

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

ШАПОВАЛОВ МАКСИМ ВАЛЕРІЙОВИЧ



УДК 621.91.01

**ЗМІЦНЕННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ
ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ
ВИРОБІВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Краматорськ 2019

Дисертацією є рукопис.

Дисертація виконана на кафедрі «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

Науковий консультант

доктор технічних наук, доцент

Васильченко Яна Василівна,

Донбаська державна машинобудівна академія,
м. Краматорськ,

завідувач кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів і технологій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Клочко Олександр Олександрович,

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів;

кандидат технічних наук, доцент

Кобельник Володимир Романович,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин.

Захист відбудеться 7 травня 2019 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02 Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: м. Краматорськ, проспект Машинобудівників, 37, корпус №3, ауд. №3308.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: м. Краматорськ, вулиця Академічна, 72, корпус №1 або web-адресою: <http://dgma.donetsk.ua/spetsializovana-vchena-rada-d12.105.02.html>

Автореферат розісланий 5 квітня 2019 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02

кандидат технічних наук, доцент



С.Л. Міранцов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Виробництво важкого металургійного, енергетичного, транспортного обладнання є основою машинобудування України та важливою складовою частиною її експорту. 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 пилю, нерівномірності припуску й інше. Тому дослідження цих питань має актуальне науково-технічне завдання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана 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 верстатів інструментальних систем» (0117U001165).

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності оброблення деталей на важких верстатах шляхом зміцнення тврдосплавного різального інструменту імпульсним магнітним полем (ОІМП).

Під ефективністю оброблення деталей розуміється підвищення її продуктивності, зниження собівартості та витрат інструментальних матеріалів, підвищення надійності інструменту.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі **основні задачі**:

- проаналізувати умови роботи різальних інструментів на підприємствах важкого машинобудування;

- дослідити зносостійкість тврдосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, за допомогою форсованих методів випробувань і моделювання процесу різання;

- встановити механізм зміни властивостей тврдого сплаву під дією оброблення імпульсним магнітним полем; виділити основні фактори, що впливають на зміну зносостійкості тврдого сплаву під дією оброблення імпульсним магнітним полем;

- дослідити вплив оброблення імпульсним магнітним полем на працездатність тврдосплавних різальних інструментів у виробничих умовах;

- встановити вплив зміцнення на продуктивність, собівартість операції та інструментальні витрати;

- впровадити результати досліджень на підприємствах важкого машинобудування, дослідити взаємозв'язок параметрів ОІМП і параметрів процесу механічного оброблення деталей на ефективність виробництва.

Об'єкт дослідження – процес оброблення деталей на важких верстатах різальними інструментами, які зміцнені обробкою імпульсним магнітним полем. –

Предмет дослідження – параметри процесу зміцнення та роботи тврдосплавного різального інструменту на важких верстатах.

Методи досліджень. Методологічною основою роботи є комплексний підхід до вивчення процесу оброблення деталей на важких верстатах, їх умов і особливостей, закономірностей процесів.

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.

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.

Практичне значення одержаних результатів

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

2. Доведено значне підвищення надійності (безвідмовності та довговічності) і зносостійкості твердосплавних 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.

Реалізація результатів роботи. 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 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)

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати отримані здобувачем самостійно. Здобувач здійснив наукове обґрунтування розробок у галузі машинобудування, що забезпечує вирішення важливої прикладної задачі – підвищення ефективності оброблення деталей на важких верстатах шляхом зміцнення тврдосплавного різального інструменту імпульсним магнітним полем.

Постановка задач і аналіз наукових результатів виконані разом з науковим керівником і частково зі співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на понад 20 наукових конференціях і семінарах, у тому числі на міжнародних: X Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Суми, 2010 р.), IX Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». (м. Краматорськ, 2011 р.), XII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Київ, 2012 р.), XI Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2013 р.), XIV Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Суми, 2014 р.), XII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2014 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2015 р.), XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2016 р.), VI Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні» (м. Львів, 2017 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування» (м. Тернопіль, 2017 р.), XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Чернігів, 2017 р.), XV Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». (м. Краматорськ, 2017 р.), VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2018 р.), XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Краматорськ, 2018 р.), XVIII Міжнародній науково-технічній конференції «Инженерия поверхности и реновация изделий» (м. Свалява, Закарпатська обл. – Київ: АТМ України, 2018); XVIII Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Краматорськ, 2018 р.).

Публікації. 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.

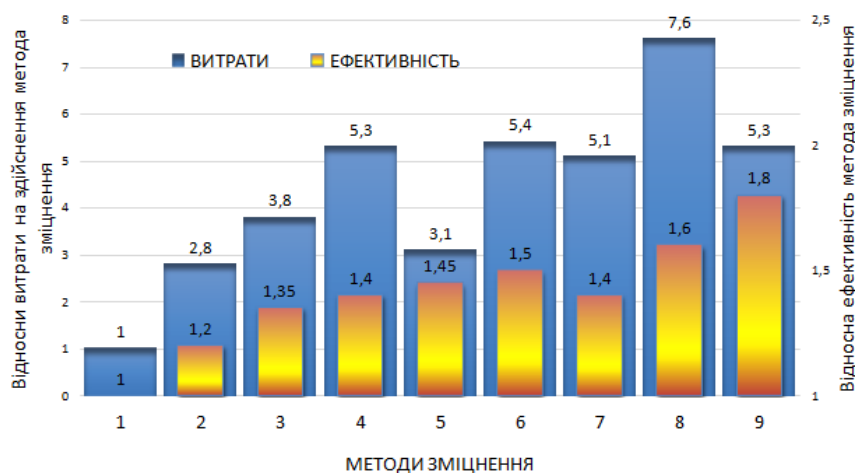
Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел – 162 найменувань (18 с.) і 3 додатка. Містить 156 сторінок, в тому числі 70 рисунків, 23 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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. У цьому напрямку виконували роботи В. С. Антонюк, Я. В. Васильченко, Г. П. Клименко, С. А. Клименко, О. О. Клочко, В. Д. Ковальов, В. С. Майборода, Є. В. Мироненко, Н. С. Равська, Ю. М. Родічев, О. Б. Сорока та ін.

Аналіз різних методів підвищення фізико-механічних властивостей твердосплавних інструментальних матеріалів показав, що найкраще поєднання величини витрат і ефективності виробництва спостерігається при методі оброблення імпульсним магнітним полем (рис. 1).



1 – конструктивні методи; 2 – зміцнення механічним наклепом; 3 – нанесення зносостійких покриттів; 4 – імпульсне лазерне оброблення; 5 – плазменно-дугове зміцнення; 6 – радіаційне зміцнення; 7 – іонне легування; 8 – поверхневе лазерне зміцнення; 9 – оброблення імпульсним магнітним полем.

Рис. 1. Залежність витрат і ефективності виробництва від методів зміцнення різальних інструментів з твердого сплаву ВК6

Висока ефективність пояснюється об'ємним характером зміцнення. ОІМП успішно використовується для підвищення стійкості інструменту зі швидкорізальної сталі (роботи під керівництвом С. М. Постнікова, Ю. О. Бородкіна, М. Т. Галея, М. І. Зінов'єва) і твердих сплавів (роботи ДДМА, ІПМіц ім. Г. С. Писаренка, ІНМ ім. В. М. Бакуля). Але 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.

Метод ступеневого збільшення режимів різання (подачі та швидкості різання) дозволяє реалізувати принцип екстраполяції за навантаженням, тобто поступового збільшення навантаження міцності та швидкості зношування інструментального матеріалу. При проведенні експериментів була прийнята довірна ймовірність $P = 0,9$, що дозволило розрахувати мінімальну кількість дослідів $n = 7$.

