості рівняння (13) і (14) приймають вигляд:

$$\sigma_{\text{рез } m_i} = K_i \sigma_i + K_j \sigma_j \quad (15)$$

$$f_{\text{рез } m_i} = C_i f_i + C_j f_j \quad (16)$$

де K_i, K_j, C_i, C_j - коефіцієнти технологічної спадковості, які визначаються за методом найменших квадратів.

$$K_i = \frac{\sum \sigma_{m_i} \sigma_{\text{рез } m_i} \sum \sigma_{m_i}^2 - \sum \sigma_{m_j} \sigma_{m_i} \sum \sigma_{m_i} \sigma_{\text{рез } m_i}}{\sum \sigma_{m_j}^2 \sum \sigma_{m_i}^2 - (\sum \sigma_{m_j} \sigma_{m_i})^2} \quad (17)$$

$$K_j = \frac{\sum \sigma_{m_j} \sigma_{\text{рез } m_i} \sum \sigma_{m_j}^2 - \sum \sigma_{m_i} \sigma_{m_j} \sum \sigma_{m_j} \sigma_{\text{рез } m_i}}{\sum \sigma_{m_j}^2 \sum \sigma_{m_i}^2 - (\sum \sigma_{m_j} \sigma_{m_i})^2} \quad (18)$$

$$C_i = \frac{\sum f_{m_i} f_{\text{рез } m_i} \sum f_{m_i}^2 - \sum f_{m_j} f_{m_i} \sum f_{m_i} f_{\text{рез } m_i}}{\sum f_{m_j}^2 \sum f_{m_i}^2 - (\sum f_{m_j} f_{m_i})^2} \quad (19)$$

$$C_j = \frac{\sum f_{m_j} f_{\text{рез } m_i} \sum f_{m_j}^2 - \sum f_{m_i} f_{m_j} \sum f_{m_j} f_{\text{рез } m_i}}{\sum f_{m_j}^2 \sum f_{m_i}^2 - (\sum f_{m_j} f_{m_i})^2} \quad (20)$$

При електромеханічній обробці відбувається порушення рівноваги залишкових напруг у деталі. З використанням теорії графів одержані залежності для визначення залишкових напруг обробленої стінки

$$\sigma_{ii} = - \frac{3 \sigma_{oi} (2d_{oi} - e_i)^2}{2d_{oi}^2} + \sigma_{oi} + \sigma_{oj} \quad (21)$$

де σ_{oi} - залишкові напруги заготовки;

σ_{oj} - залишкові напруги, котрі "вносяться" електромеханічною обробкою.

При обробці стінки деталі виникає момент невірноважених внутрішніх сил від перерозподілу залишкових напруг

$$M = \sigma_{cp} S_y^f \quad (22)$$

де S_y^f - статичний момент площі відносно головних центральних осей Y та Z частини заготовки, яка залишилась після знімання припуску;

σ_{cp} - величина залишкових напруг у віддаленому шарі, яка визначається за формулою

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{oi} + \sigma_{ii}}{2} \quad (23)$$

Перетворивши формулу (23) з урахуванням (21) одержимо

$$\sigma_{cp1} = \sigma_{01} - \frac{3 \sigma_{01} (2d_0 - e)^2}{4d_0^2} + \frac{\sigma_{01}}{2} \quad (24)$$

Деформація обробленої стінки визначається за залежністю

$$f_{12} = \frac{\sigma_{cp1} S_y^F L_1^2}{E J_{x1}} \quad K \quad (25)$$

Залишкові напруги необроблених стінок після перерозподілу визначаються як

$$\sigma_{22} = \frac{\sigma_{cp1} S_{y1}^F}{S_{y2}^F} \quad (26)$$

$$\sigma_{32} = \frac{\sigma_{cp1} S_{y1}^F}{S_{y3}^F} \quad (27)$$

Залежності для деформацій приймають вигляд

$$f_{22} = \frac{\sigma_{22} S_y^F L_2^2}{E J_{x2}} \quad K \quad (28)$$

$$f_{32} = \frac{\sigma_{32} S_y^F L_3^2}{E J_{x3}} \quad K \quad (29)$$

Залежності при обробці інших стінок деталі визначаються аналогічно.

