

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**КУПРЄЄВ ДЕНИС ВОЛОДИМИРОВИЧ**

**УДК 621.923**

**Магнітно-абразивне оброблення кінцевих фрез із швидкорізальної сталі в  
умовах великих магнітних щілин кільцевої ванни**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
магістр**

**Київ – 2015**

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

- Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Майборода Віктор Станіславович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, професор кафедри інтегрованих технологій  
машинобудування імені П.Р. Родіна
- Рецензент** кандидат технічних наук  
**Дєвицький Олександр Анатолійович**  
Інститут надтвердих матеріалів імені В.М.Бакуля  
НАН України, науковий співробітник алмазно-  
абразивної і фізико-технічної обробки
- Рецензент** доктор технічних наук  
**Гейчук Володимир Миколайович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, професор кафедри конструювання верстатів  
та машин
- Консультант з охорони праці та техніки безпеки** кандидат технічних наук, старший викладач  
**Лук'яненко Анна Олегівна**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, кандидат технічних наук кафедри охорони  
праці, промислової та цивільної безпеки

Захист відбудеться „16”червня 2015 року об 10:00 годині на засіданні ДЕК кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к.615-22

З дисертацією можна ознайомитись на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к.611

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Одним з факторів, що забезпечують підвищення продуктивності праці при механічному обробленні, є збільшення стійкості різального інструменту (РІ), забезпечення його стабільної роботи, що особливо важливо при використанні автоматизованих комплексів та верстатів з числовим програмним керуванням. Якість РІ залежить від шорсткості, форми та фізико-механічних характеристик поверхневих шарів робочих елементів. Для підвищення зазначених характеристик існує велика кількість сучасних методів фінішного оброблення. Традиційні методи фінішного оброблення РІ спрямовані на підвищення експлуатаційних показників можна поділити на такі основні групи:

- методи механічного оброблення і зміцнення: алмазне шліфування і полірування, методи вібраційного, дрібноструменого і гідроабразивного оброблення, оброблення щітками, у вільному абразиві, тощо;
- хіміко-термічні методи оброблення;
- лазерне термічне оброблення;
- електроіскрове легування;
- нанесення покриттів методами CVD і PVD, тощо.

Але жоден з них не підвищує зазначені характеристики в комплексі.

Зважаючи на широке використання осьового та кінцевого інструменту з швидкорізальної сталі виникає проблема підвищення їх якості цих інструментів. Одним з перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування магнітно-абразивного оброблення (МАО), що забезпечує значне підвищення якості інструменту за рахунок одночасного зниження шорсткості та збільшення твердості на його робочих поверхнях, контрольоване формування різальних кромки (РК) заданого радіусу округлення.

Тому вирішення комплексної проблеми підвищення якості різального інструменту є актуальною науковою проблемою і має велике практичне значення.

**Мета досліджень.** Підвищення роботоздатності шпонкових фрез виготовлених з швидкорізальної сталі шляхом застосування процесу фінішного оброблення магнітно-абразивним методом у великих робочих зазорах кільцевого типу.

**Задачі досліджень:**

1. Проаналізувати стан і проблеми, що до оброблення кінцевого та осьового різального інструменту методом МАО.
2. Проаналізувати вплив режимів МАО на показники якості різального інструменту.
3. Виконати МАО шпонкових фрез з швидкорізальної сталі при різних режимах і використанні різного складу магнітно-абразивного інструменту (МАІ).
4. Визначити вплив процесу МАО на якість робочих поверхонь шпонкових фрез.
5. Визначити вплив процесу МАО на роботоздатність шпонкових фрез.

**Об'єкт дослідження** – Магнітно-абразивне оброблення шпонкових фрез на верстатах з кільцевим розташуванням робочої зони.

**Предмет дослідження** – Підвищення якості та роботоздатності шпонкових фрез за рахунок використання на фінішних етапах їх виготовлення методу MAO.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач дослідження використовували основні положення теорії різання матеріалів, фізики твердого тіла, матеріалознавства. Експериментальні дослідження виконані в лабораторних умовах з використанням сучасних засобів вимірювання.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Розроблено експериментально-теоретичні положення впливу різних технологічних параметрів MAO на радіус округлення РК, шорсткість, поверхневу твердість шпонкових фрез.

Вперше досліджено вплив швидкості обертання РІ навколо власної осі в процесі MAO в кільцевій ванні на показники їх якості.

