

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Клочко Олександра Олександровича 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.**

Для виготовлення важких машин, конкурентоспроможних на світовому ринку, актуальною проблемою є підвищення показників міцності відповідних конструкційних матеріалів, працездатності та ресурсу великогабаритних деталей за рахунок застосування нових ефективних технологій, оснащення машинобудівних підприємств сучасним технологічним обладнанням і різальним інструментом з використанням результатів наукових досліджень і розробок. 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.

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 вигин, 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 пилу, нерівномірності припуску й інше. Тому дослідження цих питань має актуальне науково-технічне завдання.

Дана робота присвячена комплексній проблемі підвищення зміцнення твердосплавного інструменту імпульсним магнітним полем для обробки виробів важкого машинобудування, а також продуктивності процесу обробки в оптимальних виробничих умовах.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з науковою тематикою кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструменти та технології» Донбаської державної машинобудівної академії Дк-03-2001 «Підвищення якості та ефективності верстатного обладнання та різального інструменту для важкого машинобудування» (№0102U001664); Д-04-2004 «Розробка системи управління якістю роботи важких верстатів та інструментів» (№0104U004038); Д-06-07 «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (№0107U001306); Дк-08-04 «Удосконалювання технологічного середовища для автоматизованого виробництва продукції важкого машинобудування» (№0105U002445); Д-06-2007 «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (0107U001306); Д-05-2009 «Розробка інформаційних технологій для систем адаптивного управління процесом механічної обробки деталей на важких верстатах» (0109U002669); Д-03-2011 «Оперативна оптимізація процесів різання для систем адаптивного управління важкими верстатами нового покоління» (0111U000884); Д-03-2013 «Розробка технологічних систем для екологічно ефективної обробки деталей енергетики на базі адаптивних багатоцільових важких верстатів» (0113U000607); Дк-01-2014 «Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих мехатронних верстатів інструментальних систем важкого машинобудування» (0114U002757); Д-03-2015 «Управління процесами механічної обробки деталей вітроенергетики з нових важкооброблюваних матеріалів на важких верстатах» (0115U003124); Д-03-2017 «Підвищення ефективності виготовлення виробів оборонного та енергетичного призначення шляхом створення високотехнологічних мехатронних верстатострументальних систем» (0117U001165) де здобувач був виконавцем окремих розділів.

## **1.2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їхня достовірність.**

Наукова новизна отриманих в роботі результатів полягає у тому, що автором розроблені 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.

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

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

Визначено режими різання і властивості інструментального матеріалу, які дозволяють ефективно застосовувати об'ємне зміцнення для досягнення

найвищої продуктивності при найменших собівартості й інструментальних витратах.

Сформульовані в дисертаційній роботі висновки, наукові положення та рекомендації обґрунтовані. Вони базуються на відомих фундаментальних наукових положеннях теорії технології машинобудування, різання металів, моделювання, ймовірності та математичної статистики. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням розробленого сучасного програмного забезпечення у пакеті моделювання. Достовірність результатів, отриманих в роботі підтверджено експериментальними дослідженнями. Результати роботи в повній мірі викладено в опублікованих автором працях.

### **1.3. Практичне значення результатів роботи.**

Практична цінність дисертаційних досліджень полягає:

- в розробці метода об'ємного зміцнення твердосплавного різального інструменту, що дозволяє підвищити його період стійкості;
- в створенні методики визначення оптимальної величини напруженості магнітного поля і частоти імпульсів у залежності від геометричних параметрів інструменту;
- в оптимізації режимів різання для різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, за критеріями продуктивності оброблення, собівартості операції та інструментальними витратами;
- в розробці статистичної моделі, яка дозволяє визначити продуктивність механооброблення у залежності від властивостей інструментального матеріалу і параметрів оброблення деталей на важких верстатах;

На підставі результатів досліджень 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.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень роботи на ПрАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» впроваджено технологію зміцнення та результати впливу режимів оброблення твердосплавного 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. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Дисертаційна робота складається із вступу, 5 основних розділів, загальних висновків, бібліографічного списку, додатків.

У вступі автор обґрунтовано доводить актуальність теми дисертаційної роботи, визначає мету та задачі дослідження, теоретичну та практичну цінність одержаних результатів досліджень, рівень їх реалізації та впровадження наукових розробок.

