

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 12.105.02 Донбаської
державної машинобудівної академії
к. т. н., доц., Міранцову С. Л.
84313, м. Краматорськ, Донецька обл.,
вул. Академічна, 72

ВІДГУК

офіційного опонента Кобельника Володимира Романовича
на дисертаційну роботу Шаповалова Максима Валерійовича
«Зміцнення твердосплавного інструменту імпульсним магнітним
полем для обробки виробів важкого машинобудування»,
подану до захисту в спеціалізовану вчену раду Д 12.105.02
Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА)
Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та
інструменти

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасний стан промисловості України вимагає прискореного розвитку і переоснащення машинобудівних виробництв, що є базою та джерелом розвитку інших галузей, на основі впровадження прогресивних технологій, високопродуктивного обладнання. З розвитком промисловості посилюються вимоги до машин, підвищення точності та якості їх виготовлення, впровадження нових міцних матеріалів, які дають можливість досягнення підвищеного рівня експлуатаційних характеристик. Важливою задачею є вдосконалення інструментального забезпечення нових верстатів для високоточного продуктивного оброблення важкооброблюваних матеріалів за рахунок застосування новітніх методів зміцнення інструменту. Однією з перспективних технологій підвищення міцності, ресурсу й експлуатаційних властивостей металевих виробів для різних галузей техніки є обробка імпульсним електромагнітним полем (ОІМП).

Особливо актуальною ця задача є для твердосплавних різальних інструментів. Як відомо, тверді сплави мають, з одного боку, високу теплостійкість, що дозволяє різальним інструментам працювати при високих швидкостях різання. З іншого боку, тверді сплави мають низьку міцність на згин, що обмежує їх можливість працювати на попередніх, обдирних операціях, на яких на інструмент діє ударне навантаження, що утворилося з боку заготовки, яка виготовлена методами лиття або кування, абразивного пилю, нерівномірності припуску й інше. Таким чином, зміцнення

твердосплавного інструменту імпульсним магнітним полем є актуальним науково-технічним завданням.

1.2 Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше розроблено теоретичні засади підвищення ефективності оброблення деталей твердосплавним інструментом на важких верстатах за допомогою дії на них імпульсного магнітного поля. Встановлено, що головними параметрами, які керують зміцненням, є напруженість магнітного поля і частота імпульсів, які діють на різальні пластини.

2. Встановлено цільові функції, що дозволяють оптимізувати процес об'ємного зміцнення твердосплавного різального інструменту.

3. Вперше теоретично обумовлене і експериментально встановлено зниження коефіцієнта варіації стійкості твердосплавних збірних різців після оброблення імпульсним магнітним полем при обробленні деталей на важких верстатах.

4. Визначено режими різання і властивості інструментального матеріалу, які дозволяють ефективно застосовувати об'ємне зміцнення для досягнення найвищої продуктивності при найменших собівартості й інструментальних витратах.

1.3 Апробація роботи, оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень дисертаційної роботи

Основні питання дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних семінарах, міжнародних науково-технічних конференціях, науково-практичних конференціях, семінарах кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології».

Роботу виконано у відповідності з науковою роботою кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії «Підвищення якості та ефективності верстатного обладнання та різального інструменту для важкого машинобудування» (№0102U001664); «Розробка системи управління якістю роботи важких верстатів та інструментів» (№0104U004038); «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (№0107U001306); «Удосконалювання технологічного середовища для автоматизованого виробництва продукції важкого машинобудування» (№0105U002445); «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (0107U001306); «Розробка інформаційних технологій для систем адаптивного управління процесом механічної обробки деталей на важких верстатах» (0109U002669); «Оперативна оптимізація процесів різання для систем адаптивного управління важкими верстатами нового покоління» (0111U000884); «Розробка технологічних систем для екологічно ефективної обробки деталей

енергетики на базі адаптивних багатоцільових важких верстатів» (0113U000607); «Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих мехатронних верстатів інструментальних систем важкого машинобудування» (0114U002757); «Управління процесами механічної обробки деталей вітроенергетики з нових важкооброблюваних матеріалів на важких верстатах» (0115U003124); «Підвищення ефективності виготовлення виробів оборонного та енергетичного призначення шляхом створення високотехнологічних мехатронних верстатіінструментальних систем» (0117U001165).

Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії різання матеріалів, теорії проектування різальних інструментів, кваліметрії, теорій надійності, дослідження операцій, прийняття рішень, теорії ймовірності та математичної статистики.

Експериментальні дослідження базуються на теоріях регресійного та кореляційного аналізів, математичної статистики з використанням методик форсованих, прискорених, тривалих випробувань, моментних спостережень, інформаційного банку даних, евристичних методів. Робота виконувалася за допомогою сучасних засобів обчислювальної техніки.

Здобувачем самостійно сформульовані: наукова новизна роботи, напрямки її розробки і реалізації, проведені теоретичні і експериментальні дослідження. Автор брав участь у впровадженні розробок у виробництво. У дисертаційній роботі не використані наукові ідеї співробітників, що сприяли її виконанню. Постановка задач дослідження, формулювання основних положень роботи, опрацювання структури та змісту роботи виконані разом з науковим керівником.

За результатами досліджень опубліковано 35 наукових праць, у тому числі 1 монографія, 8 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у міжнародних науко-метричних базах, 1 стаття у закордонних виданнях, 6 статей у вітчизняних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних), 1 патент, 25 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

1.4 Практичне значення одержаних результатів роботи

1. Розроблено метод об'ємного зміцнення тврдосплавного різального інструменту, що дозволяє підвищити його період стійкості.

2. Доведено значне підвищення надійності (безвідмовності та довговічності) і зносостійкості тврдосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП.

3. Створено методику визначення оптимальної величини напруженості магнітного поля і частоти імпульсів у залежності від геометричних параметрів інструменту.

4. Оптимізовано режими різання для різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, за критеріями продуктивності оброблення, собівартості операції та інструментальними витратами.

5. Розроблено статистичну модель, яка дозволяє визначити продуктивність механооброблення у залежності від властивостей інструментального матеріалу і параметрів оброблення деталей на важких верстатах.

На підставі результатів досліджень цієї роботи розроблені та впроваджені у виробництво технологічний метод оброблення імпульсним магнітним полем різальних пластин з твердого сплаву, технологічні рекомендації щодо підвищення ефективності операцій оброблення великорозмірних деталей на важких токарних верстатах. Фактичний економічний ефект від впровадження результатів роботи на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» становить 78200 тис. грн.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень роботи на ПрАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» впроваджено технологію зміцнення та результати впливу режимів оброблення твёрдосплавного інструменту імпульсним магнітним полем (ОІМП) при механічному обробленні металевих виробів на важких верстатах, що підтверджується відповідним актом про впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються у навчальному процесі на кафедрі «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» ДДМА (м. Краматорськ)

2 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел – 162 найменувань (18 с.) і 3 додатка. Основний текст роботи містить 156 сторінок, 70 рисунків, 23 таблиці. Загальний обсяг роботи становить 222 сторінки.

У вступі розкрито суть і стан наукової задачі, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукові положення, які виносяться на захист, наведено дані щодо наукової новизни, обґрунтовано достовірність і показано практичну цінність отриманих наукових результатів, наведено дані про публікації й апробацію роботи.

У першому розділі здійснено аналіз сучасного стану проблеми вдосконалення інструментального забезпечення нових верстатів для високоточного продуктивного оброблення важкооброблюваних матеріалів. Проаналізовано умови оброблення великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування, методи визначення раціональних параметрів процесу різання на важких верстатах і застосування новітніх методів зміцнення інструменту.

Доведено, що аналіз різних методів підвищення фізико-механічних властивостей твёрдосплавних інструментальних матеріалів показав, що найкраще поєднання величини витрат і ефективності виробництва спостерігається при методі оброблення імпульсним магнітним полем.