Випробування інструментів методом ступеневого збільшення швидкості різання полягали у визначенні швидкості різання, при якій зношування досягало нормативного критерію затуплення. На рис. 2 показані графіки залежності швидкості зношування інструменту V_u від швидкості різання V . Встановлено, що при більш низьких швидкостях різання швидкості зношування для інструментів після зміцнення ОІМП нижче у 2–2,3 разу у порівнянні з незміцненими інструментами. При подальшому підвищенні швидкості різання швидкість зношування збільшується.

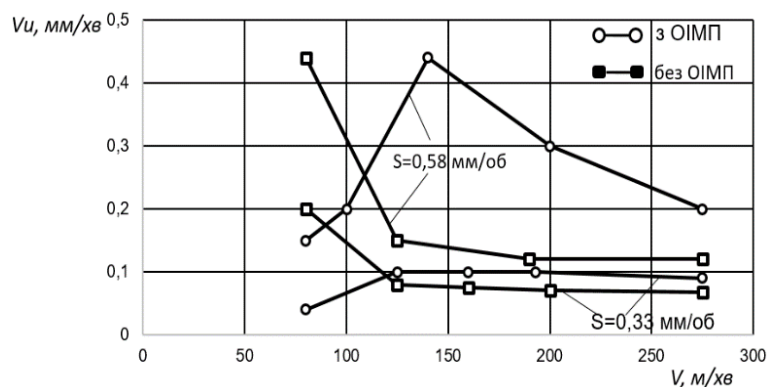


Рис. 2. Вплив швидкості різання на швидкість зношування інструменту з твердого сплаву Т5К10 при подачі S

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). На рисунках 3–6 наведені

графіки зміни відносного зношування K_δ від швидкості різання. Відносне зношування визначається як відношення зношування незміцнених різців $\delta_{вих}$ до зношування різців, які зміцнені ОІМП $\delta_{ОІМП}$, при певній швидкості різання:

$$K_\delta = \frac{\delta_{вих}}{\delta_{ОІМП}}. \quad (1)$$

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.

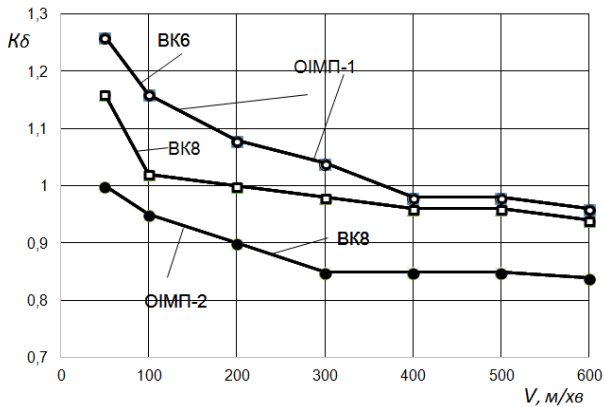


Рис. 3. Вплив швидкості різання на відносне зношування однокарбідних твердосплавних пластин, які зміцнені ОІМП, при різних видах оброблення

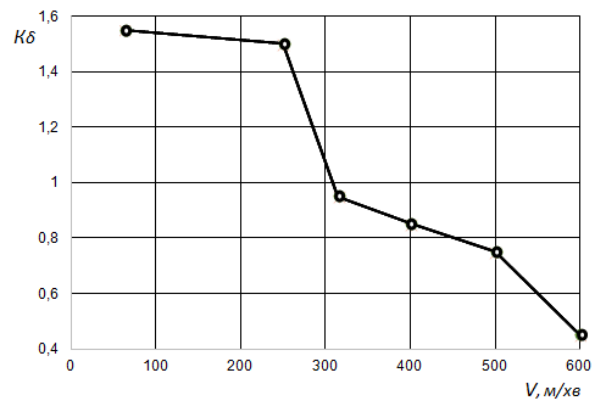


Рис. 4. Вплив швидкості різання на відносне зношування трикарбідного твердого сплаву ТТ20К9, який зміцнений ОІМП

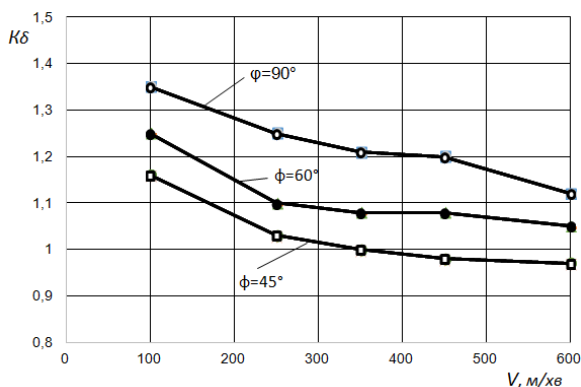


Рис. 5. Вплив швидкості різання на відносне зношення твердосплавних пластин Т5К10, які зміцнені ОІМП, у залежності від головного кута у плані φ

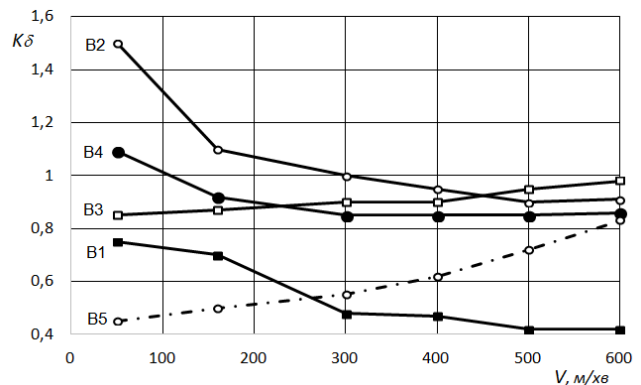
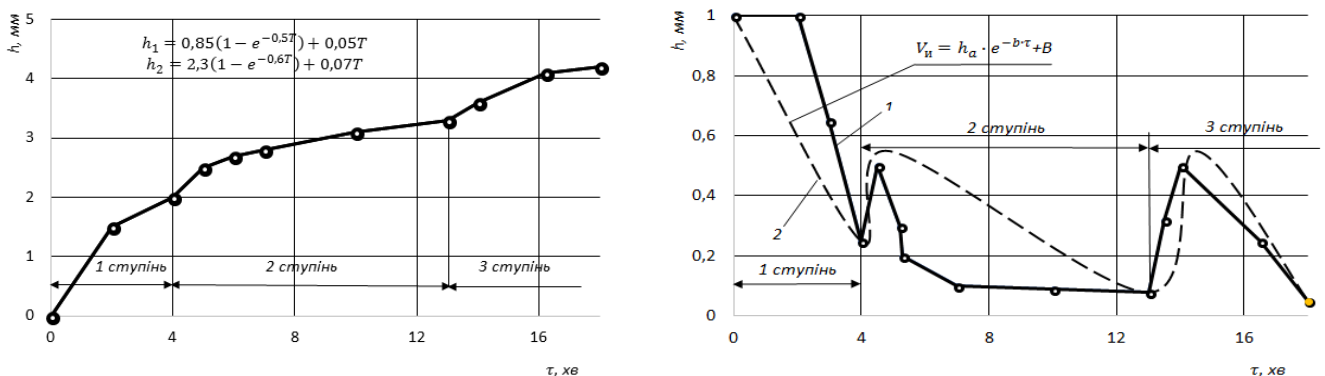


Рис. 6. Вплив режимів зміцнення на відносне зношення зміцнених твердосплавних пластин Т5К10 (головний кут у плані $\varphi = 90^\circ$) при різних режимах оброблення: 1 – В1, 2 – В2, 3 – В3, 4 – В4, 5 – В5

Розглянута методика оцінювання несівної здатності інструменту методом руйнівальної подачі. Методика встановлює організаційні й методичні принципи збирання й оброблення інформації про надійність різців в умовах експлуатації. Метою експериментальних досліджень було встановлення залежності руйнівальної 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.

