

На правах рукопису

УДК 621.75:75 9.3:621.9

КОВЦЕВА Ірина Володимирівна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ
ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУГ ІМПУЛЬСНИМИ ЕЛЕК-
ТРИЧНИМИ РОЗРЯДАМИ.

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

Роботу виконано у відділі автоматизації виробничих процесів Краматорського науково-дослідного і проектно-технологічного інституту машинобудування (НІО НДІПТМаш).

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00810655 (P)

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Гавриш А. П.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Зенкін А. С.,
к. т. н., доцент
Кухтук Т. В.

Будуче підприємство - Арендне об'єднання
Новокраматорський
машинобудівний завод.

Захист відбудеться 15 листопада 1993р. на засіданні спеціалізованої ради К 068 14.15 в Київському політехнічному інституті за адресою:

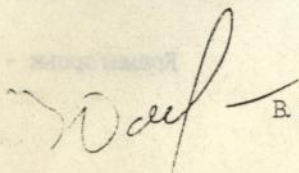
252056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано 15 листопада 1993р.

Вчений секретар

ЛННБ ім. В. Стефаніка
ДІ І Мікр доцент



В. В. Романенко

АНОТАЦІЯ.

Дисертаційна робота присвячена проблемі підвищення точности виготовлення деталей типу валів шляхом зниження залишкових напруг імпульсними електричними розрядами.

Метою дисертаційної роботи є теоретичне обґрунтування застосування імпульсного струму високої щільності для зменшення технологічних залишкових напруг та створення дослідно-промислового обладнання для зняття рівня залишкових напруг, підвищення точности виготовлення деталей і підвищення ефективності обробки виробів.

У роботі вирішено такі завдання:

- теоретично дослідженні процеси напружено-деформованого стану деталей, оброблених із застосуванням електроімпульсного методу;
- перевірено теоретичну модель, що описує процеси зміцнення-знемцнення металів і застосовано ефект електроімпульсної стабілізації залишкових напруг при обробці деталей типу валів;
- визначено взаємозв'язок внутрішніх залишкових напруг і параметрів імпульсного електричного струму, що накладається на деформовану деталь;
- запропоновано методику випаровування, а також алгоритм і програму оптимізації режимів процесу імпульсного зняття технологічних залишкових напруг в деталях типу валів;
- розроблено і виготовлено універсальний комплекс для зняття технологічних залишкових напруг імпульсним струмом.

Автор захищає:

- аналітичну модель, що описує модель залежності технологічних залишкових напруг у заготовці від параметрів імпульсного струму;
- аналітичну модель, що описує картину напруг у заготовці при впливі на неї імпульсного струму;
- дослідно-промисловий прилад ІЗЗН-1 для зняття технологічних залишкових напруг у заготовках із конструкційних сталей і чаву-

на;

- рекомендації з промислового застосування електроімпульсного методу стабілізації внутрішніх залишкових напруг.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність. Вивчення розповсюджених технологічних процесів обробки металів різанням показало, що режими обробки можна вдосконалити завдяки підвищенню пластичності заготовки та зміцнення її. Пропускання через заготовку імпульсного струму високої щільності приводить до підвищення пластичності та знеміцнення матеріала, практично не підвишуючи її температуру. Однак зараз відсутні експериментальні дослідження й аналітичні описи процесу знеміцнення, що відбувається при використанні цього ефекту в технології машинобудування. Зовсім немає будь-яких даних про можливість застосування імпульсного струму в операціях технології машинобудування по усуненню чи регулюванню рівня технологічних залишкових напруг. Тому дослідження процесів, що відбуваються при деформації деталей під час накладання імпульсного струму, а також розробка рекомендацій по режимах обробки імпульсним струмом, є актуальним завданням.

Загальна методика дослідження. В роботі використано метод дослідження, що включає теоретичний аналіз залежності технологічних залишкових напруг від технологічних факторів заготовки та матеріалу, а також параметрів імпульсного струму, експериментальні дослідження, що ґрунтуються на моделюванні процесу стабілізації залишкових напруг шляхом пропускання через заготовку імпульсного струму. Одержані в результаті теоретичних і експериментальних досліджень дані перевірено й застосовано в технологічних процесах обробки заготовок.

