

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

**ПОЛУПАН ІВАН ІВАНОВИЧ**

УДК 621.9.23

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ  
КОЛІСНИХ ПАР ЗБІРНИМИ РІЗЦЯМИ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Краматорськ – 2016

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 керівник кандидат технічних наук, доцент,  
старший науковий співробітник  
**Гузенко Віталій Семенович**,  
Донбаська державна машинобудівна академія,  
м. Краматорськ,  
професор кафедри комп'ютеризованих  
мехатронних систем, інструменту  
та технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Антонюк Віктор Степанович**,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»,  
професор кафедри виробництва приладів;

кандидат технічних наук  
**Кобельник Володимир Романович**,  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль,  
доцент кафедри конструювання верстатів,  
інструментів та машин

Захист відбудеться 1 липня 2016 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К12.105.02 у Донбаській державній машинобудівній академії за адресою: 84313, Донецька обл., м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72, корп. 2, ауд. 2313.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: 84313, Донецька обл., м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72, корп. 1 або за web-адресою: <http://www.dgma.donetsk.ua/zahisti-u-radi-d12.105.02.html>.

Автореферат розісланий 30 травня 2016 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
канд. техн. наук, доцент



С. Л. Міранцов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасних умовах на підприємствах залізничного транспорту трудомісткість і собівартість ремонту зросла в декілька разів у зв'язку з недостатньою заміною гранично зношеного рухомого складу.

Для стійкого економічного розвитку України необхідна надійна робота рухомого складу, який експлуатується тривалий час і потребує періодичного ремонту, головним чином колісних пар, які є одними з основних частин залізничних вагонів.

Процес відновлення профілю колісних пар на колесотокарних верстатах є однією із затратних складових технологічного процесу ремонту рухомого складу і є складною технологічною операцією, яка характеризується відносно невисокою продуктивністю та цілим рядом технологічних особливостей.

Для процесу обточування коліс характерні коливання в широкому діапазоні припуску, твердості оброблюваної поверхні тощо. У залежності від виду пошкодження профілю колісної пари глибина різання є змінною величиною і може досягати 14...16 мм, а твердість оброблюваної поверхні – до 900 НВ і більше.

Крім того, колесо має складний фасонний профіль, що приводить у процесі обробки до зміни кута контакту різального інструменту з деталлю від 0 до 105°. Перераховані фактори та їх зміна в процесі обробки приводять, при роботі із завчасно запрограмованим режимом, до значних коливань теплових і силових навантажень на інструмент, що призводить до передчасного виходу інструмента з ладу внаслідок викришування та поломки різальної пластини, а також пластичних деформацій і руйнування елементів механічного кріплення.

Тому розробка й реалізація методів і засобів підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями є актуальною науково-технічною задачею, вирішення якої надасть можливість підвищити надійність роботи рухомого складу залізничного транспорту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до програми науково-дослідних робіт: Дк-08-04 «Удосконалення технологічного середовища для автоматизованого виробництва продукції важкого машинобудування» (№0105U002445), Д-05-2007 «Дослідження динамічних явищ і процесів та підвищення ефективності механообробки на основі теорії фракталів і детермінованого хаосу» (№0107U001305), Д-04-2009 «Зниження енергозатрат обробки деталей в умовах складних динамічних процесів різання на унікальних верстатах важкого машинобудування» (№0109U002670), Дк-01-2014 «Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих мехатронних верстатострументальних систем важкого машинобудування» (№0114U002757), Д-01-2015 «Підвищення енергоефективності процесів механообробки на основі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічних систем важкого машинобудування» (№0115U003122).

Тема дисертаційної роботи відповідає науковій тематиці кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» ДДМА в області проектування збірного різального інструменту.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар за рахунок поліпшення міцнісних і динамічних характеристик збірних різців, зростання продуктивності процесу механічної обробки, якості конструкції та експлуатації збірних різців для відновлення профілю колісних пар.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

1. Визначити фактори та дослідити умови експлуатації, проаналізувати характер і структуру відмов збірних різців для відновлення профілю колісних пар в умовах складних динамічних навантажень.

2. Дослідити вплив конструктивних параметрів різальної пластини збірних різців для відновлення профілю колісних пар на напружено-деформований стан конструкції, форми різальної пластини збірних різців на величину та характер розподілення напружень.

3. Виявити вплив елементів режиму різання при відновленні колісних пар на напружено-деформований стан збірних різців для відновлення профілю колісних пар.

4. Розробити математичні моделі опису динамічної системи «верстат – інструмент – деталь» для дослідження коливань збірних різців для відновлення профілю колісних пар і перевірити їх адекватність.

5. За отриманими результатами удосконалити конструкції збірних різців для відновлення профілю колісних пар в умовах складних динамічних навантажень.