Також у цьому розділі 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 багаторазова прироботка інструменту з декількома ступенями уповільнення і прискорення процесу зношування, що обумовлює підвищення зносостійкості твердосплавних різальних інструментів, після ОІМП (рис. 7, а).



а – характер зношування інструменту; б – зміна швидкості зношування інструменту:

- 1 – експериментальна крива; 2 – теоретична крива (T – період стійкості інструменту; τ – час роботи інструменту; h_a – прироботочне зношування; B – стала швидкість зношування; b – показник швидкості прироботки, який залежить від умов різання, матеріалу інструмента, деталі, параметрів технологічної системи)

Рис. 7. Уповільнення і прискорення процесу зношування інструменту після ОІМП

Як видно на рисунку 7, б, де показаний характер зміни швидкості зношування, на першому ступені швидкість зношування падає до певної стабілізації процесу, а в подальшому різко зростає, і на другому ступені знову відбувається падіння до стабілізації. Встановлено, концепція, що існує, 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 прироботки підвищується.

У третьому розділі було 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 вигинанні. Результати випробувань (рис. 8) 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 (рис. 9) були отримані й при випробуванні під дією зосередженого навантаження на зразок, що лежить на двох опорах. Величина згинальної міцності збільшилася у 1,2 разу і у 2 рази знизився коефіцієнт варіації міцності.

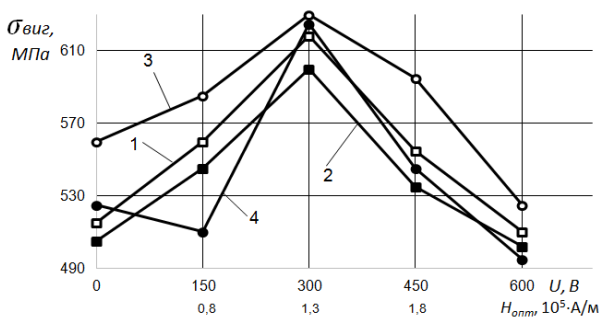


Рис. 8. Залежність міцності на консольне згинання після ОІМП на індукторі №2:

1 – Т5К10; 2 – Т15К6; 3 – ВК8; 4 – ВК6

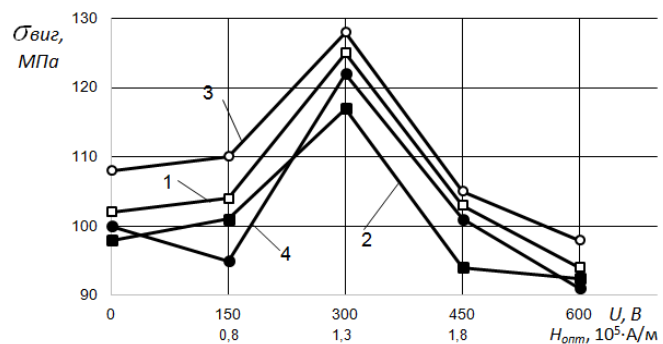


Рис. 9. Залежність міцності на вигинання при дії зосередженого навантаження:

1 – Т5К10; 2 – Т15К6; 3 – ВК8; 4 – ВК6

Найкращі результати отримані на індукторі № 2 при режимі В2, коли міцність підвищилася в 1,2 разу, а показник однорідності властивостей матеріалу – у 4,3 разу.

Були проведені також дослідження зміни конструкційної міцності різальних пластин на триточкове згинання (табл. 1). 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.

Таблиця 1 – Конструкційна міцність на поперечне згинання різальних пластин із сплаву Т5К10

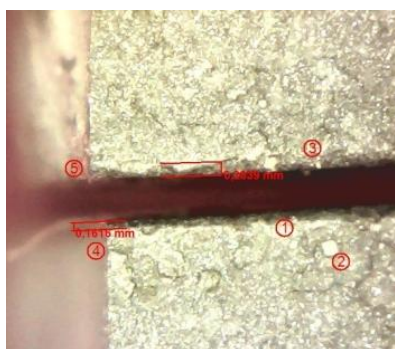
Стан пластин	Границя міцності на згинання $\sigma_{зг пл}$, МПа	Розкид $\sigma_{зг мин} / \sigma_{зг макс}$, МПа	Відношення $\sigma_{зг пл} / \sigma_{зг зр}$	Ступінь зміцнення, %
Вихідний	892	711/1046	0,5–0,75	–
Зміцнений ОІМП за режимом В1	1037	762/1280	0,6–0,9	16
Зміцнений ОІМП за режимом В2	1130	884/1295	0,66–0,98	27

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.

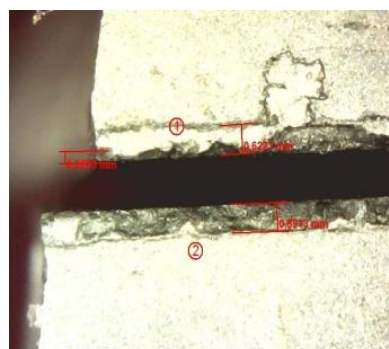
Проводились дослідження впливу ОІМП на характеристики конструкційної міцності зразків, які виготовлені з напайних пластин. Особливо екстремальною з точки зору навантаження на різальні пластини є попереднє оброблення, яке відбувається із значними величинами глибин різання (15–20 мм) та подач (до 3 мм), 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 (О.Б.Сорока, Ю.М.Родічев) 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.

Фрактографічні дослідження виявили, що низький рівень міцності ($\sigma_{зг} = 900$ МПа) обумовлений підвищеним рівнем дефектності (рис. 10, розміри надані з масштабним коефіцієнтом $k \times 2,86$), у той час як для високоміцних зразків ($\sigma_{зг} = 1477$ МПа) відсутні особливо великі дефекти поверхні.



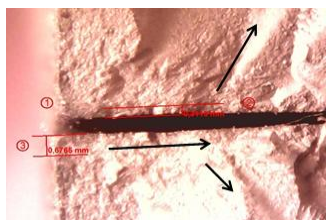
Вихідний зразок $\Sigma = 1477$ МПа



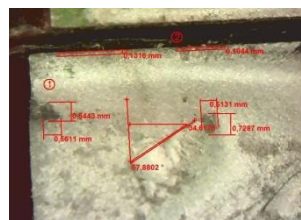
Вихідний зразок $\Sigma = 900$ МПа

Рис. 10. Кромкові дефекти вихідних зразків з високим і низьким рівнем міцності

Досліджено вплив ерозійного різання на характеристики міцності. Ерозійне різання створило на поверхні серединки 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 (рис. 11).



Зразок без зміцнення з низькою дефектністю $\Sigma = 1477\text{МПа}$



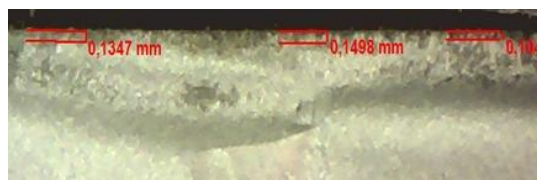
Зразок зміцнений ОІМП $\Sigma = 1653\text{МПа}$
Підвищена однорідність, менша рельєфність зламу

Рис. 11. Фокус зламу та початкові ділянки зростання магістральної тріщини

Отримано також, що ОІМП спричиняє зменшення товщини тріщинуватого шару (рис. 12).



