

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

БОРИСЕНКО ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 621.95.01 : 004.942

**Оптимізація та удосконалення системи вставних касет з круглим
хвостовиком для торцевих фрез**

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
Равська Наталія Сергіївна
Національний технічний університет України «КПІ»,
м. Київ, професор кафедри інтегрованих технологій
машинобудування імені П.Р. Родіна

Рецензенти Кандидат технічних наук, доцент
Юрчишин Оксана Ярославівна
Національний технічний університет України «КПІ»,
м. Київ, Доцент кафедри конструювання верстатів та
машин

Кандидат технічних наук
Дєвицький Олександр Анатолійович
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля, НАН
України, м. Київ, науковий співробітник відділу
технології алмазно-абразивної і фізикотехнічної
обробки

Консультант з охорони праці та техніки безпеки кандидат технічних наук, доцент
Лук'яненко Анна Олегівна
Національний технічний університет України «КПІ»,
м. Київ, старший викладач кафедри охорони праці,
промислової та цивільної безпеки

Захист відбудеться „15 ”червня 2015 року о 10 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 досліджень. Фрезерування було і залишається одним з найпоширеніших методів обробки різанням. При обробці площин і уступів використання збірних касетних торцевих фрез є більш ефективним ніж цільно-твердосплавного інструменту. Але збірні касетні фрези через свої конструктивні особливості не можуть бути виконані діаметром меншими за 80 мм. Тому обробка таким фрезами площин і уступів, ширина яких не перевищує 80 мм, є неефективною. Окрім того, конструктивні особливості існуючих збірних касетних фрез зумовлюють високу собівартість їх виготовлення. А конфігурація вставних касет суттєво обмежує універсальність цього інструменту і робить кожен конструкцію придатною до виконання лише певного технічного завдання. З метою створення більш універсального інструменту в Отто вон Геріке Університеті Магдебург (Німеччина) була розроблена конструкція збірних торцевих фрез з вставними касетами з круглим хвостовиком. Форма вставних касет робить конструкцію технологічнішою ніж представлені на ринку різального інструменту конструкції. Розроблена конструкція дозволяє на базі одного корпусу використовувати касети з різними формами різальних пластин, що дозволяє виконувати ширший спектр технічних завдань та оброблювати більшу кількість матеріалів. Але поряд з перевагами існуюча конструкція збірних торцевих фрез з вставними касетами з круглим хвостовиком має і недоліки, на усунення яких направлена дана робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В напрямку розвитку металорізальної техніки вже багато років успішно співпрацюють наукові школи Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» та Отто вон Геріке Університету Магдебург (Німеччина).

Дана робота є продовженням і результатом серії докторських і магістерських дисертацій на базі ОВГУ, які були направлені на те, щоб покращити продуктивність, ефективність, якість та стабільність процесу торцевого фрезерування.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення системи вставних касет з круглим хвостовиком торцевих збірних фрез для розширення їх функціональних можливостей.

Для досягнення поставленої мети в рамках магістерської дисертації були вирішені наступні задачі:

1. Проведення аналізу конструкцій та умов експлуатації фрез для обробки площин;
2. Удосконалення конструкції вставної касети з круглим хвостовиком з метою розширення функціональних можливостей збірних торцевих фрез;
3. Визначення величин зусиль різання розрахунковим методом та на основі моделювання процесу торцевого фрезерування в програмі

- AdvantEdge Third Way Systems; Провести порівняльну оцінку визначених зусиль різання різними методами;
4. Визначення теоретичних границі міцності та умов експлуатації удосконаленої конструкції;
 5. Проведення лабораторно-експериментальної перевірки результатів теоретичного дослідження.

Об'єктом дослідження є процес обробки плоских поверхонь торцевими фрезами оснащеними різальними пластинами з надтвердих матеріалів.

Предмет дослідження є торцеві збірні фрези з вставними касетами з круглим хвостовиком з пластинами з надтвердих матеріалів для обробки плоских поверхонь деталей зі сталі.