**Практичне значення отриманих результатів.** Показано вплив швидкості обертання інструменту навколо власної осі, на рівномірність оброблення вздовж різальної кромки осьового та кінцевого інструменту на прикладі шпонкових фрез, визначено вплив процесу магнітно-абразивного оброблення на поверхневу твердість, шорсткість, радіус округлення різальної кромки і як наслідок доведено, що магнітно-абразивне оброблення дозволяє підвищити роботоздатність фрез 1,5 – 2 рази.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 5 тез конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, переліку посилань та додатків. Повний обсяг дисертації 72 сторінок машинописного тексту, включаючи 33 рисунки, 7 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, структуру роботи та публікації.

**У першому розділі** проаналізовано стан і проблеми щодо оброблення кінцевого та осьового інструменту методом MAO, розглянуто схеми магнітно-абразивного оброблення та властивості магнітно-абразивних порошків, що використовуються для формування магнітно-абразивного інструменту (MAI), проаналізовано вплив режимів MAO на якість робочих поверхонь інструменту, сформульовано мету та задачі роботи.

**У другому розділі** розглянуто матеріали, обладнання для проведення магнітно-абразивного оброблення та методика досліджень. Обґрунтовано вибір магнітно-абразивного інструменту для оброблення.

Дослідження виконували на шпонкових фрезах  $\varnothing 5,5$ мм, виготовлених зі сталі Р6М5. У вихідному стані (до MAO) параметри шорсткості  $R_a$  задньої гвинтової поверхні шпонкових фрез – 1,36 – 1,42 мкм; поверхнева твердість – HV = 7,5 – 8 ГПа, величина радіусу округлення РК –  $k = 7 - 9$  мкм.

Вимірювання шорсткості поверхні проводились на спеціальному модулі зібраному на основі профілометра мод. 296 контактним способом.

Дослідження поверхневої твердості шпонкових фрез виконували на мікротвердомірі ПМТ – 3.

Величину радіусу округлення РК оцінювали оптичним методом на мікроскопі Метам Р-1, вимірюючи за параметр  $k$  (рис.1), що дозволяє швидко оцінити зміну радіуса округлення

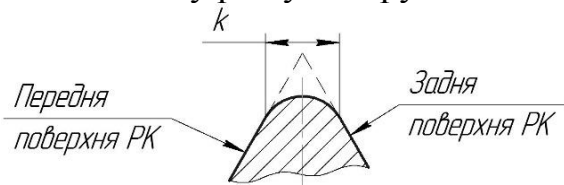


Рисунок 1 – Схема вимірювання параметра  $k$

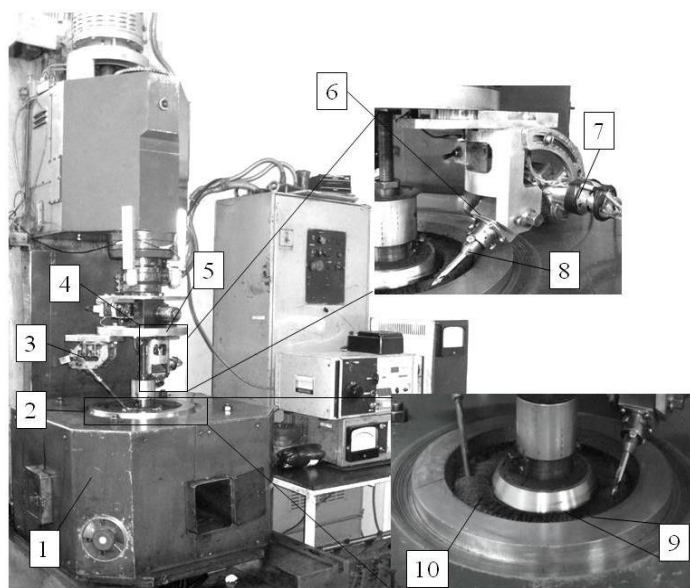


Рисунок 2 – Дослідний стенд для МАО з кільцевим розташуванням робочої зони

- 1 – магнітна система;
- 2 – кільцева робоча зона;
- 3 – змінний мінішпіндель;
- 4 – універсальна головка;
- 5 – базова плита;
- 6 – мінішпіндель;
- 7 – редуктор;
- 8 – оправка ;
- 9 – полісні наконечники;
- 10 – МАІ

використовували магнітно-абразивні порошки Феромап зернистістю 200/100 мкм, S330 1200/900 мкм, ПР Р6М5 160/100 мкм, Царамам 315/200 мкм та суміш порошків Полімам М з розміром зерен 315/200 мкм з додаванням 5% ФП зернистістю 160/100 мкм,

Дослідження стійкості шпонкових фрез виконували при фрезеруванні відкритих пазів без МОТС на верстаті 6Б75ВФ1.