У першому розділі проведено аналіз особливостей умови роботи різальних інструментів на підприємствах важкого машинобудування.

Статистичні дослідження довели, що при обробленні на важких верстатах сила різання, що допускається механізмами верстата, крутний момент, не є обмеженнями на режими різання. Максимальні значення сил до 10 раз перевищують їх середнє значення, за якими звичайно здійснюють розрахунки конструктивних параметрів різальних інструментів.

Істотним обмеженням на режими різання при обробленні на важких верстатах існуючих конструкцій є маса деталі, що не дозволяє у ряді випадків збільшувати частоту обертання. З підвищенням навантаження на інструмент збільшується коефіцієнт варіації періоду стійкості, що призводить до розширення діапазону його розсіювання. Поряд із середньою стійкістю інструмента одним з найважливіших показників надійності є стійкість із заданою імовірністю або гамма-відсоткова стійкість, яка визначається залежно від характеру розподілу періоду стійкості. Цей показник надійності має особливе значення при обробленні деталей на важких верстатах з ЧПК.

Дослідження умов експлуатації різальних інструментів при обробленні деталей на важких верстатах показує, що поряд зі зношуванням значне місце має руйнування різальної частини у вигляді викрашувань і руйнувань.

Існує комплекс проблем технологічних, конструкторських і експлуатаційних, які в сукупності пред'являють вимоги до властивостей і характеристик різальних інструментів. Відмови, у тому числі непередбачені, пов'язані з випадковими коливаннями фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу особливо при чорновому точінні за наявності корки.

На працездатність різального інструменту також впливають розсіювання фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу, його дефектність у вигляді агломератів зерен карбідів і пор, що призводить до нестабільності межі міцності при згинанні й твердості інструментальних твердих сплавів.

Виникає проблема, яка пов'язана з оптимізацією технологій матеріалів і елементів для екстремальних умов за критеріями міцності та працездатності. Напрямами у розв'язанні проблеми подовження ресурсу інструментів для важкого машинобудування є забезпечення поверхневої та об'ємної міцності з підвищенням фізико-механічних властивостей твердосплавних інструментальних матеріалів.

Одним з перспективних методів фінішних полірувально-зміцнювального оброблення інструменту є метод магнітно-абразивного оброблення, реалізований в умовах великих робочих щілин, коли забезпечується комплексний вплив на оброблювану поверхню і поверхневий шар деталей. Аналіз умов взаємодії магнітно-абразивного оброблення в

умовах великих магнітних щілин – це насамперед оброблення при активній фрикційно-ударній взаємодії оброблюваної поверхні з магнітно-абразивним інструментом.

Також автором проаналізовано сучасний стан теорії оброблюваної поверхні з магнітно-абразивним інструментом, що формується у процесі оброблення та умовно таку взаємодію розділяють на два процеси: ударний, аналогічний взаємодії при використанні струминних методів оброблення та фрикційний, аналогічний взаємодії при терті шорсткуватих поверхонь.

**У другому розділі** розроблено методику дослідження впливу оброблення імпульсним магнітним полем на міцність і зносостійкість твердосплавних різальних інструментів

Для попередньої оцінки впливу оброблення імпульсним магнітним полем на стійкість твердосплавних різальних інструментів проводилися їх форсовані випробування, які дозволяють скоротити час випробувань, витрат інструментального і оброблюваного матеріалу.

Метод ступеневої збільшення режимів різання (подачі і швидкості різання) дозволяє реалізувати принцип екстраполяції по навантаженню, тобто поступового збільшення навантаження по міцності і швидкості зношування інструментального матеріалу. Випробування інструментів методом ступеневого збільшення подачі полягали у визначенні подачі, досягнення якої викликає руйнування різальної частини різця. Проведені випробування інструментів методом безперервного збільшення швидкості різання (метод торцевого точіння).

Розглянута методика оцінювання несучої здатності інструменту методом руйнуючої подачі. Методика встановлює організаційні й методичні принципи збору й обробки інформації про надійність різців в умовах експлуатації. Метою експериментальних досліджень було встановлення залежностей руйнуючої подачі й імовірності руйнування інструмента від параметрів умов їх експлуатації. Також розглянута кінетика зношування твердосплавного різального інструменту після оброблення імпульсним магнітним полем.