Експериментальні дослідження проводились на зразках П-образної та коробчатої форми і проілюстровані круглограмами та картинами напруг і деформацій.

Виявлено, що істотним "бар'єром" є введення в зону різання електричного струму. При величині коефіцієнтів K_{ij} , $C_{ij} = 1$ на слідуючих операціях технологічного процесу відбувається копіювання властивостей заготовки. При зменшенні коефіцієнтів технологічної спадковості до нуля, операція електромеханічної обробки є "бар'єром".

Для відповідальних корпусних та базових деталей необхідно введення електричного струму для зниження рівня залишкових деформацій при виконанні всього технологічного процесу.

Реалізація електромеханічної обробки фрезеруванням і струганням виконувалась у цехах КВВО та АО "НКМЗ" (м.Краматорськ)

Розроблено і виготовлено дослідно-виробниче устаткування для електромеханічної обробки.

Проведені експерименти по оптимізації процесу електромеханічної обробки з використанням активних планів, установлені раціональні режими та геометричні параметри інструменту для електромеханічної обробки.

Розроблені номограми для визначення режимів електромеханічної обробки фрезеруванням і струганням корпусних та базових деталей.

Внаслідок упровадження технологічного процесу електромеханічної обробки корпусних деталей отримані наступні показники:

- зниження трудомісткості технологічного процесу до 40 % ;
- зниження собівартості виготовлення деталей до 30 %;
- скорочення тривалості технологічного циклу обробки та складання корпусних та базових деталей за рахунок скорочення трудомісткості доводочно-приганяльних робіт.

Економічний ефект від упровадження розробок складає 1982 тис. карбованців.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Отримані теоретичні і експериментальні залежності, які дозволяють за конструктивними параметрами заготовки і напружено-деформованому стану деталі здійснювати розрахунок сили струму, необхідного при електромеханічній обробці корпусних і базових деталей.

2. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що основними факторами, які безпосередньо діють на залишкові деформації оброблюваних деталей, є конструктивні особливості заготовок і деталі, методи обробки, режими різання (сила електричного струму, подача, глибина різання, швидкість обробки).

Комплексне дослідження якості поверхневого шару дозволило виявити взаємозв'язок між технологічними параметрами електромеханічної обробки та залишковими напруженнями і деформаціями, структурою поверхневого шару, мікротвердістю та шерехатістю поверхні деталі.

Виявлено, що після електромеханічної обробки відбувається

зниження залишкових напруг і деформацій на 15-25%, створюється дрібнозерниста структура поверхневого шару деталі, мікротвердість підвищується у 1,5 рази у порівнянні з основним шаром металу. Рентгенографічні дослідження свідчать про те, що електромеханічна обробка супроводжується появою здрібнюваних зерен та блоків металу, підвищенням щільності дислокацій у середньому з $4,45 \cdot 10^{12}$ до $8,5 \cdot 10^{12}$ см.

Дані по дії електромеханічної обробки дозволить керувати процесом забезпечення точності виготовлення деталей на стадії проектування технологічного процесу.

3. Виявлені і експериментально підтверджені закономірності зниження залишкових деформацій корпусних та базових деталей на черновому етапі виготовлення з використанням електромеханічних методів обробки.

Розроблена методика розрахунку напружено-деформованого стану деталей при електромеханічному фрезеруванні і струганні з використанням методу кінцевих елементів. Ця методика дозволяє оцінити якісні характеристики поверхневого шару деталі на кожному етапі виготовлення, отримати наочні рекомендації по зміні залишкових деформацій кожної стінки оброблюваної деталі при раціональних режимах електромеханічної обробки.

4. На основі аналізу фізичної моделі напруженого стану корпусних і базових деталей, обробка котрих здійснюється з використанням електричного струму, розроблена методика успадкування напруг і деформацій цих деталей при електромеханічній обробці.