Величину зношення вимірювали на мікроскопі Метам Р-1 за схемою рис.3.

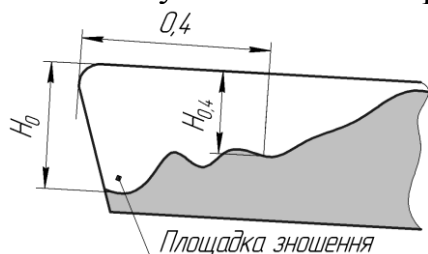


Рисунок 3 – Схема вимірювання зношення на задній поверхні фрези

У третьому розділі представлені результати досліджень впливу швидкості обертання інструменту навколо власної осі –  $\omega_0$ , та різного складі МАІ під час МАО на показники якості шпонкових фрез із швидкорізальної сталі. Проаналізовано вплив МАО на показники якості та роботоздатності шпонкових фрез.

Дослідження впливу швидкості обертання оброблюваного інструменту навколо власної осі виконували при наступних значеннях – 100 об/хв, 500 об/хв, 900 об/хв. Встановлено, що  $\omega_0$  впливає на рівномірність формування магнітно-абразивної маси порошку по величині робочого зазору «кільцевої ванни», про це

свідчать значення величини шорсткості та радіусу округлення вздовж РК (рис.4), та характер взаємодії МАІ з робочими поверхнями шпонкових фрез, при збільшенні  $\omega_0$  відбувається збільшення фрикційної складової сили взаємодії МАІ з оброблюваною поверхнею шпонкової фрези (рис.5).

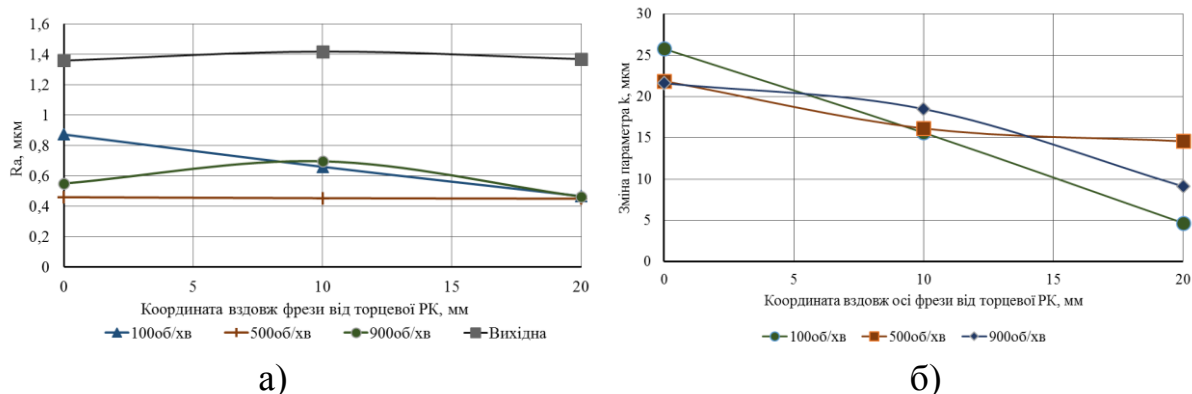


Рисунок 4 – Величина шорсткості задньої гвинтової поверхні (а) та параметру k (б) вздовж РК фрези при різних швидкостях обертання навколо власної осі інструменту під час МАО

Дослідження впливу складу МАІ виконували використовуючи МАП з різними геометричними характеристиками.

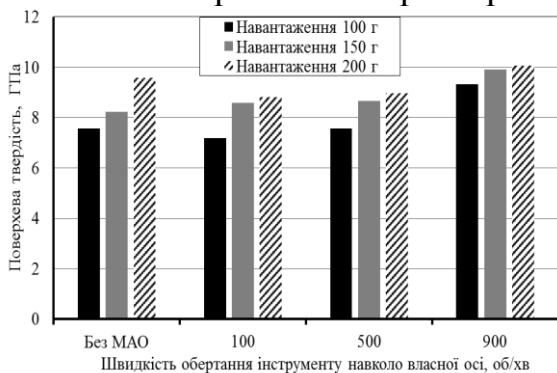


Рисунок 5 – Залежність поверхневої твердості фрези від кутової швидкості обертання інструменту навколо власної осі