Наукова новизна. Наукову новизну роботи становить побудова

аналітичної моделі, що описує залежність параметрів імпульсного струму від параметрів заготовки, описання картини напруг при впливі на піддану деформації заготовку імпульсного електричного струму, розробці методики обробки заготовок для стабілізації в них технологічних залишкових напруг.

Практична цінність. В результаті проведенних теоретичних та експериментальних досліджень виготовлено дослідно промисловий прилад імпульсного зняття залишкових напруг (ІЗЗН-1). Цей прилад може бути пристосований лінійно та операційно стабілізації залишкових напруг імпульсним струмом, може введено залізником проміж операцій у технологічних процесах. Універсальність приладу дозволяє застосувати на заводах як одиничного, так і масового та серійного виробництва високоточних деталей.

Реалізація результатів роботи. Дослідно-промисловий пристрій ІЗЗН-1 пройшов випробування на АО НКМЗ і випроводжений у виробництво на НВП "ЕЛСПмаш". Річний економічний ефект від упрводження комплексу ІЗЗН-1 становить 415 тис. карбованців.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доведено і обговорено на науково-технічних конференціях: "Нові технологічні процеси в механічній обробці" (м. Одеса, 1992р.), "Прогресивні технологічні методи оодоблюваль-но-зміцнюючих, вібростабілізуючих та інших ресурсозберігаючих технологій" (м. Краматорськ, 1991р.), "Якість і надійність технологічних систем механообробки" (м. Краматорськ, 1991р.) та на засіданні секції вченої ради відділення засобів автоматики і приладів контролю НПО НІПТМаш (м. Краматорськ, 1991р.).

Публікації. За матеріалами дисертації одержано авторське свідоцтво на спосіб обробки нежорстких деталей і опубліковано 5 друкованих праць.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота обсягом 157 сторінок складається із вступу, п'яти розділів, основних вис-

новків та результатів роботи, викладених на 157 сторінках машинописного тексту, вміщує 56 малюнків, 11 таблиць, 86 найменувань літературних джерел, 6 додатків.

У вступі обгрунтовано актуальність теми, викладено дані про основних дослідників, про апробації роботи, практичну цінність і впровадження результатів роботи.

У першому розділі подано аналіз сучасного стану питання, на основі огляду вітчизняних і зарубіжних досліджень, по досягненню технологічних можливостей виготовлення деталей. Показано, що для великої групи деталей проблему їх короблення від зняття припуску не вирішено, тому що фізико-механічні процеси, що виникли при обробці, невраховано з технічними вимоги, щодо точності виготовлення деталей.

У цьому розділі визначено мету та завдання досліджень.

У другому розділі викладено загальну методику проведення досліджень. Наведено дані про обладнання, що використовується, засоби та методи вимірів залишкових напруг і дислокаційних процесів при обробці, а також застосованих матеріалів.

У третьому розділі виконано: теоретичні дослідження процесу короблення деталей при механічній обробці із застосуванням теорії теплопровідності та упругості, вплив імпульсів електричного струму на пластичну деформацію деталей і одержано аналітичної залежності, що дозволяє виконати розрахунки величини щільності струму від параметрів заготовки.

У четвертому розділі виконано експериментальні дослідження впливу імпульсів струму високої щільності на технологічні залишкові напруги із застосуванням тензометричного та рентгено-структурного аналізу. Виявляє безпосередній вплив на точність таких технологічних факторів, як припуск, що знімається, та дислокаційні процеси, що відбуваються в заготовці.