Представлена порівняльна методика оперативного оцінювання ефективності модифікації різальних пластин з визначення опору руйнуванню і зношуванню при контактному навантаженні.

**У третьому розділі дисертації** автор досліджує вплив оброблення імпульсним магнітним полем на фізико-механічні фактори, що визначають різальну здатність твердих сплавів при попередньому обробленні виробів. Досліджувалася зміна міцності і абразивної зносостійкості твердих сплавів ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 з використанням методів моделювання.

Для оцінювання міцності різальної частини інструментів проводилися випробування зразків при консольному вигині та під дією зосередженого навантаження на зразок, що лежить на двох опорах. Проведені також дослідження зміни конструкційної міцності різальних пластин на трьохточковий згин.

Проведені дослідження впливу оброблення імпульсним магнітним полем 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 та подач, а також супроводжується коливаннями фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Розроблена методика оцінювання конструкційної міцності напайних твердосплавних пластин та встановлення її зв'язку з показниками, що можуть бути визначені при дослідженнях та в умовах виробництва сервісною службою підприємства. Для дослідження міцності напайних пластин з них було виготовлено зразки шляхом розрізання вздовж пластини, що дозволило задовольнити вимозі щодо зменшення зусилля навантаження, виявлення впливу дефектності на характеристики міцності, а також отримати данні про міцність та дефектність різних частин пластини. Досліджено вплив ерозійної різки на характеристики міцності.

Автором розроблена функціональна схема процесу контролю міцності та якості різальної поверхні лезвійного твердосплавного інструменту, який дозволяє шляхом випробування реальних елементів інструменту, у тому числі напайних та змінних пластин враховувати вплив визначальних технологічних, конструкційних, експлуатаційних та масштабного факторів.

**У четвертому розділі** автор досліджує експлуатаційні виробничі випробування твердосплавних різальних інструментів, після оброблення імпульсним магнітним полем та їх вплив на підвищення ефективності процесу різання» представлені результати експлуатаційних виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів після оброблення імпульсним магнітним полем та їх вплив на підвищення ефективності процесу різання.

Важливим засобом підвищення ефективності випробувань і розширення обсягу одержуваної інформації є проведення випробувань різальних інструментів у виробничих умовах на конкретній технологічній операції. Проведені виробничі випробування твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені обробленням імпульсним магнітним полем, в умовах ПрАТ НКМЗ. Для дослідження впливу геометричних параметрів різців на ефективність зміцнення оцінювання працездатності проводилося за зносом задньої поверхні інструменту.

Відзначено високу тісноту зв'язку між експериментальними і теоретичними даними, а також достатню узгодженість отриманих результатів з даними лабораторних і виробничих випробувань інструментів.

**У п'ятому розділі розроблені** моделі оцінювання ефективності оброблення металів різанням за цільовими функціями, що характеризує продуктивність, собівартість і інструментальні витрати в 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 і ефективності виробничого процесу при використанні оброблення імпульсним магнітним полем.

Визначена залежність продуктивності оброблення різцями, зміцнених оброблених імпульсним магнітним полем, від домінуючих чинників: напруженості магнітного поля, межі міцності твердого сплаву, вмісту кобальту в твердому сплаві, частоти імпульсів, яка має практичне застосування.

Результати експериментальних досліджень підтверджують теоретичні передумови механічних методів обробки, встановлено, що використання оброблення імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню оптимальної стійкості в 1,4–2 рази, для інструментів, які працюють в умовах важкого різання, використання оброблення імпульсним магнітним полем сприяє підвищенню оптимальної подачі в 1,15–1,3 разу.

### **3. ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ**

Основні результати дисертації опубліковано у 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.

Теоретичні положення і практичні результати нові і взаємопов'язані та отримані на основі аналізу, описані в роботі проблеми та задачі вирішені автором. Результати роботи свідчать про суттєвий вклад здобувача в науку. В роботі досягнуто поставлену мету досліджень, розроблено нові підходи та положення в розробці метода об'ємного зміцнення твердосплавного різального інструменту, що дозволяє підвищити його період стійкості, доведено значне підвищення надійності (безвідмовності та довговічності) і зносостійкості твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені оброблення імпульсним магнітним полем.