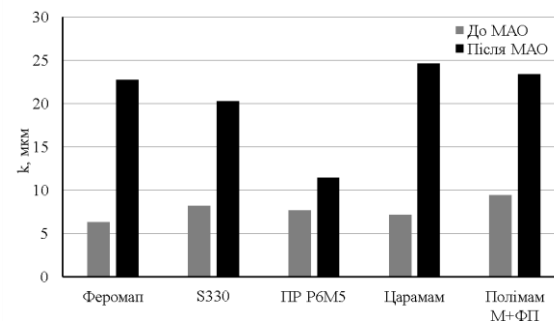
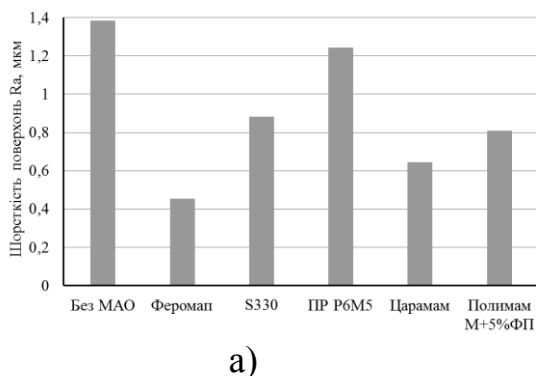


Рисунок 6 – Залежність шорсткості задньої гвинтової поверхні (а) та радіус округлення РК (б) від складу МАІ

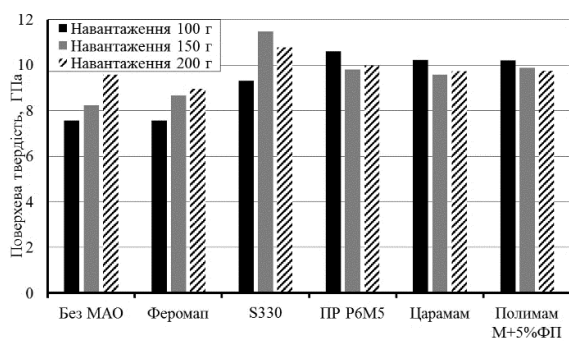
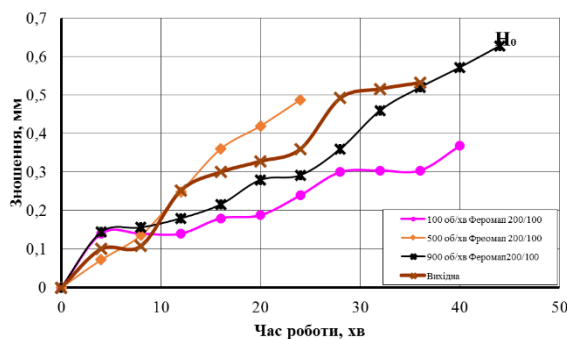


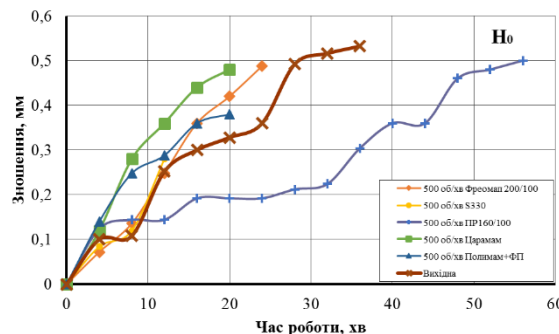
Рисунок 7 Залежність поверхневої твердості робочої частини фрези від складу МАІ

збільшується до 40 хв (рис.8).

Процес MAO забезпечує підвищення роботоздатності по стійкості фрез до 1.5 – 2 разів.



а)



б)

Рисунок 8 – Графіки залежності величини зношення від часу роботи шпонкових фрез після MAO при різних швидкості обертання інструменту навколо власної осі (а) та різним складом МАІ (б)

У четвертому розділі приведена методика виявлення та аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, діючих при роботі в робочому приміщенні, розглянуті загальні вимоги щодо техніки роботи за фрезерним верстатом. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення, мікроклімату, тощо.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу науково технічної літератури встановлено, що одним із перспективних методів фінішного поліруючо-зміцнюючого оброблення різального інструменту із швидкорізальної сталі є магнітно-абразивне оброблення. Даний метод забезпечує одночасне:

- рівномірне формування низької шорсткості робочих поверхонь;
- контрольоване формування радіусу округлення різальних кромки;
- підвищення твердості поверхневого шару матеріалу різального інструменту.