Вихідний зразок

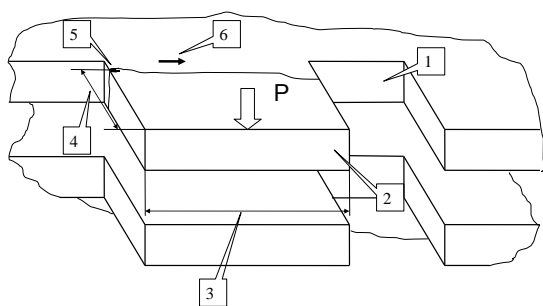


Зразок зміцнений ОІМП

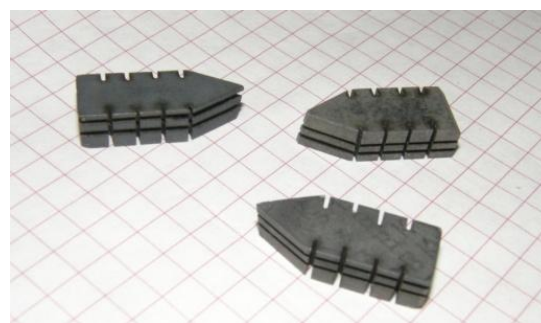
Рис. 12. Тріщинуватий шар вихідного зразка та зразка, який зміцнений ОІМП

Порівняльні випробування зразків, виготовлених методом електроерозійного різання з напайних пластин із сплаву ВК8 (товщина зразка $h = 3,25\text{--}3,85\text{ мм}$; відстань між опорами 20 мм, співвідношення товщини до відстані між опорами 0,1625–0,1925 різальна поверхня в зоні розтягу, опорна поверхня в зоні розтягу, поверхня після ерозійного різання в зоні розтягу) та сплаву ВК3 (товщина зразка $h = 2,85\text{--}3\text{ мм}$; відстань між опорами 20 мм, співвідношення товщини до відстані між опорами 0,1425–0,1500 різальна поверхня в зоні розтягу, опорна поверхня в зоні розтягу), у вихідному стані та після ОІМП дозволили виявити вплив модифікації імпульсним магнітним полем на границю міцності зразків.

Запропонована схема об'єкта випробувань з міні-балочками та способу їх випробування на консольне згинання (рис. 13,а) та триярусна система міні-балочок у пластини ВК3 з використанням електроерозійного різання (рис. 13,б).



а)



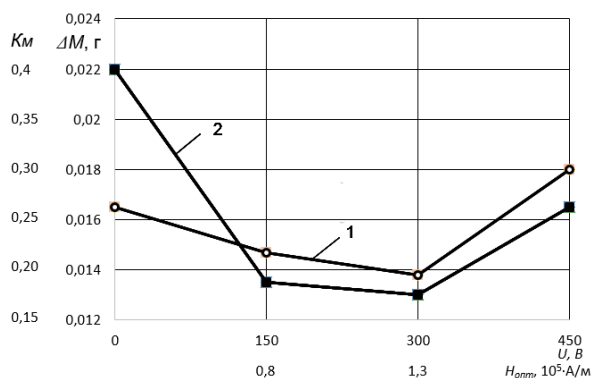
б)

- а) 1 – прорізи, 2 – консольна балочка під час випробування силою P , 3 – ширина балки, 4 – довжина балки, 5 – джерело руйнування, крайова мікротріщина, 6 – напрямок просування макротріщини при руйнуванні балки

Рис. 13. Фрагмент робочої частини лезвійного інструменту з двома ярусами консольних балочок

Запропонований спосіб контролю має підвищену достовірність оцінювання конструкційної міцності твердосплавних інструментальних матеріалів для різального інструменту у порівнянні з відомими аналогами та стандартними зразками і дозволяє оцінювати вплив конструкційних, технологічних і експлуатаційних факторів на механічний стан різних ділянок робочої частини інструменту.

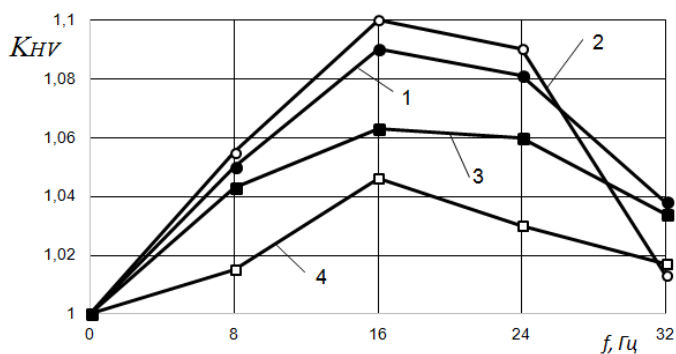
Досліджено опір інструментальних матеріалів ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 абразивному зношуванню. Результати випробувань (рис. 14; 15) показали, що для зразків після ОІМП має місце зниження величини зношування у 1,3–1,4 разу і зменшення коефіцієнта варіації зношування у 1,5 разу.



1 – коефіцієнт варіації зношування;

2 – середня величина зношування

Рис. 14. Вплив ОІМП на абразивне зношування твердого сплаву ВК6



1 – ВК6; 2 – ВК8; 3 – Т5К10; 4 – Т15К6

Рис. 15. Залежність коефіцієнта зміни твердості від частоти імпульсів

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.

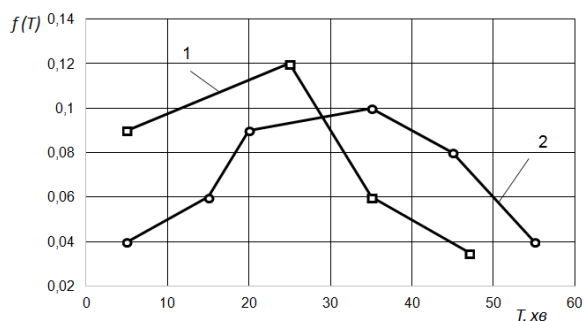
У четвертому розділі представлені результати експлуатаційних виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів після ОІМП і їх вплив на підвищення ефективності процесу різання.

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

Оцінювання працездатності здійснювалася за такими показниками: середня стійкість інструментів T , коефіцієнт варіації зносостійкості K_T , гамма-процентна стійкість T_γ , щільність розподілу стійкості $f(T)$, інтенсивність відмов $\lambda(T)$, ймовірність безвідмовної роботи $P(T)$.

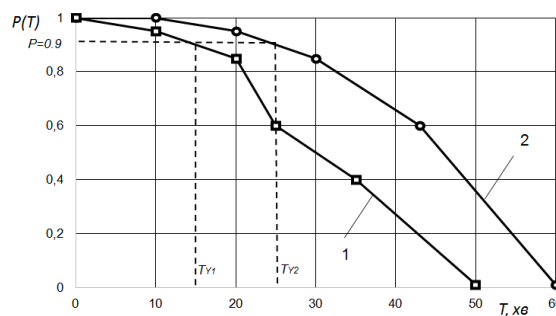
Було випробувано вісім партій твердосплавних інструментів із загальною кількістю 550 штук. Отримані результати випробувань математично оброблялися. Для оцінювання статичної значущості отриманих результатів розрахунків застосовувалися статистичні критерії: Колмогорова (для оцінювання параметрів закону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

На рисунках 16–21 представлені результати виробничих випробувань різних типів твердосплавних різців. Усі дані говорять про зростання зносостійкості інструментів, які зміцнені ОІМП, у 1,2–2 разу.