У п'ятому розділі подано дані про реалізацію методу елект-

роїмпульсного зняття (усунення) залишкових напруг прокатних влів в дослідженням і розробкою нового технологічного процесу, в якому використовується пристрій для електроімпульсного зняття залишкової напруги ІЗЗН-1. В цьому розділі представлено принципальну схему пристрою та алгоритм її роботи, а також розроблено рекомендації по оптимізації режимів обробки заготовок для забезпечення заданої точності обробки і зниження трудомісткості виготовлення деталей.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

Важке машинобудування характеризується унікальним устаткуванням та підвищеними вилігами до точності виготовлення деталей. В процесі виготовлення деталей не уникнути явищ короблення, причиною яких є нестабільність залишкових напруг у заготовках, рівень яких призводить до порушення точності обробки в ході всього технологічного процесу. Для зниження залишкових напруг у виробництві застосовують такі методи:

природне й штучне старіння, віброобробка, статичне й динамічне навантаження. Переячені методи використовуються до механічної обробки, або після чорного етапу, занадто трудомісткі і вимагають підвищення енерговитрат і додаткових ділянок для стабілізації залишкових напруг. Останнім часом знаходять своє застосування нетрадиційні методи стабілізації залишкових напруг такі як ультрозвукова обробка, електромагнітна, електромеханічна та інші. Ці методи враховують напругу стану заготовок і найбільш ефективні. Однак при їх дослідженні необхідно розглядати напружений стан заготовки по всьому технологічному циклу її прояву.

Заготовки деталей машин, виготовлених із сталі, чавуну та кольорових металів завжди мають внутрішні залишкові напруги, які можуть бути температурними, ущільненими, фазовими, від хімічної

неоднорідності матеріалу. Заготовки складної конфігурації мають залишкові напруги, зосереджені як по перерізу стінок, так і між окремими ділянками. Величини цих напруг такі, що їх загальна векторна сума дорівнює нулю: сума розтягнутих напруг дорівнює сумі зжимаючих напруг, тобто, система залишкових напруг, що є в заготовках у будь-який момент часу перебуває в рівноважному стані:

$$\sum \sigma_{in} = 0 \quad 1$$

де σ_i - сума залишкових внутрішніх напруг в i -тій стінці;
 n - кількість стінок у заготовці.

При порушенні цієї умови не виключається виникнення надмірної енергії, що здійснює роботу по приведенню системи решткових напруг у рівноважений стан. Робота, виконана невідновженими внутрішніми силами, обумовляється визначеним переміщенням системи. Надмірна енергія, спрямована на повернення системи решткових напруг до врівноваженого стану, перерозподіляється по всьому перерізу деталі.

Механічна обробка заготовок, пов'язана з усуненням припусків, порушує рівновагу решткових напруг, оскільки в усунених шарах металу мали місце внутрішні решткові напруги, які були пов'язані з напругами в обробленій частині деталі. Якщо припустити, що після усунення припуску на оброблену поверхню будь-яким способом внесено напругу, рівні за величиною, знаку напругам, що "уходить" з припуском, то після цього врівноваження решткової напруги буде поновлено й короблення деталі буде мінімальним. Відомо, що решткові напруги в заготовці можуть бути визначені за формулою:

$$\sigma_0 = \frac{8 E d^2 f}{3 l^2 e} \quad 2$$

При цьому співвідношення для прогину зразка набуває вигляду:

$$f = \frac{3}{8} \cdot \frac{\sigma_0 \cdot l^2 \Delta}{E h^2} \quad 3$$

- де σ_0 - напруги в центральній частині деталі, МПа;
 l - довжина деталі, м;
 Δ - величина усуваного слою, м;
 h - половина товщини деталі, м;
 E - модуль упругості матеріалу, Н/м²;
 f - величина прогину оброблюваної деталі.

З цього виразу видно, що стріла прогину оброблюваного виробу збільшується, пропорційно товщині знятого слою металу і викривлення виробу прямо пропорційно залишковим напругам і обернено пропорційно його жорсткості.

З практичної точки зору для розрахунків більш допустима формула Гінкула С.П. для прогину та решткових напруг.

$$f = \frac{3}{2} \cdot \frac{\kappa \Delta t \alpha e}{\lambda d_0 \cdot 10^3} \quad 4$$

$$\sigma_0 = \frac{4 E d_0 \cdot \kappa \Delta t \alpha}{\rho^2 \lambda \cdot 10^3} \quad 5$$

- де E - модуль пружності матеріалу;
 d_0 - половина товщини деталі;
 κ - коефіцієнт пропорційності;
 l - довжина деталі;
 λ - коефіцієнт теплопровідності;
 Δt - різниця температур;
 α - коефіцієнт тепловіддачі.