Доцільність проведення MAO для осьового і кінцевого різального інструменту в умовах великих магнітних зон пояснюється необхідністю отримання рівномірного оброблення робочих поверхонь.

2. Проведено експерименти в результаті яких встановлено що:

- величина швидкості обертання інструменту навколо власної осі в процесі MAO впливає на формування фераабразивного середовища в робочому зазорі кільцевого типу. При збільшенні  $\omega_0$  відбувається збільшення фрикційної складової сили взаємодії МАІ з оброблюваними поверхнями шпонкових фрез;

- при  $\omega_0 = 500$  об/хв відбувається формування рівномірної шорсткості поверхні шпонкових фрез здовж РК величиною  $Ra = 0,45$  мкм; параметру  $k = 15 - 23$  мкм який характеризує радіус округлення РК та поверхневої твердості –  $HV_{150} = 8,5$  ГПа;

- при використанні рівновісних округлих типів порошоків для формування МАІ при MAO шпонкових фрез відбувається збільшення твердості на 10 – 20 %, зниження шорсткості задньої гвинтової поверхні до  $Ra = 0,9 - 1$  мкм, та формування радіусу округлення РК з параметром  $k = 12 - 20$  мкм в результаті пластичного деформування поверхневого шару матеріалу за рахунок ударної взаємодії частинок МАІ з оброблюваною поверхнею;

- при використанні нерівновісних осколкових порошоків для формування МАІ при MAO шпонкових фрез відбувається збільшення твердості на 5 – 10 %, зниження шорсткості задньої гвинтової поверхні до  $Ra = 0,5 - 0,8$  мкм, та формування радіусу округлення РК з параметром  $k = 23 - 25$  мкм оскільки процес MAO супроводжується активним диспергування поверхневого шару матеріалу;

- при використанні порошоків з розміром фракції 1200/900 мкм поверхнева твердість матеріалу інструменту підвищується на глибині 0,4 мкм і становить  $HV_{150} = 11,5$  ГПа, за рахунок великої плями контакту частинок МАІ з оброблюваною поверхнею;

- при використанні порошоків з розміром фракції в межах 100/315 мкм поверхнева твердість матеріалу інструменту підвищується на глибині 0,2 – 0,25 мкм і становить  $HV_{150} = 10 - 10,5$  ГПа, за рахунок фрикційної складової сили взаємодії МАІ з оброблюваною поверхнею шпонкової фрези;

- формування критичного зношення на кутику фрез оброблених методом MAO,  $H_0 = 0,4$  мм, відбувається після 40 хв роботи, що майже в двічі збільшує роботоздатність в порівнянні з необробленими.

3. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів та розроблені рекомендації для їх уникнення.

## **СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ**

1. Майборода В.С. Купрєєв Д.В. Добровольський А.Р. Ткачук І.В. Влив конструкції відновлювального елемента на абразивно-поліруючу здатність магнітно-абразивного інструменту при магнітно-абразивному обробленні[текст] / Науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Машинобудування» Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2014. С. 47-49.

2. Майборода В.С. Купрєєв Д.В. Джулій Д.Ю. Аналіз впливу умов магнітно-абразивного оброблення на радіус округлення різальних кромek кінцевих фрез з швидкорізальної сталі[текст] / Науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Машинобудування» Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2015. С. 50-52.



3. Майборода В.С. Купреєв Д.В. Джулій Д.Ю. Аналіз впливу умов магнітно-абразивного оброблення на шорсткість задніх поверхонь різальних кромки кінцевих фрез з швидкорізальної сталі [текст] / Науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Машинобудування» Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2015. С. 52-53.

4. Купреєв Д.В. Красновид Д.О. Аналіз руху різальної кромки рушничного свердла [текст] / Науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Машинобудування» Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2013.

5. Купреєв Д.В. Коломієць В.І. Визначення власних частот радіально-упорного підшипника [текст] / Загальноуніверситетська науково-технічна конференція присвячена дню Науки «Машинобудування» Збірник тез. К.: НТУУ «КПІ», 2012 С.28-29.