Оптимізовано режими різання для різальних інструментів, які зміцнені оброблення імпульсним магнітним полем, за критеріями продуктивності оброблення, собівартості операції та інструментальними витратам

Здобувач здійснив наукове обґрунтування розробок у галузі машинобудування, що забезпечує вирішення важливої прикладної задачі – підвищення ефективності оброблення деталей на важких верстатах шляхом зміцнення твердосплавного різального інструменту імпульсним магнітним полем.

### **4. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**1. В розділі 1, п.1.1 досліджується** підвищення навантаження на інструмент з збільшенням коефіцієнта варіації періоду стійкості, що призводить до розширення діапазону його розсіювання. Поряд із середньою стійкістю інструмента одним з найважливіших показників надійності є стійкість із заданою імовірністю або гамма-відсоткова стійкість, яка

визначається залежно від характеру розподілу періоду при обробленні деталей на важких верстатах з ЧПК. Дослідження умов експлуатації різальних інструментів при обробленні деталей на важких верстатах показує, що поряд зі зношуванням значне місце має руйнування різальної частини у вигляді викрашувань і руйнувань, проте не доводиться вплив залежності схем закріплення твердосплавних пластин (тангенціальних та традиційних) на стійкість інструмента.

**2. В розділі 2 п.2.1 наводяться** залежності випробувань інструментів, які зміцнені оброблення імпульсним магнітним полем, методом ступінчасто-збільшувальної подач при обробці деталей з сталі 45. Чи можливо кореляційно зв'язати основні показники режимів різання та граничних значень подач при обробці деталей з сталей 40ХН, 34ЗМН, 38ХМЮА з визначення опору руйнуванню та зношуванню при контактному навантаженні

**3. В розділі 3 п.3.1.** досліджуються навантаження, які внаслідок недостатньої міцності твердого сплаву призводять до руйнування різального клину інструмента, з використанням формули Вейбулла та визначають ймовірність крихкого руйнування матеріалу при напруженнях, але не зрозуміло яким чином ураховуються частотні характеристики процесу різання.

**4. В розділі 4. рис 4.1–4.6** наводиться аналіз графіків ймовірності безвідмовної роботи, щільності розподілу відмов й інтенсивності відмов, який показує збільшення зносостійкості інструментів, які зміцнені ОІМП, відповідної найбільшій щільності розподілу стійкості, збільшення ймовірності безвідмовної роботи інструментів, які зміцнені ОІМП, при заданій зносостійкості, відсутність зони приробки інструментів, які зміцнені ОІМП, але не зрозуміло, чи впливають на безвідмовну роботу, щільність розподілу відмов й інтенсивність відмов радіус округлення леза різальної пластинки.

**5. В розділі 5 п. 5.1 розглядається питання** які впливають на параметри функціонування системи під час механооброблення деталей, у тому разі фактори, які характеризують властивості інструментального матеріалу твердість НРС, зносостійкість, червоностійкість. Мабуть при обробленні інструментом з твердого сплаву, не зовсім коректно застосовувати червоностійкість.

Вказані вище недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## **5. ВИСНОВОК ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ**

Дисертація відповідає спеціальності 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти, написана і оформлена згідно з вимогами, які пред'являються до дисертаційних робіт. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.



## 6. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ І ЇЇ ЗАВЕРШЕНСТІ

Дисертаційна робота Шаповалова М.В. є завершеною науковою працею, що характеризується актуальністю, науковою новизною, практичним значенням одержаних результатів, наукових і теоретичних положень та практичних результатів. Дисертація містить науково обґрунтовані положення, що підтверджені експериментально і забезпечують розв'язання значної наукової та прикладної проблеми машинобудування – підвищення ефективності оброблення деталей на важких верстатах шляхом зміцнення твёрдосплавного різального інструменту імпульсним магнітним полем, зниження собівартості та витрат інструментальних матеріалів, підвищення надійності інструменту.

Дисертаційна робота «Зміцнення твёрдосплавного інструменту імпульсним магнітним полем для обробки виробів важкого машинобудування» відповідає 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, доктор технічних наук, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»



Клочко О.О.



Підпис	<u>Клочко О.О.</u>
ЗАСВІДЧУЮ:	
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР	
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ	
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"	
	
Заковоротний О.Ю.	
15	09
20 19 р.	