Загальновідомо, що деформація металічних матеріалів характеризується двома процесами, що відбуваються одночасно: зміцнення та знеміцнення (відпуску). Швидкість цих процесів та їх інтенсивність визначається наявністю енергії активації в матеріалі. Енергія активації інтенсифікує процес переміщення виходу на поверхню зерен та зародження нових дислокацій. Природа

цієї енергії може бути найрізноманітнішою. Особливий інтерес викликає той вид енергії, який, впливаючи на дислокаційну структуру матеріалу, не нагріває його. До таких видів енергії активації відноситься імпульсний електричний струм високої щільності. Передача енергії йде шляхом черенковського випромінювання, а з допомогою електричного струму можна збудити силу, що прискорює рушчні дислокації, від чого з'являється можливість керувати рухом дислокацій за допомогою немеханічних сил. Для практичного застосування зручна формула:

$$\sigma = 0,25 \mu S \cdot j \quad (6)$$

де μ - магнітна постійна;

S - площа поперечного перерізу заготовки;

j - щільність струму.

Прирівнюючи ліві частини рівняння (5) й (6) для визначення внутрішніх решткових напруг та виробивши математичні перетворення, одержуємо залежність, в якій можна віднайти оцінку щільності струму для кожної окремої заготовки, щоб стабілізувати в ній внутрішні решткові напруги:

$$j = \sqrt{\frac{4EK\Delta t\alpha d_0}{\lambda \rho^2 \mu \cdot S \cdot 0,25 \cdot 10}} = \sqrt{\frac{K \cdot d_0}{\rho^2 \cdot S}} \quad (7)$$

$$K = \frac{4EK\Delta t\alpha}{0,25 \cdot 10^3 \cdot \lambda \mu}$$

З наведеної залежності видно, що для забезпечення стабільності решткових напруг після механічної обробки необхідний вплив на деталь імпульсного струму з певною щільністю, що врахувала б фізику - механічний стан деталі та конструктивні параметри.

Експериментальні дослідження підтвердили доцільність використання даної методики призначення щільності імпульсного струму з урахуванням напруженого стану заготовки з метою підвищення точності обробки. рис 1, 2

Изменение плотности дислокаций по глубине валка.

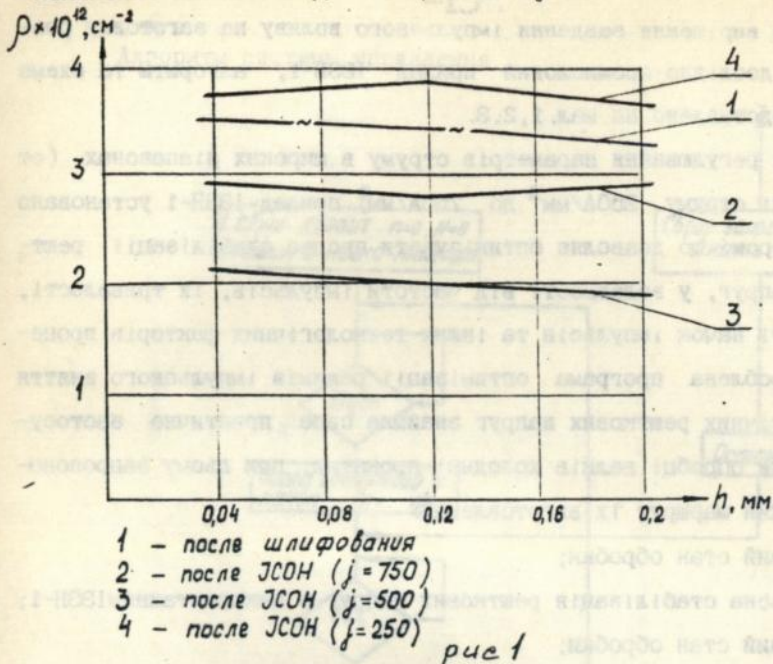


рис. 1

Влияние технологических условий точения валка на изменение плотности дислокаций на обработанной поверхности.