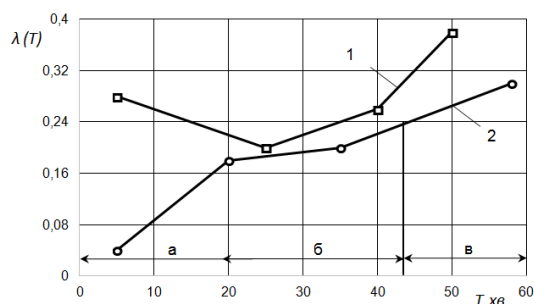
1 – інструменти без зміцнення;
2 – зміцнені інструменти

Рис. 17. Щільність розподілу відмов (партия 7)



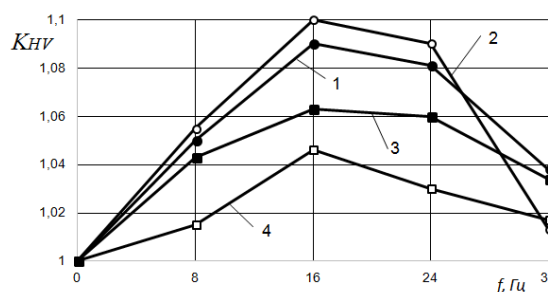
1 – інструменти без зміцнення;
2 – зміцнені інструменти

Рис. 18. Імовірність безвідмовної роботи (партия 7)



1 – інструменти без зміцнення;
2 – зміцнені інструменти

Рис. 19. Інтенсивність відмов (партия 7)

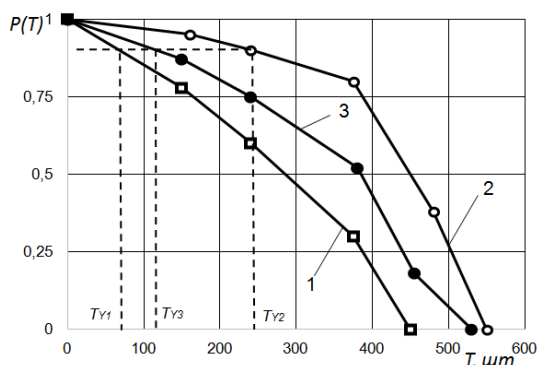


(1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти після першого періоду стійкості;

3 – зміцнені інструменти після V періоду стійкості

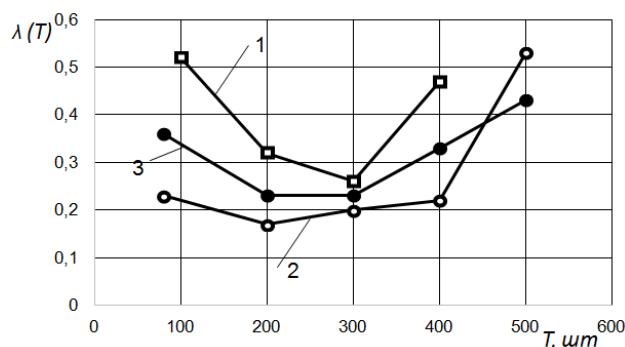
Рис. 19. Щільність розподілу відмов (партия 4)

Для дослідження впливу геометричних параметрів різців на ефективність зміцнення оцінювання працездатності проводилося за зношуванням задньої поверхні інструменту.



1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти після першого періоду стійкості;
3 – зміцнені інструменти після V періоду стійкості

Рис. 20. Вірогідність безвідмовної роботи (партия 4)



1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти після першого періоду стійкості;
3 – зміцнені інструменти після V періоду стійкості

Рис. 21. Інтенсивність відмов (партия 4)

Для аналізу були виділені такі параметри: головний задній кут α , допоміжний задній кут α_1 , передній кут γ , головний кут у плані φ , допоміжний кут у плані φ_1 , кут нахилу головної різальної кромки λ .

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, які представлені на рисунку 22 (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.

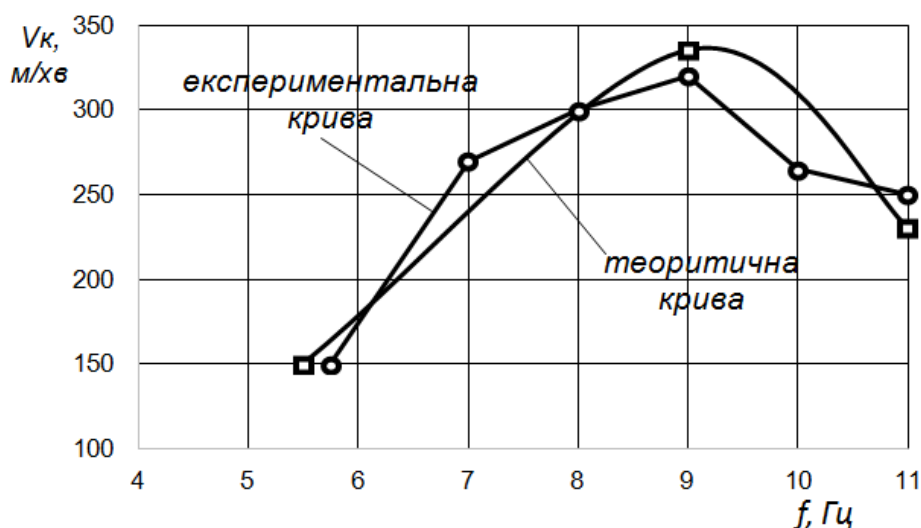


Рис. 22. Залежність критичної швидкості різання від частоти імпульсів (партія 1)

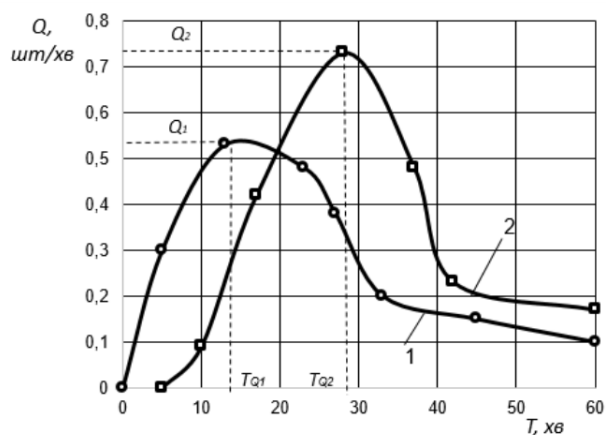
Таблиця 2 – Результати розрахунків оптимальних значень частоти імпульсів

Номер партії інструментів	Значення геометричних параметрів, град			Залежність $V_k = \int (f)$	Оптимальне значення f_{opt} , ММ	Коефіцієнт кореляції Z
	φ	α	φ_1			
1	60	8	20	$V_k = -2206,4 + 561,4 f - 30,96 f^2$	9,3	0,59
2	75	8	20	$V_k = -1200 + 440,8 f - 29,6 f^2$	7,5	0,53
3	90	8	20	$V_k = -120,4 + 334,8 f - 28,6 f^2$	5,8	0,57

Результати випробувань показали, що для твёрдосплавних інструментів, які зміцнені ОІМП, середня зносостійкість інструментів підвищилася у 1,2–2,0 рази, а коефіцієнт варіації зносостійкості знизився у 1,3–3,1 разу, 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 разу, що говорить про доцільність використання цих інструментів на важких верстатах з ЧПК, коли довжина деталі потребує значного періоду стійкості.

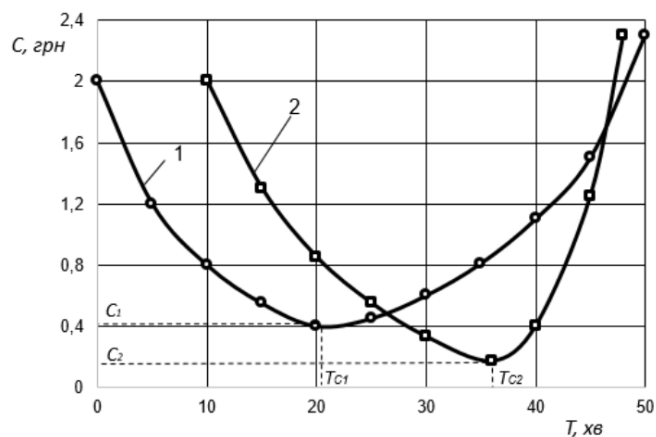
Слід відзначити високу тісноту зв'язку між експериментальними і теоретичними даними, а також достатню узгодженість отриманих результатів з даними лабораторних (розділ 2; 3) і виробничих випробувань інструментів.

У п'ятому розділі оцінювалась ефективність оброблення металів різанням за цільовими функціями, що характеризує продуктивність Q , собівартість C й інструментальні витрати S (рис. 23–25) у залежності від стійкості інструментів і режимів різання. У цих функціях враховувалося також вплив розсіювання стійкості інструментів.