Методи досліджень. Теоретичні та експериментальні дослідження, розробка практичних рекомендацій проводилися на базі використання положень технології машинобудування, теорії інструментального виробництва, теорії різання металів, засобів математичного моделювання на ЕОМ, засобів САД-моделювання та засобів сучасного дослідження ергономічних характеристик розроблюваного продукту. Лабораторно-експериментальні дослідження проводилися з використанням сучасної вимірювальної техніки.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше була запропонована конструкція збірних торцевих фрез за базі вставних касет з круглим хвостовиком з розширеними функціональними можливостями.

Розроблена класифікацію вставних касет по типорозмірами для різних діаметрів фрез.

Були встановлені нормуючі величини зусиль різання при нульових інструментальних поздовжньому і поперечному передніх кутах, що буде використане при подальшому дослідженні удосконаленої конструкції торцевих збірних фрез з вставними касетами з круглим хвостовиком.

Була показана можливість використання результатів числового моделювання для проведення досліджень замість експерименту. Вперше була незалежно встановлена величина похибки симуляційної програми AdvantEdge Third Way Systems, яка спеціально розроблена для моделювання процесів обробки різанням.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 9 наукових робіт, в тому числі: 5 статей – у фахових наукових виданнях, 4 роботи опубліковано одноосібно. Автором по темі опубліковано 2 тези на наукових конференціях, та одну одноосібну роботу.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків та одного додатку. Робота викладена на 115 сторінках, проілюстрована 77 рисунками та 15 таблицями. Список літературних джерел включає 50 найменувань. Додаток містить 24 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет дослідження і задачі, які автор розв'язує у роботі.

У першому розділі проведений аналіз існуючих конструкцій та умов експлуатації торцевих фрез для обробки площин. Були встановлені переваги, які мають збірні касетні фрези в порівнянні з іншими. Були встановлені недоліки існуючої конструкції збірної торцевої фрези з вставними касетами з круглим хвостовиком. В кінці розділу були уточнені поставлені задачі дослідження.

У другому розділі було проведено удосконалення існуючої конструкції вставної касети з круглим хвостовиком збірних торцевих фрез (рис. 1), що дозволило розширити функціональні можливості цих фрез. Для цього були розглянуті запропоновані конструктивні рішення та розроблені типорозміри вставних касет з круглим хвостовиком. Була розроблена конфігурація пазу, яка дозволяє використовувати три різні форми різальних пластин. Був розглянутий метод стабілізації процесу торцевого фрезерування з допомогою використання додаткового масового елемента на корпусі фрези. Для розробки серії збірних торцевих фрез на базі касет з круглим хвостовиком були використані такі сучасні методи дослідження як САД-моделювання та швидке прототипування (Rapid Prototyping). Удосконалена конструкція може бути реалізована на інструменті діаметром від 16 мм до 315 мм.