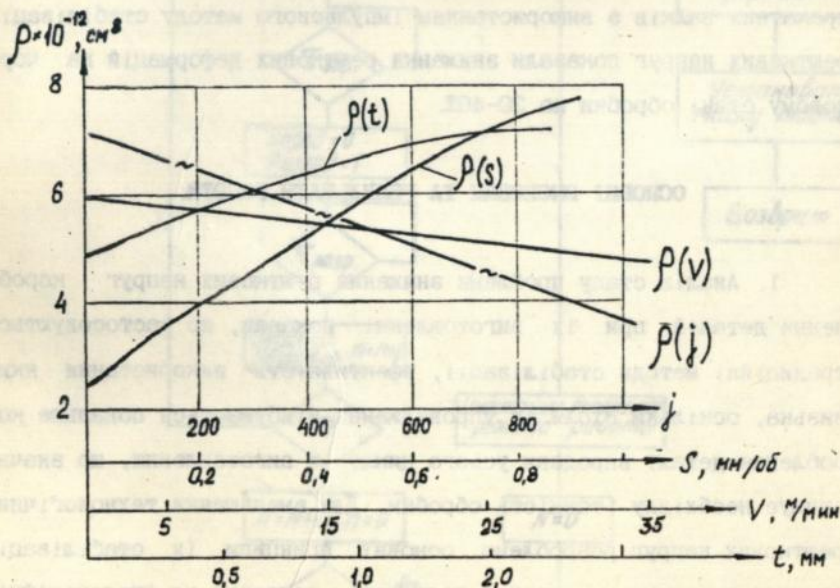


рис. 2

Для вирішення завдання імпульсного впливу на заготовку розроблена дослідно-промисловий прилад ІЗЗН-1, алгоритм та схема якої представлено на мал. 1, 2, 3.

Для регулювання параметрів струму в широких діапазонах (от щільності струму $250\text{A}/\text{мм}^2$ до $750\text{A}/\text{мм}^2$) прилад ІЗЗН-1 установано комп'ютером, що дозволяє оптимізувати процес стабілізації решткових напруг, у залежності від частоти імпульсів, їх тривалості, кількості пачок імпульсів та інших технологічних факторів процесу. Розроблена програма оптимізації режимів імпульсного зняття технологічних решткових напруг знайшла своє практичне застосування при обробці валків холодної прокатки, при цьому запропоновано такий маршрут їх виготовлення:

- чорновий стан обробки;
- імпульсна стабілізація решткових напруг з використанням ІЗЗН-1;
- чорновий стан обробки;
- оздоблюваний стан обробки.

Проведено дослідження фактичної точності виробу робочих прокатних валків з використанням імпульсного методу стабілізації решткових напруг показали зниження решткових деформацій на чорновому стані обробки на 30-40%.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

1. Аналіз стану проблеми зниження решткових напруг і короблення деталей при їх виготовленні показав, що застосовуються традиційні методи стабілізації, ефективність використання яких низька, оскільки після їх упровадження відбувається подальше короблення деталі впродовж усього циклу їх виготовлення, що значно знижує необхідну точність обробки. Для зменшення технологічних решткових напруг розроблено основні принципи їх стабілізації імпульсним струмом високої щільності, основані на дислокаційній