1 – інструменти без зміцнення;
2 – зміцнені інструменти

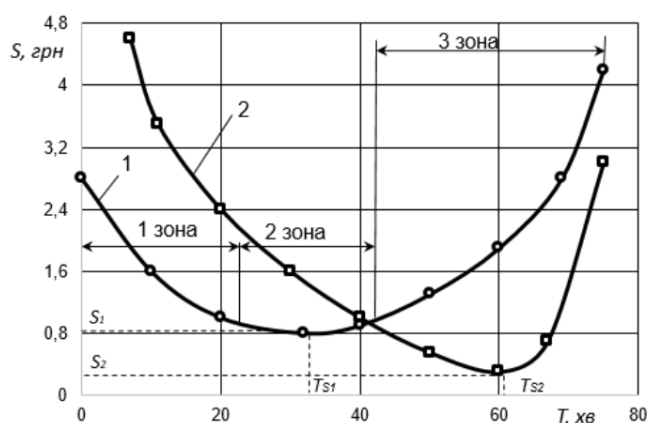
Рис. 23. Вплив ОІМП на продуктивність операції



1 – інструменти без зміцнення;
2 – зміцнені інструменти

Рис. 24. Вплив ОІМП на собівартість операції

Оцінювання ефективності оброблення металів різанням дозволило встановити підвищення оптимальної стійкості різальних інструментів, зміцнених ОІМП, у 1,4–2,5 разу, а також дати практичні рекомендації щодо визначення оптимальної подачі.



1 – інструменти без зміцнення; 2 – зміцнені інструменти

Рис. 25. Вплив ОІМП на інструментальні витрати

Використовуючи результати виробничих випробувань, на основі принципів системного підходу було представлено взаємозв'язок параметрів механічного оброблення й ефективності виробничого процесу при використанні ОІМП (рис. 26).

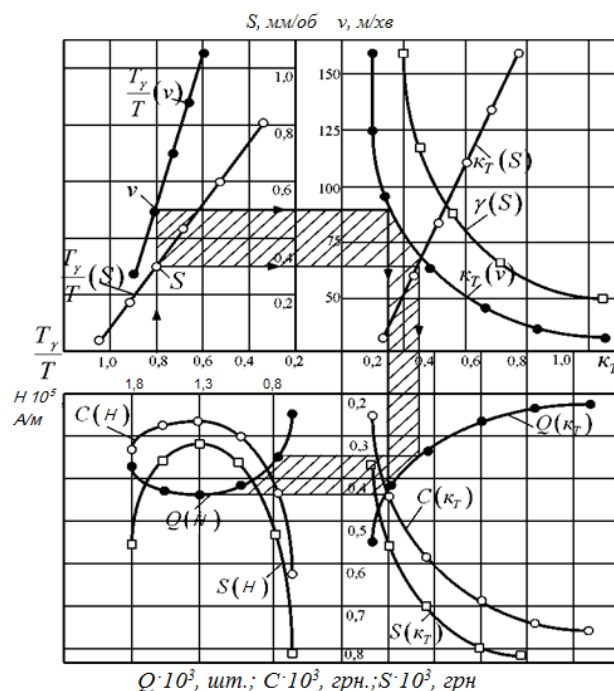


Рис. 26. Взаємозв'язок параметрів механооброблення та ефективності виробничого процесу під час використання ОІМП

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 , межі міцності твердого сплаву σ_s , вмісту кобальту в твердому сплаві C_o , частоти імпульсів f , яка має практичне застосування:

$$Q = (-22,728 + 0,094H + 2,869 C_o + 4,7717 \sigma_s + 3,43 f + 0,003 f H C_o - 0,0144 H \sigma_s - 0,7787f \sigma_s - 0,5983C_o \sigma_s - 0,0892Hf - 0,4846fC_o + 0,0112 H f C_o + 0,0973fC_o \sigma_s + 0,006H C_o \sigma_s + 0,0209 H f \sigma_s - 0,0026H f C_o \sigma_s) \cdot 10^6 \quad (2)$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті проведених досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача, що має важливе промислове значення, яка полягає у підвищенні ефективності оброблення деталей на важких верстатах шляхом зміцнення твердосплавного різального інструменту імпульсним магнітним полем (ОІМП).

2. Аналіз умови роботи різальних інструментів на підприємствах важкого машинобудування показав необхідність розроблення методів підвищення продуктивності, зниження собівартості та витрат інструментальних матеріалів, підвищення надійності інструменту. Встановлено ефект об'ємного зміцнення твердосплавного різального інструменту обробленням імпульсним магнітним полем, але методика визначення раціональних режимів оброблення імпульсним магнітним полем твердих сплавів і режими експлуатації зміцнених інструментів розроблена недостатньо та потребує вивчення.

3. З'ясовано що, при попередньому обробленні матеріалів твердосплавними різальними інструментами, які зміцнені ОІМП, відбувається багаторазова прироботка інструменту з декількома ступенями уповільнення і прискорення процесу зношування, що обґрунтовує підвищення міцності та зносостійкості твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП.

5. Випробування зразків з твердого сплаву при консольному вигинанні показали, що інструменти, які зміцнені ОІМП, мають підвищення у 1,2–1,22 разу міцності, а також більш високу однорідність і рівномірність розподілу дефектів за обсягом тіла. Дослідження на абразивне зношування показали, що після оброблення імпульсним магнітним полем підвищується абразивна зносостійкість твердосплавних інструментів у 1,3–1,4 разу і зменшується коефіцієнт варіації зношування у 1,5 разу.

6. Отримано, що модифікація твердого сплаву Т5К10 обробленням імпульсним магнітним полем, залежно від застосованих режимів, призводить до зростання границі міцності на згинання при статичному навантаженні на 16–27 %, що дозволяє прогнозувати зростання границі витривалості.

7. Показано значний вплив на міцність і руйнування досліджених твердосплавних пластин дефектів структури поверхневого шару. Встановлено, що модифікація твердих сплавів обробленням імпульсним магнітним полем призводить до підвищення їх однорідності, зменшення товщини тріщинуватого шару, стабілізації механічних характеристик, зростання границі міцності на згинання.

8. Використання методів моделювання дозволило встановити оптимальні режими і умови зміцнення залежно від марки твердого сплаву і геометричних параметрів інструменту. Визначено оптимальні величини напруженості магнітного поля і частоти імпульсів у залежності від геометричних параметрів інструменту.

9. На підставі виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів встановлено, що застосування оброблення імпульсним магнітним полем сприяє:

- підвищенню зносостійкості різальних інструментів у 1,2–2 разу;
- зменшенню коефіцієнта варіації стійкості у 1,3–3,1 разу;
- підвищенню гамма-відсоткової стійкості у 1,7–2,8 разу;
- зменшенню кількості викришування, поломок в зоні прироботки інструменту у 2,7 разу;
- ефект зміцнення після переточування інструменту зберігається.

10. За допомогою системного аналізу процесу механічного оброблення встановлено взаємозв'язок між параметрами, що характеризують процесі різання, параметрами оброблення імпульсним магнітним полем і ефективністю виробництва. На підставі цього розроблена статистична модель, що дозволяє визначити продуктивність механооброблення в залежності від властивостей інструментального матеріалу і параметрів оброблення імпульсним магнітним полем.