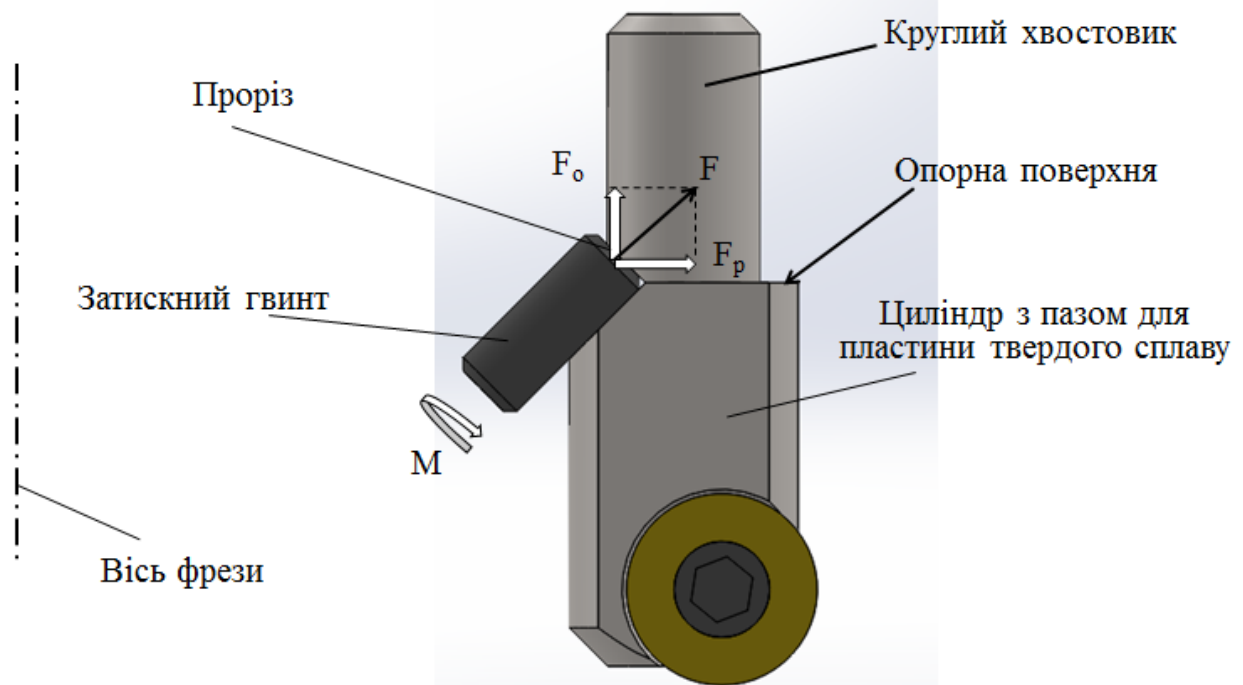


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція вставної касети

У третьому розділі були проведені визначення теоретичної границі міцності та моделювання процесу різання. Зусилля різання були визначені розрахунковим методом та методом моделювання процесу торцевого фрезерування в програмі AdvantEdge Third Way Systems. Результати розрахунків методів були порівняні. Був визначений характер зміни передніх

поздовжнього і поперечного кутів вздовж різальної кромки в статичній системі координат. Також в розділі було проведене теоретичне дослідження границі міцності конструкції касети II типу в програмі Autodesk Inventor (рис. 2).