### АНОТАЦІЯ

**Купреєв Д.В. Магнітно-абразивне оброблення кінцевих фрез із швидкорізальної сталі в умовах великих магнітних щілин кільцевої ванни**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – Київ, 2015

Дисертація присвячена вирішенню проблеми підвищення якості та роботоздатності шпонкових фрез за рахунок використання на фінішних етапах їх виготовлення методу магнітно-абразивного оброблення (МАО) на верстатах з кільцевим розташуванням робочої зони. У роботі досліджено вплив швидкості обертання інструменту навколо власної осі та склад магнітно-абразивного інструменту (МАІ) під час магнітно-абразивного оброблення на формування радіусів округлення різальних кромки, шорсткість та твердість поверхневого шару шпонкових фрез виготовлених з швидкорізальної сталі. Досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення на їх роботоздатність.

Показана можливість підвищення параметрів якості різального інструменту виготовленого із швидкорізальної сталі, а саме зростання поверхневої твердості на 5 – 20 %, зниження шорсткості робочих поверхонь до рівня  $Ra < 0,4 - 1$  мкм, кероване формування радіусів округлення різальних кромки в залежності від технологічних умов МАО, геометричних характеристик магнітно-абразивного порошку, що використовуються для формування МАІ, позитивне видалення з поверхні різального інструменту мікронадривів, розполіровання мікронадривів, як наслідок відбувається підвищення роботоздатності інструменту і 1,5-2 разів.

**Ключові слова:** магнітно-абразивне оброблення, різальна кромка, твердість, шорсткість, зношення, шпонкова фреза.

### АННОТАЦИЯ

**Купреєв Д.В. Магнітно-абразивная обработка концевых фрез из быстрорежущей стали в условиях больших магнитных щелей кольцевого типа.**

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 – инструментальное производство. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». – Киев, 2015

Диссертация посвящена решению проблемы повышения качества и работоспособности шпоночных фрез за счет использования на финишных этапах их изготовления метода магнитно-абразивной обработки (МАО) на станках с кольцевым расположением рабочей зоны. В работе исследовано влияние скорости вращения инструмента вокруг собственной оси и состав магнитно-абразивного инструмента (МАИ) во время магнитно-абразивной обработки на формирование радиусов округления режущих кромок, шероховатость и твердость поверхностного слоя шпоночных фрез изготовленных из быстрорежущей стали. Исследовано влияние магнитно-абразивной обработки на их работоспособность.

Показана возможность повышения параметров качества режущего инструмента изготовленного из быстрорежущей стали, а именно увеличение поверхностной твердости на 5 – 20%, снижение шероховатости рабочих поверхностей до уровня  $Ra < 0,4 - 1$  мкм, управляемое формирование радиусов округления режущих кромок в зависимости от технологических условий МАО, геометрических характеристик магнитно-абразивного порошка, используемых для формирования МАИ, положительное удаление с поверхности режущего инструмента микрозаусенцев, розполированием микровырывов, как следствие происходит повышение работоспособности инструмента и 1,5 – 2 раз.

**Ключевые слова:** магнитно-абразивная обработка, режущая кромка, твердость, шероховатость, износ, шпоночная фреза.

## ABSTRACT

**Denys Kupryeyev. Magneto-abrasive machining of end mills made of high speed steel in large gaps ring-type bosh.**

The dissertation for a master's degree in the specialty 8.05050302 – Machining processes, machine tools and tools. – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2015.

Dissertation is covers to the problem of improving the quality and efficiency of keyway cutter by using at the final stage of their manufacturing method of magnetic-abrasive machining (MAM) on machines with ring location the work area. In the paper were studies the influence of the speed of rotation of the tool around its own axis and the composition of the magnetic abrasive tool (MAT) during magnetic abrasive treatment on the formation of the radii of the rounding of the cutting edges, surface roughness and hardness of the surface layer of the keyway cutters made of high speed steel. Were studies the influence of magnetic-abrasive treatment on their performance.

Showing the possibility of improve the quality parameters of cutting tools made of high speed steel, namely an increase in the surface hardness of 5 – 20 %, reduction in surface roughness of working surfaces to a level  $Ra < 0,4 - 1$   $\mu\text{m}$ , controlled forming a radius rounding cutting edges depending on the process conditions MAM , the geometric characteristics of magnetic abrasive powder used to form the MAI, a positive removal from the surface of the cutting tool surface mikroburrs, polishing of a mikrotears as a consequence is an increase in efficiency of the tool and 1.5 - 2 times.

**Key words:** Magnetic-abrasive machining, the cutting edge, hardness, roughness, wear, keyway cutter.