За допомогою теорії графів та експериментальних досліджень показані якісні зв'язки технологічної спадковості. При цьому виявлена технологічна спадковість перерозподілу залишкових напруг і деформацій дозволила визначити раціональні технологічні прийоми, які забезпечують підвищення точності виготовлення подушок та станін прокатного устаткування.

5. Розроблена та виготовлена дослідно-виробниче устаткування і технологічне оснащення для електромеханічної обробки фрезеруванням та струганням корпусних і базових деталей, яке дозволяє регулювати параметри електричного струму в широкому діапазоні для обробки різних матеріалів і заготовок.

6. На основі експериментальних досліджень розроблено техно-

логічний процес електромеханічної обробки подушок і станин прокатного устаткування. Для одержання мінімальних залишкових деформацій електромеханічну обробку деталей необхідно проводити на чорновому етапі. При цьому для заготовок, які пройшли нормалізацію, оптимальні режими обробки слідує: сила електричного струму 150-200 А, глибина різання 10-20 мм, подача 450 мм/хв (при фрезеруванні) та 1,4 мм/подв.хід (при струганні), швидкість обертання фрези 1,25 м/с. Напруга становить 2,2-3,8 В.

7. Упровадження основних результатів роботи здійснено на КЗВО (м.Краматорськ). Загальний річний економічний ефект становить 1982 тис. карбованців (у цінах 1992 року).

Друковані роботи автора по темі дисертації:

1. Молчанов Е.П., Кухтик Т.В., Онищук С.Г. Гребенчатая фреза для электромеханической обработки деталей / Качество и надежность технологических систем механообработки: Тезисы докладов Республ. научно-технич. конфер. Краматорск, 21-22 мая 1991 г. - Краматорськ, 1991. - С. 23-24.

2. Кухтик Т.В., Молчанов Е.П., Бабенко Г.И., Моисеенко Л.И., Онищук С.Г. Высокопроизводительное электромеханическое фрезерование // Машиностроитель. - 1992. - № 3. - С.15.

3. Кухтик Т.В., Гинкул С.П., Овчаренко В.А., Онищук С.Г., Прокопенко О.В. Измерение остаточных напряжений акустическим методом // Машиностроитель. - 1992. - № 5. - С. 23-24.

4. Кухтик Т.В., Онищук С.Г., Прокопенко О.В., Мирошников О.В. Электромеханическое строгание станин тяжелых токарных станков / Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства: Тезисы докладов конференции, Домбай, 26-28 мая 1992 г. - К., Товариство "Знання" України, 1992. - С. 24-25.

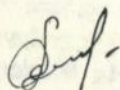
5. Кухтик Т.В., Онищук С.Г. Особенности обработки корпусных деталей электромеханическим фрезерованием / Качество и надежность технологических систем : Тезисы докладов межвузовской научно-технич. конфер., Краматорск, 3-4 июня 1992 г. - Крама-

торськ, 1992. - С.62.

6. Кухтик Т.В., Онишук С.Г., Исаев В.В. Исследование технологических факторов при электромеханическом строгании направляющих станин тяжелых токарных станков / Новые технологические процессы в механической обработке: Тезисы докладов конференции, 13-14 октября 1992 г., Одесса. - К., 1992. - С. 15-16.

7. Кухтик Т.В., Мирошников О.В., Лобунец Ю.П., Онишук С.Г. Электромеханическая обработка станин тяжелых токарных станков // Машиностроитель. - 1993. - № 1. - С. 21.

8. А.С. I774227 СССР, МКИ G 01 N 29/00. Способ определения состояния образца после обработки /Т.В.Кухтик, В.А.Овчаренко, В.С.Кухтик, С.П.Гинкул, В.В.Исаев и С.Г.Онишук (СССР); N 4799339/28; Заяв. 05.01.90; Опубл. 07.11.92. Бюл. N 41.



AB 28.785

AB 28.785