Показано, що технологія зміцнення твердих сплавів розроблена недостатньо. Потребує вивчення методика визначення раціональних режимів оброблення імпульсним магнітним полем твердих сплавів і режими експлуатації зміцнених інструментів. Аналіз цих актуальних питань визначив мету роботи і задачі дослідження.

У другому розділі наведено методики досліджень стійкості твердосплавних різальних інструментів, які були оброблені імпульсним магнітним полем, за допомогою форсованих методів випробувань.

Випробування інструментів методом ступеневого збільшення подачі полягали у визначенні подачі, досягнення якої викликає руйнування різальної частини різця. Ці випробування показали зростання граничного значення подачі у 1,5–2,2 разу для інструментів після ОІМП.

Були проведені також випробування інструментів методом безперервного збільшення швидкості різання (метод торцевого точіння). Наведені графіки зміни відносного зношування K_δ від швидкості різання.

Доведено, що при більш високих швидкостях різання ефективність зміцнення значно нижче, а в деяких випадках навіть відсутня, коли коефіцієнт $K_\delta < 1$. Підвищення інтенсивності зношування незміцнених твердосплавних пластин при більш низьких швидкостях різання пов'язано з перевагою крихкого зношування. При підвищенні швидкості різання частка крихкого зносу зменшується, натомість зростає частка дифузійного й окисного видів зносу й інтенсивність зношування пластин після ОІМП зростає.

Розглянута методика оцінювання несучої здатності інструменту методом руйнувальної подачі. Методика встановлює організаційні й методичні принципи збирання й оброблення інформації про надійність різців в умовах експлуатації. Метою експериментальних досліджень було встановлення залежності руйнувальної подачі й імовірності руйнування інструмента від параметрів умов їх експлуатації. Зі збільшенням подач зростає ймовірність поломок різців, яка кількісно визначається як відношення кількості поломок до спостережуваних періодів стійкості. При деякій величині подач імовірність поломок буде дорівнювати 1,0, тобто всі різці будуть руйнуватися у перший же період стійкості. Результати форсованих випробувань дозволяють зробити важливий висновок про те, що ОІМП підвищує зносостійкість твердосплавного різального інструменту, що працює при попередньому обробленні на важких верстатах.

Розглянуто кінетику зношування твердосплавного різального інструменту після ОІМП. У результаті цих досліджень було виявлено, що при попередньому обробленні матеріалів твердосплавними різальними інструментами, які зміцнені ОІМП, відбувається багаторазове припрацювання інструменту з декількома ступенями уповільнення і прискорення процесу зношування, що обумовлює підвищення зносостійкості твердосплавних різальних інструментів, після ОІМП.

Встановлено, що існуюча концепція, згідно з якою після прискореного зношування починається стадія катастрофічного зношування з прогресивною

втратою ріжучих властивостей для твердосплавного інструменту, який зміцнений ОІМП, не завжди знаходить експериментальне підтвердження внаслідок можливих дефектів твердих сплавів. Для більшості різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, зносостійкість у процесі припрацювання підвищується.

У третьому розділі розглянуто вплив ОІМП на фізико-механічні фактори, що визначають різальну здатність твердих сплавів при попередньому обробленні виробів. Досліджувалося зміна міцності й абразивної зносостійкості твердих сплавів ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 з використанням методів моделювання.

Для оцінювання міцності різальної частини інструментів проводилися випробування зразків при консольному згині. Результати випробувань показали, що міцність матеріалу після ОІМП підвищилася в 1,12 разу, а при обробленні на індукторі №2 (з підвищеною потужністю) – 1,14–1,22 разу. Для зразків після ОІМП знизився також коефіцієнт варіації міцності в 1,2 разу. Аналогічні результати були отримані й при випробуванні під дією зосередженого навантаження на зразок, що лежить на двох опорах. Величина згинальної міцності збільшилася у 1,2 рази і у 2 рази знизився коефіцієнт варіації міцності.