Алгоритм системы управления

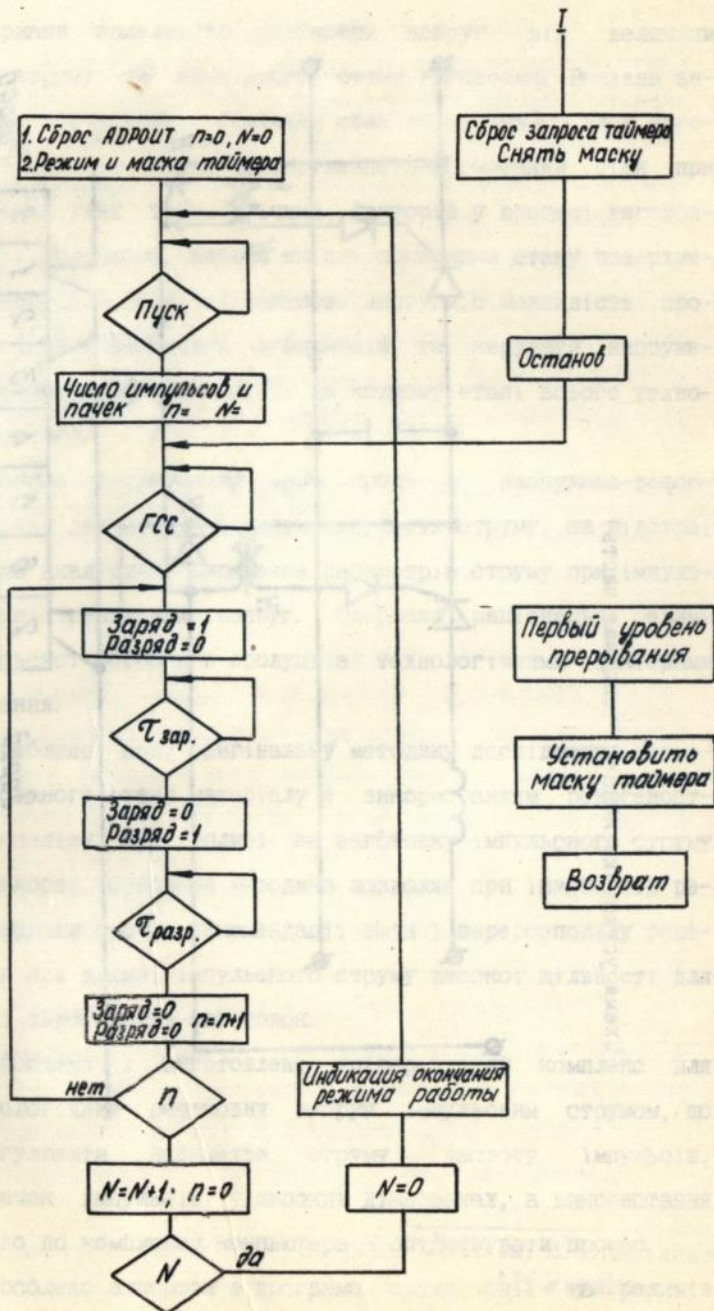


рис. 3

Схема установки ИСОН-1 (силовая часть)

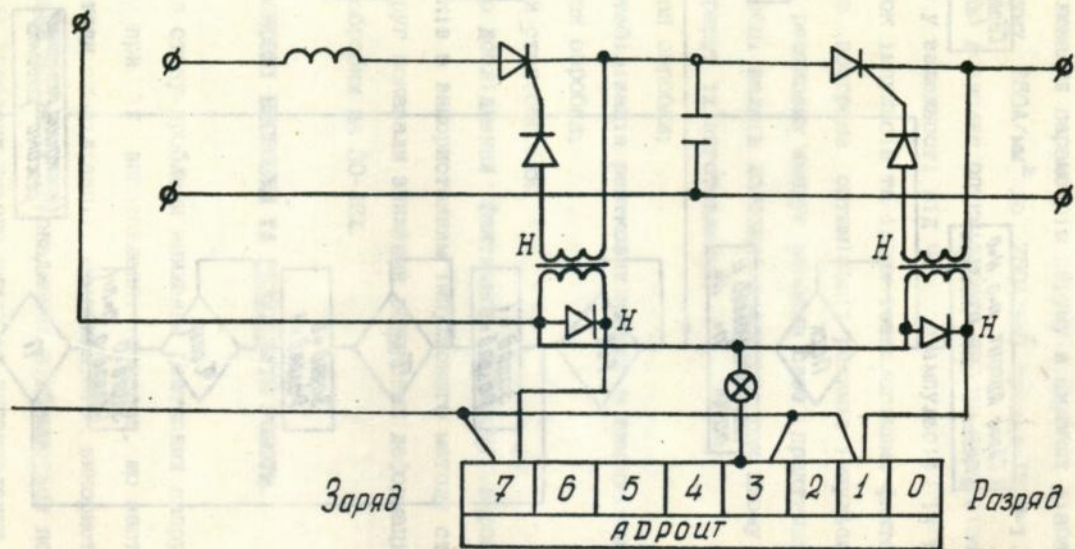


Рис. 4

теорії пластичної деформації, що мало підтверджено в теоретичних дослідженнях.