11. Застосування оброблення імпульсним магнітним полем дозволяє оптимізувати режими різання за продуктивністю оброблення, собівартістю операції та інструментальними витратами. Встановлено, що при важких умовах різання доцільно оптимізувати режим різання за величиною подачі з урахуванням розсіювання стійкості інструментів. Застосування оброблення імпульсним

магнітним полем твердосплавних інструментів сприяє підвищенню величини оптимальної подачі у 1,2–1,3 разу при підвищенні, продуктивності у 1,1–1,2 разу. Результати роботи впроваджені на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», ПрАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування» і у навчальний процес ДДМА.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Клименко Г. П., Мироненко Є. В., Гузенко В. С., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Експлуатація збірних різців: монографія для студентів спеціальностей 6.050503, 6.050502, 8.05050301, 8.05050302, 8.05050201 денної та заочної форми навчання. Краматорськ: ДДМА, 2015. 86 с. *(Проведено оптимізацію режимів різання, розроблено карти нормативів для важких верстатів з ЧПК).*

Публікації, що входять до міжнародних науко-метричних баз

2. Soroka O., Rodichev I., Shabetia O., Kovalov V., Vasilchenko Y., Shapovalov M. Strength of tool materials. Modern trends in material processing : collective monograph / Edited by Predrag Dašić. Vrnjačka Banja, 2018. Pp. 185–217. ISBN 978-86-6075-065-7. *(розроблено методуку та проведені дослідження міцності твердосплавних пластин).*

Публікації, що входять до переліку фахових видань

3. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Исследование технических параметров и технологических возможностей тяжелых токарных станков. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*: зб. наук. пр. Краматорськ. 2011. № 29. С. 76–84. *(Досліджені умови роботи різальних інструментів на важких верстатах).*

4. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В. Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков. *Машиноприладобудування та транспорт*: вестник СевНТУ. 2013. № 139. С. 28–32. *(Створено базу знань про роботу різальних інструментів на важких верстатах).*

5. Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Качество и надежность эксплуатации сборных твердосплавных инструментов. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Series: Techniques in a machine industry*: зб. наук. пр. № 34 (1310) 2018. Харків, 2018. С. 34–39. *(Досліджено якість і надійність збірних твердосплавних інструментів для важких верстатів).*

6. Родічев Ю. М., Сорока О. Б., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Прискорені випробування різальних пластин при інтенсивному контактному навантаженні. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*: зб. наук. пр. Краматорськ, 2018. № 1 (43). С. 181–187. *(Розроблена методика та проведені випробування різальних пластин в умовах високого контактного тиску з тертям при підвищених температурах).*

7. Shapovalov M., Kovalov V., Vasilchenko Y. Increase the productivity of hard-alloy tools for heavy machine tools by processing impulse magnetic field (Підвищення продуктивності твердосплавних інструментів для важких верстатів шляхом обробки

імпульсним магнітним полем). *Вісник ТНТУ*. Тернопіль, 2018. № 4 (92). С. 52–59. (Досліджені методи підвищення експлуатаційного ресурсу, надійності, міцності та зносостійкості твердосплавного різального інструменту за рахунок оброблення імпульсним магнітним полем).

8. Шаповалов М. В., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. Вплив результатів виробничих випробувань твердосплавних різальних інструментів, зміцнених ОІМП на підвищення ефективності технологічного процесу різання. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків, 2018. Вип. 4 (6). С. 84–92 (Проведені оптимізація режимів ОІМП і виробничі випробування твердосплавних різальних інструментів).

Публікації у закордонних виданнях

9. Шаповалов М. В., Васильченко Я. В. Банк даних для вибору раціональної конструкції сборних резцов. *Теория и практика в машиностроении*: сборник научных трудов ЗАО ОНИКС. Ирбит, 2013. С. 159–162. (Розроблено банк даних про роботу збірних різців на важких верстатах).

Публікації апробаційного характеру

10. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Способ комбинированного упрочнения режущего инструмента и деталей машин. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей Х Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Суми, 2010. С. 139–140.

11. Васильченко Я. В., Сукова Т. А., Шаповалов М. В., Полунина Л. В. Входные параметры адаптивных технологических систем работы тяжелых станков. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2010. С. 21.

12. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Савелова И. К., Савелов Д. В. Моделирование процесса механической обработки крупногабаритных деталей на тяжелом токарном станке. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2011. С. 23.

13. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Информационный банк данных режущего инструмента на тяжелых станках. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей XII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Київ, 2012.

14. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Михайлюк А. В. Повышение эффективности работы тяжелого токарного оборудования за счет разработки рекомендаций по выбору рациональных режимов резания. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2013. С. 25.

15. Родічев Ю. М., Сорока О. Б., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Статична та втомна міцності твердих сплавів, оброблених імпульсним магнітним полем. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2013. С. 102.

16. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Підвищення ефективності різального інструменту на важких верстатах за рахунок розробки та впровадження технологічного методу обробки імпульсним магнітним полем. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї наука виробництво* : тези доповідей XIV Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Суми, 2014. С. 108.

17. Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Киреева А.Е. Розробка технологій модифікації інструментальних матеріалів для важкого машинобудування, оптимізованих за параметрами міцності і працездатності. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2014. С. 24.

18. Васильченко Я. В., Сукова Т.А, Шаповалов М. В. Визначення раціональних технічних та конструктивних параметрів верстатів для обробки крупногабаритних деталей. *Прогресивні технології у машинобудуванні*: Збірник наукових праць III-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції. Львів, 2015. С. 26–28.

19. Родічев Ю. М., Сорока О. Б., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Визначення опору руйнуванню і зношуванню різальних пластин при контактному навантаженні. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2015. С. 82.

20. Васильченко Я. В., Турчанин М. А., Шаповалов М. В., Киреева А. Е. Повышение эффективности режущего инструмента на тяжелых станках за счет разработки и внедрения технологического метода обработки импульсным магнитным полем. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2015. С. 16.

21. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Григорьев В. К. Адаптивное управление процессами резания на тяжелых станках. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2015. С. 15.

22. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Методики підвищення експлуатаційних властивостей твердосплавних різальних пластин за рахунок обробки імпульсним магнітним полем. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2016. С. 19.

23. Васильченко Я. В. Шаповалов М. В. Оцінка характеристик конструкційної міцності різальних пластин та оптимізація технологій зміцнення за параметрами міцності. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво* : тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Чернігів, 2017. С. 104–105.

24. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Оцінка конструкційної міцності твердих сплавів та особливостей обробки імпульсним магнітним полем. *Обладнання і технології сучасного машинобудування*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. Тернопіль, 2017. С. 45–46.

25. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Лобова К. В. Обґрунтування торцевої схеми ОІМП твердосплавних пластин для важких верстатів. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2017. С. 12–13.

26. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Сукова Т. О. Методика визначення підвищення міцності твердосплавного різального інструменту для важких верстатів шляхом оброблення імпульсним магнітним полем. *Прогресивні технології у машинобудуванні*: Збірник наукових праць VI-ї Міжнародної науково-технічної конференції. Львів, 2017. С. 53.

27. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Зміцнення твердосплавного різального інструменту для важкого машинобудування на основі обробки імпульсним магнітним полем. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції. Чернігів, 2018. Т. 1. С. 67–68.

28. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Подоляк Я. В. Встановлення взаємозв'язку між параметрами, що характеризують процес різання, параметрами імпульсного магнітного поля і ефективністю виробництва. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2018. С. 41–42.

29. Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. Дослідження стійкості твердосплавних різальних інструментів, оброблених імпульсним магнітним полем, за допомогою форсованих методів випробувань. *Инженерия поверхности и реновация изделий*: материалы 18-й Международной научно-технической конференции, 04-08 июня 2018. Свалява, Закарпатская обл. – Киев, 2018. С. 75–77.

30. Васильченко Я. В., Хорошайло В. В., Сукова Т. О., Шаповалов М. В., Саєнко М. О., Железняк В. Р., Гармаш М. О. Розробка автоматизованої системи синтезу та оцінки компонувань верстатів. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей XVIII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2018. С. 29–31.

31. Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Переходченко С. С., Казанцева Т. Ю. Підвищення ефективності обробки деталей важкого машинобудування за рахунок визначення раціональних режимів різання. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей XVIII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2018. С. 31–33.