Проведені дослідження зміни конструкційної міцності різальних пластин на триточкове згинання. Ефективне застосування ОІМП у заводській практиці стримується відсутністю даних щодо впливу цього оброблення, а також різних режимів ОІМП на зміни комплексу властивостей, що визначають експлуатаційні характеристики твердосплавної пластини. В умовах різання на важких верстатах, коли значна зона передньої поверхні знаходиться в умовах дії напружень розтягування, важливим показником працездатності є міцність в умовах розтягування або згинання.

Встановлено, що застосований спосіб модифікації твердого сплаву Т5К10 дозволяє підвищити його міцність на згинання пластини з цього сплаву на 16–27 % залежно від режиму оброблення. Встановлено, що після ОІМП зменшується розкид значень міцності на згинання. Можна припустити, що підвищення міцності твердого сплаву в результаті зміцнення ОІМП пов'язано із зменшенням напружень розтягу в кобальтовій фазі, що перешкоджає розвитку тріщин.

Наводяться результати дослідження впливу ОІМП на характеристики конструкційної міцності зразків, які виготовлені з напайних пластин. Особливо екстремальною з точки зору навантаження на різальні пластини є попереднє оброблення, яке відбувається із значними величинами глибин різання (15–20 мм) та подач (до 3 мм), а також супроводжується коливаннями фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. За таких надважких умов на ПрАТ «НКМЗ» використовуються напайні твердосплавні пластини.

Спільно з ІПМіц ім. Г. С. Писаренка була розроблена методика оцінювання конструкційної міцності напайних твердосплавних пластин і

встановлення її зв'язку з показниками, що можуть бути визначені при дослідженнях і в умовах виробництва сервісною службою підприємства.

Досліджено вплив ерозійного різання на характеристики міцності. Ерозійне різання створило по середині поверхні твердосплавної пластини грубі, однорідні дефекти, вплив яких на характеристики об'ємної міцності спричинив зменшення границі міцності при згинанні на 15–26 % як для зразків у вихідному стані (на 15 %), так і для зразків, оброблених імпульсним магнітним полем (на 26 %). Показано, що при відкиданні зразків, зруйнованих від значних технологічних дефектів, порівняння зразків до та після ОІМП показує підвищення однорідності сплаву та меншу рельєфність зламу.

Проведені випробування дозволили знайти оптимальні режими зміцнення і встановити частоту імпульсу, де буде мати місце найвищий ефект зміцнення.

Таким чином, результати випробувань дозволили встановити, що ОІМП дозволяє підвищити характеристики міцності матеріалу, а також однорідність і ступінь рівномірного розподілу дефектів за обсягом тіла.

У четвертому розділі представлені результати експлуатаційних виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів після ОІМП і їх вплив на підвищення ефективності процесу різання.

Проведені виробничі випробування твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, в умовах ПрАТ «НКМЗ».

Було випробувано вісім партій твердосплавних інструментів із загальною кількістю 550 штук. Отримані результати випробувань математично оброблялися. Для оцінювання статистичної значущості отриманих результатів розрахунків застосовувалися статистичні критерії: Колмогорова (для оцінювання параметрів закону розподілу), t – критерій Стюдента, Вілкоксона (для оцінювання середнього значення стійкості).

Проведені дослідження показали, що у межах діапазону розсіювання факторів, що впливають на зношування інструментів, домінуючими є головний кут у плані ϕ , головний задній кут α і допоміжний кут у плані ϕ_1 . Ці фактори і використовувалися у подальших дослідженнях, у яких треба знайти значення частоти імпульсів, при якій зносостійкість інструменту буде максимальною.

Для всіх партій значення частоти імпульсів змінювалося у межах від 3 до 12 Гц. За результатами випробувань (довірчий інтервал $\Delta v_k = \pm 4,624$ м/хв), видно, що залежність критичної швидкості різання від частоти імпульсів f може бути апроксимовано квадратичною функцією, тобто параболою другого порядку.