2. Одержана залежність решткових напруг від величини імпульсного струму та висхідного стану заготовки. Вказана залежність враховує фізику - хімічний стан поверхневого слою заготовки й дозволяє змінювати напружено-деформований стан при впливі різноманітних технологічних факторів у процесі виготовлення деталі. При цьому, знаючи якісні показники стану поверхневого слою заготовки, такі як решткові напруги, є можливість прогнозувати величину решткових деформацій та керувати напружено-деформованим станом заготовки на кожному етапі всього технологічного процесу.

3. Виконано теоретичний опис процесів напружено-деформаційного стану деталі під впливом імпульсів струму, на підставі чого одержано аналітичні вираження параметрів струму при імпульсному зниженні решткових напруг. Одержано раціональні режими електроімпульсної обробки в сполучі з технологічними факторами процесу різання.

4. Розроблено нову оригінальну методику дослідження напружено-деформованого стану матеріалу з використанням рентгеноструктурного аналізу при впливі на заготовку імпульсного струму високої щільності. Створена методика дозволяє при інженерній реалізації одержати насочні рекомендації змін і перерозподілу решткових напруг при впливі імпульсного струму високої щільності для промислового виробництва заготовок.

5. Розроблено і виготовлено універсальний комплекс для зняття технологічних решткових напруг імпульсним струмом, що дозволяє регулювати параметри струму (частоту імпульсів, кількість пачок імпульсів) у широких діапазонах, а використання припасованого до комплексу комп'ютера - оптимізувати процес.

6. Розроблено алгоритм і програма оптимізації та режимів

1163681

процесу імпульсного зняття напруг у технологічних процесах, що дозволяє керувати якістю роботи в ході всього технологічного процесу.

7. На підставі експериментальних досліджень розроблено практичні рекомендації по застосуванню методу імпульсного зняття решткових напруг робочих валків. Для одержання мінімальних решткових напруг обробку деталей слід проводити на таких режимах: Щільність струму 250-350А/мм², тривалість імпульсу - 10⁻³ - 10⁻⁴с (для заготовок, які пройшли нормалізацію).

8. Результати роботи знайшли практичне застосування. Дослідно-промисловий прилад для зняття решткових напруг імпульсним струмом високої щільності ІЗЗН-1 запроваджено у виробництво на НВП "СЛСІМаш" при виготовленні робочих валків прокатних станів, а також пройшла лабораторні випробування на ПО НКМЗ. При цьому підтверджено ефективність і економічна доцільність розробленого технологічного процесу обробки робочих валків. Економічний ефект від запровадження комплексу ІЗЗН-1 становить 415 тис. карбованців.

Основні положення і результати дисертаційної роботи висвітлено в таких публікаціях:

1. Гинкул С. П., Кобцева И. В. Снятие остаточных напряжений импульсами тока. Прогрессивные и технологические методы отделочно-упрочняющих, вибростабилизирующих и других ресурсосберегающих технологий. Теа. докл. - Краматорск, 1991г., 22-25 октября, с. 49

2. Гинкул С. П., Кухтик Т. В., Кобцева И. В. Влияние электрического поля на напряженное состояние материала. - В кн.: Качество и надежность технологических систем механообработки. Теа. докл. - Краматорск, 1991г., 20-24 мая, с. 90

3. Гинкул С. П., Кобцева И. В. К вопросу точности обработки деталей типа валов. Новые технологические процессы в механической обработке. Теа. докл. - Одесса, 1992г., 13-14 октября, с.

4. Гинкул С. П., Кобцева И. В. Стабилизация остаточных напряжений импульсами тока. В кн.: Сборник научных статей НПО НИИПТ-Маш. Краматорск, 1992г.