32. Клименко Г. П., Шаповалов М. В., Ковалев Д. А. Анализ надежности сборных фрез. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво*: тези доповідей XVIII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2018. С. 72–74.

33. Шаповалов М. В., Тіторук Т. І., Печений О. О. Підвищення працездатності металорізального інструменту з твердих сплавів методом обробки імпульсним магнітним полем. *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї –*

наука – виробництво: тези доповідей XVIII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2018. С. 196–197.

34. Shapovalov M., Kovalov V., Vasilchenko Y. Improving the Efficiency of Machining Through Modifying Carbide Cutting Tips by Pulsed Magnetic Field Processing. *Mamalis International Symposium on Advanced Manufacturing of Advanced : Materials and Structures with Sustainable Industrial Applications. Sustainable Industrial Processing Summit & Exhibition, 4–8 November 2018. Rio Othon Palace, Rio De Janeiro, Brazil.*

Патенти

35. Різальний інструмент: пат. на корисну модель 126778 Україна : МПК В23В 27/00. № u201712789; заявл. 22.12. 2017; опубл. 10.07. 2018, бюл. № 13.

АНОТАЦІЯ

Шаповалов М. В. Зміцнення твердосплавного інструменту імпульсним магнітним полем для обробки виробів важкого машинобудування – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти – Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА) Міністерства освіти і науки України, Краматорськ, 2019.

У дисертаційній роботі визначена, науково обґрунтована і вирішена проблема підвищення ефективності оброблення деталей на важких верстатах шляхом зміцнення твердосплавного різального інструменту імпульсним магнітним полем (ОІМП). Під ефективністю оброблення деталей розуміється підвищення її продуктивності, зниження собівартості та витрат інструментальних матеріалів, підвищення надійності інструменту.

Проаналізовано умови роботи різальних інструментів на підприємствах важкого машинобудування. Досліджена зносостійкість твердосплавних різальних інструментів, які зміцнені ОІМП, за допомогою форсованих методів випробувань і моделювання процесу різання. Встановлено механізм зміни властивостей твердого сплаву під дією імпульсного магнітного поля. Виділені основні фактори, що впливають на зміну зносостійкості твердого сплаву під дією імпульсного магнітного поля. Досліджено вплив оброблення імпульсним магнітним полем на працездатність твердосплавних різальних інструментів у виробничих умовах. Встановлено вплив зміцнення на продуктивність, собівартість операції та інструментальні витрати. Досліджено взаємозв'язок параметрів ОІМП, параметрів процесу механічного оброблення деталей і ефективності виробництва. Розроблена статистична модель, що дозволяє визначити продуктивність механооброблення у залежності від властивостей інструментального матеріалу і параметрів оброблення імпульсним магнітним полем.

Встановлено ефект об'ємного зміцнення впливом імпульсного магнітного поля твердосплавного різального інструменту, призначеного для попереднього оброблення деталей на важких верстатах. Виявлено, що після переточування інструменту ефект зміцнення зберігається. Рекомендовано враховувати результати

оцінювання параметрів поверхневого дефектного шару при заточуванні інструменту з напаяними різальними пластинами.

Розроблені та впроваджені технологічний метод оброблення імпульсним магнітним полем різальних пластин з твердого сплаву та технологічні рекомендації щодо підвищення ефективності операцій оброблення великорозмірних деталей на важких токарних верстатах.

Ключові слова: оброблення імпульсним магнітним полем; твердосплавний інструмент; важкий верстат, виробничі випробування; стійкість; напруженість магнітного поля, частота імпульсів, продуктивність.

АННОТАЦІЯ

Шаповалов М. В. Упрочнение твердосплавного инструмента импульсным магнитным полем для обработки изделий тяжелого машиностроения – квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты – Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА) Министерства образования и науки Украины, Краматорск, 2019.

В диссертационной работе определена, научно обоснована и решена проблема повышения эффективности обработки деталей на тяжелых станках путем упрочнения твердосплавного инструмента импульсным магнитным полем (ОИМП). Под эффективностью обработки деталей понимается повышение ее производительности, снижение себестоимости и затрат инструментальных материалов, повышение надежности инструмента.

Проанализированы условия работы режущих инструментов на предприятиях тяжелого машиностроения. Исследована износостойкость твердосплавных режущих инструментов, которые упрочнены ОИМП, с помощью форсированных методов испытаний и моделирования процесса резания. Установлен механизм изменения свойств твердого сплава под действием обработки импульсным магнитным полем. Выделены основные факторы, влияющие на изменение износостойкости твердого сплава под действием обработки импульсным магнитным полем. Исследовано влияние обработки импульсным магнитным полем на работоспособность твердосплавных режущих инструментов в производственных условиях. Установлено влияние упрочнения на производительность, себестоимость операции и инструментальные расходы. Исследована взаимосвязь параметров ОИМП, параметров процесса механической обработки деталей и эффективности производства. Разработана статистическая модель, позволяющая определить производительность механообработки в зависимости от свойств инструментального материала и параметров обработки импульсным магнитным полем.

Установлен эффект объемного упрочнения обработкой импульсным магнитным полем твердосплавного режущего инструмента, предназначенного для черновой обработки деталей на тяжелых станках. Выявлено, что после переточки инструмента эффект упрочнения сохраняется. Рекомендуется учитывать результаты оценки

параметров поверхностного дефектного слоя при заточке инструмента с напаянными режущими пластинами.

Разработаны и внедрены технологический метод обработки импульсным магнитным полем режущих пластин из твердого сплава и технологические рекомендации по повышению эффективности операций обработки крупногабаритных деталей на тяжелых токарных станках.

Ключевые слова: обработка импульсным магнитным полем; твердосплавный инструмент; тяжелый станок, производственные испытания; устойчивость; напряженность магнитного поля, частота импульсов, производительность.

ABSTRACT

Shapovalov M. V. Hardening carbide tools the pulsed magnetic field processing for machining heavy machinery – qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.03.01 – machining processes, machine tools and tools – Donbass State Engineering Academy (DSEA) of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kramatorsk, 2019.

The problem of increasing the efficiency of machining parts on heavy machines was determined in the thesis, scientifically substantiated and solved by hardening a carbide tool the pulsed magnetic field processing (PMFP). The efficiency of machining of parts is understood as an increase in its productivity, a reduction in the cost and costs of tool materials, and an increase in instrument reliability.

The working conditions of cutting tools at heavy engineering enterprises are analyzed. The wear resistance of carbide cutting tools, which have been strengthened by the PMFP, was investigated using forced test methods and modeling of the cutting process. The mechanism of changing the properties of a solid alloy under the action of a pulsed magnetic field is established. The main factors affecting the change in the wear resistance of a solid alloy under the action of a pulsed magnetic field are identified. The effect of pulsed magnetic field processing on the performance of carbide cutting tools under production conditions is investigated. The effect of hardening on productivity, cost of operation and instrumental costs is established. The interrelation of the parameters of the PMFP, the parameters of the process of machining parts and production efficiency is investigated. A statistical model has been developed that allows determining the productivity of mechanical processing depending on the properties of the tool material and the processing parameters of a pulsed magnetic field.

The effect of volumetric hardening by processing a pulsed magnetic field of a carbide cutting tool has been established for roughing parts on heavy machines. It is revealed that after sharpening the tool, the hardening effect remains. It is recommended to take into account the results of the evaluation of the parameters of the surface defect layer when sharpening a tool with soldered cutting inserts.

Technological method of processing pulsed magnetic field carbide cutting tools is developed. Technological recommendations to improve the efficiency of machining operations for large-sized parts on heavy lathes are implemented.

Keywords: pulsed magnetic field processing; carbide tools; heavy machine production tests; sustainability; magnetic field strength, pulse frequency, performance.

Підп. до друку 03.04.2019. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 1,9.
Тираж 100 пр. Зам. № 28.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003