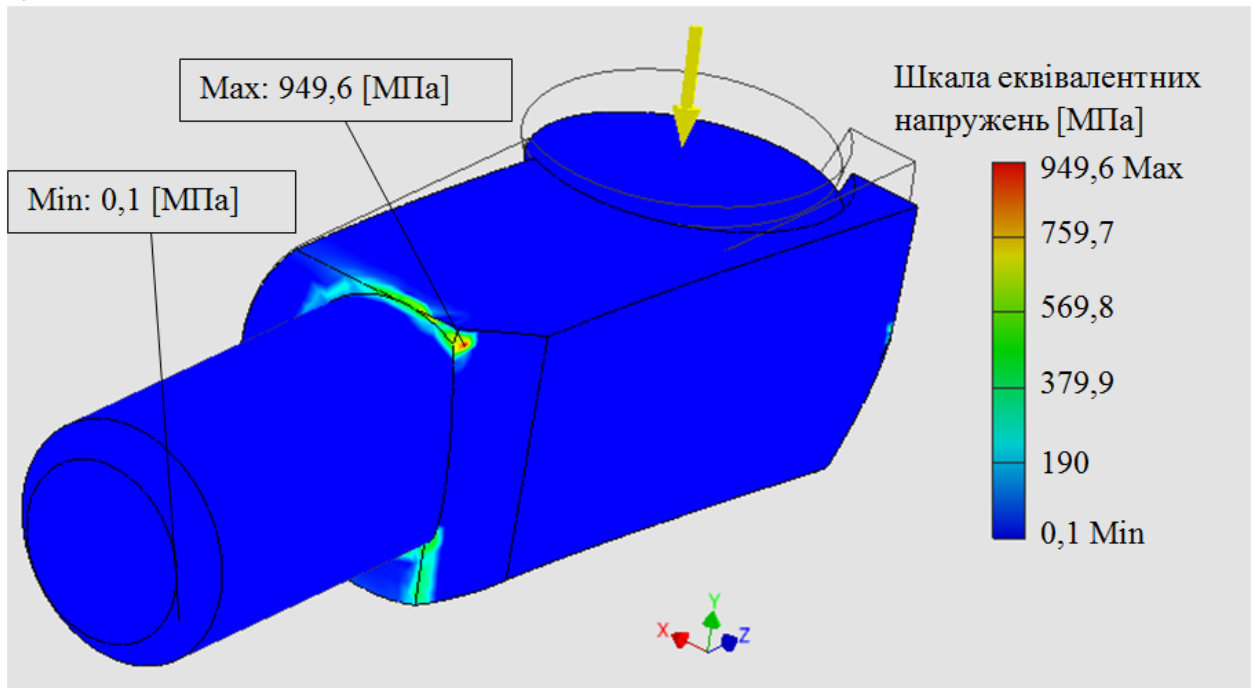


Рисунок 2 – Напружено-деформований стан касети II типу

Завершується другий розділ визначенням теоретичних умов експлуатації удосконаленої конструкції збірної торцевої фрези з вставними касетами з круглим хвостовиком.

У четвертому розділі було проведене лабораторно-експериментальне підтвердження теоретичних досліджень. Для цього був виготовлений експериментальний зразок серії збірних торцевих фрез з вставними касетами з круглим хвостовиком та розроблений стенд для проведення експериментальних досліджень (рис. 3).

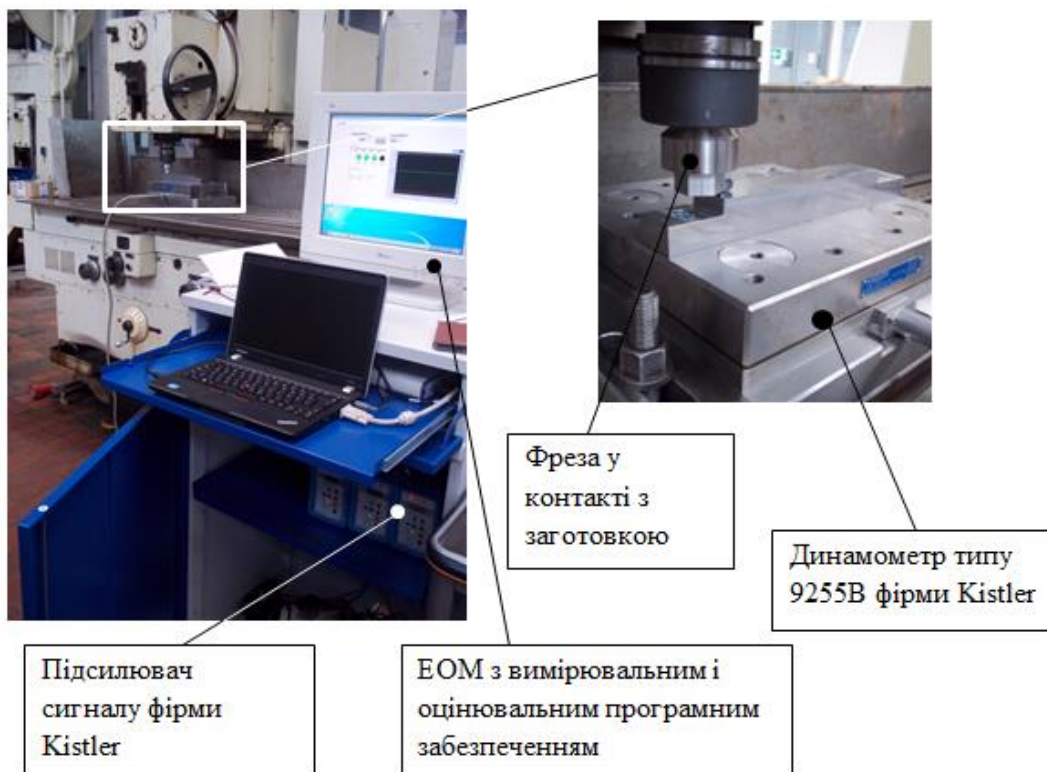


Рисунок 3 – Стенд для проведення експериментів

Завершується четвертий розділ порівнянням результатів чисельного моделювання процесу торцевого фрезерування в програмі AdvantEdge Third Way Systems та результатів лабораторно-експериментальних досліджень, що дозволило встановити величину відхилення симуляційних даних від емпіричних. Також, практично був підтверджений позитивний вплив використання додаткового масового елемента на стабільність процесу різання.