Результати випробувань показали, що для твердосплавних інструментів, які зміцнені ОІМП, середня зносостійкість інструментів підвищилася у 1,2–2,0 рази, а коефіцієнт варіації зносостійкості знизився у 1,3–3,1 рази, що підтверджує раніше отримані експериментальні результати. Більш істотно підвищилася гамма-процентна стійкість. Так, при ймовірності 0,9 це підвищення відбувається у 1,7–2,8 рази, що говорить про доцільність

використання цих інструментів на важких верстатах з ЧПК, коли довжина деталі потребує значного періоду стійкості.

Слід відзначити високу тісноту зв'язку між експериментальними і теоретичними даними, а також достатню узгодженість отриманих результатів з даними лабораторних (розділ 2; 3) і виробничих випробувань інструментів.

У п'ятому розділі оцінювалась ефективність оброблення металів різанням за цільовими функціями, що характеризує продуктивність Q , собівартість C й інструментальні витрати S у залежності від стійкості інструментів і режимів різання. У цих функціях враховувалося також вплив розсіювання стійкості інструментів.

Використовуючи результати виробничих випробувань, на основі принципів системного підходу було представлено взаємозв'язок параметрів механічного оброблення й ефективності виробничого процесу при використанні ОІМП.

Після оцінювання кореляційних відносин за допомогою повного факторного експерименту типу 2^4 , була визначена залежність продуктивності оброблення різцями, зміцненими ОІМП, від домінуючих чинників: напруженості магнітного поля H , границі міцності твердого сплаву σ_s , вмісту кобальту в твердому сплаві Co , частоти імпульсів f , яка має практичне застосування.

3 ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертаційна робота має всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень до конкретних рекомендацій, інженерних методик.

Стиль викладання і мова дисертаційної роботи відповідають вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій.

4 ЗАУВАЖЕННЯ ПО ДИСЕРТАЦІЇ ТА АВТОРЕФЕРАТУ

1. В роботі доцільно було б доцільно пояснити механізм впливу магнітного поля на експлуатаційні характеристики різального інструменту.

2. Бажано б було детальніше розглянути кінетику зношування різального інструменту та детальніше дати опис відмінностей зношування зміцненого різального інструменту.

3. В роботі економічно не обґрунтовано вибір доцільного рівня надійності зміцненого інструменту, а також відсутній механізм враховування коефіцієнту варіації стійкості інструменту при керуванні його надійністю.

4. При визначенні ефективності зміцнення інструменту бажано б пов'язати його з теоретичними законами розподілу його стійкості, параметри яких впливають на показники стабільності механооброблення.

5. Формулювання деяких пунктів наукової новизни не завжди містять

реалізацію наукової ідеї, а мають декларативний характер. Не всі висновки роботи містять кількісні характеристики.

6. В роботі є ряд термінологічних, граматичних помилок та недоліків оформлення.

Зазначені вище зауваження не знижують якості досліджень та не впливають на основні результати роботи.

5. ВІДПОВІДНІСТЬ ЗМІСТУ АВТОРЕФЕРАТУ ОСНОВНИМ ПОЛОЖЕННЯМ РОБОТИ

Автореферат має форму, яка встановлена вимогами ВАК України, розкриває сутність виконаної роботи, відображає загальний зміст та основні положення дисертації.

6. ЗАКЛЮЧНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Враховуючі вище зазначене, вважаю, що дисертаційна робота «Зміцнення твердосплавного інструменту імпульсним магнітним полем для обробки виробів важкого машинобудування» є завершеною науковою працею.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю та обсягом публікацій відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Шаповалов Максим Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, доцент
кафедри конструювання верстатів,
інструментів та машин
Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

В. Р. Кобельник

Підпис к.т.н. В.Р.Кобельника засвідчую:
Проректор з наукової роботи ТНТУ



Р.М.Рогатинський