У п'ятому розділі приведена методика виявлення та аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, діючих при роботі в робочому приміщенні, розглянуті загальні вимоги щодо використання комп'ютерів в приміщеннях. Розроблені рекомендації для збереження здоров'я оператора ПК, наведені можливі фактори ураження та методи запобігання їм. Розроблені заходи щодо зниження можливої дії шкідливих і усуненню небезпечних чинників при роботі за ПК. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення, мікроклімату, тощо.

ВИСНОВКИ

1. Були розширені функціональні можливості збірних торцевих фрез з вставними касетами з круглим хвостовиком. Удосконалена конструкція дозволяє на базі одного корпусу використовувати касети з пазами під різальні пластини різної форми, що дозволяє виконувати більш широкий спектр технічних завдань та обробляти різні матеріали. Удосконалена конструкція може бути реалізована на інструменті діаметром від 16 до 315 мм. Для цього були розроблені 4 типи вставних касет, які різняться своїми розмірами. Також, удосконалена конструкція була пристосована до

використання додаткового елемента маси на корпусах фрез діаметром меншим за 80 мм – маховика, що дозволяє стабілізувати процес торцевого фрезерування при обробці даними фрезами.

2. Було проведено порівняння розрахункового методу визначення зусиль різання при торцевому фрезеруванні та методу визначення зусиль шляхом моделювання процесу різання в програмі Third Way Systems AdvatEdge. Були теоретично і експериментально встановлені нормуючі величини зусиль різання при інструментальних передніх поздовжньому куті $\gamma_{\text{поз}}$ та поперечному куті $\gamma_{\text{поп}}$ рівних нулю.

3. Для визначення працездатності удосконаленої конструкції збірної торцевої фрези ($D=50$ мм) було проведено моделювання навантаження в програмі „Autodesk Inventor“, що дозволило визначити теоретичні допустимі навантаження касети II типу, яка була виконана з матеріалу 42CrMo4 (Сталь 40 ХФА). Критичним напруженням відповідають наступні показники сил різання: $P_{\text{окружна}}=2062$ Н, $P_{\text{рад}}=1234$ Н, $P_{\text{осьва}}=750$ Н. Було встановлено, що даним величинам зусиль відповідають технологічні величини процесу торцевого фрезерування: $t=2,9$ мм для глибини різання і $S_z=0,357$ мм/зуб для подачі на зуб.

4. В рамках лабораторно-експериментальних досліджень було встановлено, що удосконалена конструкція збірних фрез на базі касет круглим хвостовиком є цілком придатною для обробки конструктивних сталей і поряд з її технологічно-економічними перевагами дозволяє значно ефективніше оброблювати площини і уступи, особливо, коли ширина таких поверхонь не перевищує 80 мм. При виготовленні прототипу серії збірних фрез були визначені шляхи зниження витрат на виготовлення елементів фрез. Також були підтверджені теоретичні значення величин сил різання при нульових інструментальних передніх кутах ($\gamma_{\text{поз}}=0$, $\gamma_{\text{поп}}=0$), що буде обиратись за вихідний пункт при подальшому дослідженні серії збірних фрез, які будуть проводитись в Отто вон Геріке Університеті Магдебург (Німеччина). для оптимізації геометрії розробленої серії фрез.

Аналіз величин зусиль, які виникають в процесі обробки, дозволив встановити різницю між реальними (емпіричними) даними і даними аналітичними, які були отримані по результатам моделювання процесу торцевого фрезерування в програмі «Third Way Systems AdvatEdge». Максимальна величина розбіжності складає 28%.

Дослідження впливу додаткового елемента маси конструкції – маховика – на корпусі фрези виявило, що збільшення маси інструменту на 78% призводить до покращення якості обробленої поверхні (середньої висоти нерівностей профілю по 10 точках R_z) на 40 %.

СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ

1. Борисенко Д.А., студ.; Равська Н.С., д.т.н., проф.; Карпушевський Б., д.т.н., проф.; Еммер Т., д.т.н., доц. Удосконалена конструкція вставних касет з круглим хвостовиком для серії торцевих фрез / Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена Дню науки. – К., 2015. – С.11-12.
2. Borysenko D.A., St.; Ravska N.S., Dr.-Ing., Prof.; Karpuschewski B., Prof., Dr.-Ing., Prof. h.c.; Thomas Emmer T., Dr.-Ing., Doz. Optimierung und Weiterentwicklung eines Rundschaft-Werkzeugsystems für die Fräsbearbeitung/ 1.Studentenkonferenz zur Präsentation von Jahres- und Abschlussarbeiten. – К., 2015. – S.3-4. [Борисенко Д.А., студ.; Равська Н.С., д.т.н., проф.; Карпушевський Б., д.т.н., проф.; Еммер Т., д.т.н., доц.Оптимізація та удосконалення системи вставних касет з круглим хвостовиком для торцевих фрез/ Перша студентська конференція з презентації дипломних робіт – К., 2015. – С.3-4.]
3. Borysenko D. Optimierung und Weiterentwicklung eines Rundschaft-Werkzeugsystems für die Fräsbearbeitung mit kleinen Werkzeugdurchmessern/ Masterarbeit. – OVGU Magdeburg 2015. – S.107 [Борисенко Д. Оптимізація та удосконалення системи вставних касет з круглим хвостовиком для торцевих фрез малих діаметрів/ Магістерська дисертація. – ОБГУ Магдебург 2015. – 107 с.]

АНОТАЦІЯ

Борисенко Д.А. Оптимізація та удосконалення системи вставних касет з круглим хвостовиком для торцевих фрез

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

В рамках магістерської дисертації були розширені функціональні можливості збірних торцевих фрез з вставними касетами з круглим хвостовиком. Удосконалена конструкція дозволяє на базі одного корпусу використовувати касети з пазами під різальні пластини різної форми, що дозволяє виконувати більш широкий спектр технічних завдань та обробляти різні матеріали. Удосконалена конструкція може бути реалізована на інструменті діаметром від 16 до 315 мм. Для цього були розроблені 4 типи вставних касет, які різняться своїми розмірами. Також, удосконалена конструкція була пристосована до використання додаткового елемента маси на корпусах фрез діаметром меншим за 80 мм – маховика, що дозволяє стабілізувати процес торцевого фрезерування при обробці даними фрезами. Також були теоретично встановлені і практично підтверджені умови експлуатації удосконаленої конструкції.

Окрім того, в роботі були розглянути різні методи визначення зусиль різання при торцевому фрезеруванні та була встановлена величина розбіжності в результатах розрахунків цих методів. Також, в роботі було проведено лабораторно-експериментальне підтвердження теоретичних досліджень, що дозволило емпірично підтвердити нормуючі величини зусиль різання при інструментальних передніх поздовжньому і поперечному кутах рівних нулю. А також, це дозволило незалежно встановити величину похибки симуляційної програми Third Way Systems AdvatEdge та експериментально визначити вплив методу стабілізації процесу торцевого фрезерування шляхом використання додаткового масового елемента.

Ключові слова. Торцеві збірні фрези, вставні касети з круглим хвостовиком, моделювання процесу торцевого фрезерування, фрезерування площин, пластини твердого сплаву, маховик, похибка AdvantEdge Third Way Systems.

АННОТАЦИЯ

Борисенко Д.А. Оптимизация и улучшение системы вставных кассет с круглым хвостовиком для торцевых фрез

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

В рамках магистерской диссертации были расширены функциональные возможности сборных торцевых фрез с вставными кассетами с круглым хвостовиком. Усовершенствованная конструкция позволяет на базе одного корпуса использовать кассеты с пазами под режущие пластины различной формы, что позволяет выполнять более широкий спектр технических задач и обрабатывать различные материалы. Усовершенствованная конструкция может быть реализована на инструменте диаметром от 16 до 315 мм. Для этого были разработаны 4 типа вставных кассет, которые отличаются своими размерами. Также, усовершенствованная конструкция была приспособлена к использованию дополнительного элемента массы на корпусах фрез диаметром меньше 80 мм - маховика, что позволяет стабилизировать процесс торцевого фрезерования при обработке данным фрезами. Также были теоретически установлены и практически подтверждены условия эксплуатации усовершенствованной конструкции.

Кроме того, в работе были рассмотрены различные методы определения усилий резания при торцевом фрезеровании, и была установлена величина расхождения в результатах расчетов этих методов. Также, в работе было проведено лабораторно-экспериментальное подтверждение теоретических исследований, что позволило эмпирически подтвердить нормирующие величины усилий резания при инструментальных передних продольном и поперечном углах равных нулю. А также, это позволило независимо

установить величину погрешности симуляционной программы Third Way Systems AdvatEdge и экспериментально определить влияние метода стабилизации процесса торцевого фрезерования путем использования дополнительного массового элемента.

Ключевые слова. Торцевые фрезы, вставные кассеты с круглым хвостовиком, моделирование процесса торцевого фрезерования, фрезерование плоскостей, пластины твердого сплава, маховик, погрешность AdvantEdge Third Way Systems.

KURZFASSUNG

Dmytro Borysenko. Optimierung und Weiterentwicklung eines Rundschaft-Werkzeugsystems für die Fräsbearbeitung

Masterarbeit im Fach 8.05050302 – Werkzeugbau – Nationale Technische Universität der Ukraine „Kiewer Polytechnisches Institut“ – Kiew, 2015

Im Rahmen der Masterarbeit wurden eine funktionale Vermögen des Rundschaftsystems erweitert. Verbesserte Konstruktion kann mit nur einem Grundkörper Kassetten mit unterschiedlichen Formen des Plattensitzes für WSP anwenden, was ermöglicht, ein breites Spektrum der Arbeitsaufgaben zu bedecken und eine größere Anzahl der Werkstoffen zu bearbeiten. Die verbesserte Konstruktion deckt den Durchmesserbereich von 16 bis 315 mm ab. Dafür wurden vier Kassetten-Typen mit Rundschaft ausgelegt, die sich in den geometrischen Maßen unterscheiden. Die verbesserte Konstruktion des Rundschaftsystems eignet sich zur Einbindung einer zusätzlichen, trennbaren Massenscheibe am Fräswerkzeuggrundkörper der Fräser, die einen Werkzeugdurchmesser kleiner als 80 mm haben. Das führt zur Verbesserung der dynamischen Prozessstabilität beim Fräsen mit kleinen Werkzeugdurchmessern. Außerdem wurden theoretisch und praktisch die Einsatzbedingungen des verbesserten Rundschaftsystems untersucht.

Sowie, im Rahmen der Arbeit wurden unterschiedliche Methoden der Kraftuntersuchung beim Stirnfräsen angewendet, deren Ergebnisse mit einander verglichen wurden. Außerdem wurde in der Arbeit eine experimentelle Bestätigung der theoretischen Untersuchungen durchgeführt, was empirisch die Größe der Zerspankräfte bei der neutralen Geometrie bewiesen wurde. Sowie wurde die Abweichung der Daten der numerischen Simulation im Programm Third Way Systems AdvatEdge von den Daten der experimentellen Untersuchungen unabhängig bestimmt und der Einfluss der Methode der Prozessstabilisierung beim Stirnfräsen anhand zusätzlicher Massenelemente untersucht.

Schlüsselwörter. Stirnfräser, Rundschaftsystem, Kassetten, Simulation des Stirnfräsens, Planfräsen, Wendeschneidplatten, Massenscheibe, Abweichung AdvantEdge Third Way Systems.