**Об'єкт дослідження.** Процес відновлення профілю колісних пар.

**Предмет дослідження.** Міцнісні та динамічні характеристики конструкцій збірних різців для відновлення профілю колісних пар.

**Методи досліджень.** Наукові дослідження базувались на теоретичних основах теорії різання металів і формоутворення поверхонь, теорії проектування та якості різального інструменту, теорії математичного моделювання. Для розрахунку напружено-деформованого стану збірного інструменту використовувався метод скінченних елементів. Експериментальні дослідження проведені з використанням методик, розроблених на основі теорії експерименту та методів математичної статистики, сучасної вимірювальної апаратури, розроблених апаратних і програмних засобів. Для обробки експериментальних результатів використовувалась сучасна комп'ютерна техніка та програмне забезпечення.

### **Наукова новизна**

1. Уперше узагальнено динамічні характеристики збірних різців в умовах складних динамічних навантажень, нерівномірності припуску, змінних фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу в процесі обробки колісних пар, які необхідні для удосконалення збірних різців для відновлення профілю колісних пар.

2. Уперше встановлено особливості характеру й структури відмов збірних чашкових різців і різців з тангенціальним кріпленням пластини для відновлення профілю колісних пар, які можуть бути використані для підвищення їх експлуатаційних характеристик.

3. Удосконалено математичну модель динамічної системи «верстат – інструмент – деталь», яка вперше враховує конструкцію та характер навантаження збірного різця для відновлення профілю колісних пар як підсистему, що складається з окремих елементів.

4. Отримано моделі напружено-деформованого стану різальних елементів збірних різців для відновлення профілю колісних пар, які враховують особливості контактної взаємодії різальної пластини з елементами механічного закріплення та корпусом інструменту.

5. Уточнено розподіл реакцій з боку опорних і упорних поверхонь пластини з елементами базування збірних різців при різних способах закріплення та навантаження силами різання, що дозволяє підвищити точність розрахунків і виявити небезпечний переріз у тілі пластини.

6. Запропоновано ієрархічну систему властивостей якості збірних різців для відновлення профілю колісних пар, яка дозволяє кількісно оцінити якість конструкції та експлуатації збірних різців для відновлення профілю колісних пар із використанням кваліметричного підходу, проводити евристичний пошук раціональної конструкції різців та умов їх експлуатації.

### ***Практична цінність отриманих результатів***

1. Розроблено методику забезпечення розрахунку контактних напружень на передній поверхні різального леза для оцінювання конструкції збірних різців для відновлення профілю колісних пар за техніко-економічними параметрами з метою збільшення ресурсу роботи збірного металорізального інструменту на операціях чорного точіння.

2. Створено удосконалені конструкції вузлів кріплення пластин збірного чашкового різця, а також збірного різця з тангенціальним кріпленням пластини для відновлення профілю колісних пар.

3. Розроблено рекомендації з підвищення ефективності відновлення профілю колісних пар збірними різцями з покращеними динамічними характеристиками вузлів кріплення різальних пластин.

4. Удосконалені конструкції збірних різців для відновлення профілю колісних пар дозволяють підвищити продуктивність обробки в середньому на 15 %, знизити витрати інструменту на 21...26 %, а також можуть бути використані для механообробки в інших областях машинобудування.

Новизну отриманих результатів підтверджено патентами України № 32230 від 12.05.2008 р., № 45677 від 25.11.2009 р., № 74617 від 12.11.2012 р.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ) в курси «Різальний інструмент», «Оптимізація процесів різання», «Основи теорії якості різальних інструментів», а також у Публічному акціонерному товаристві «Краматорський завод важкого верстатобудування», Товаристві з обмеженою відповідальністю «ВАЖСТАНКОСЕРВІС», Відкритому акціонерному товаристві «Холдингова компанія «Луганськтепловоз», що дозволило зменшити витрати інструменту на 21...26 %, підвищити продуктивність обробки колісних пар на 15 % та отримати загальний річний економічний ефект в розмірі 105 тис. грн.

***Особистий внесок здобувача.*** Основні результати роботи, які виносяться на захист, одержані автором особисто. Постановка завдань досліджень, розробка методології та підходів до їх вирішення визначалися спільно з науковим керівником. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: [1; 8] – розрахунки визначення раціонального кута нахилу конусного спряження розрізної втулки з оправкою удосконаленої конструкції збірного чашкового різця; [2] – експериментальні дослідження процесу відновлення профілю колісних пар збірним інструментом; [3; 4; 7; 19] – розрахунки напружено-деформованого стану збірних різців для обробки колісних пар; [5; 6; 12; 14; 17] – розроблено динамічні моделі елементів технологічної системи процесу відновлення колісних пар; [9–11] – введення нових елементів кріплення різальних пластин удосконалених конструкцій збірних різців; [13] – дослідження основних видів відмов збірних різців для відновлення колісних пар; [15; 16; 18] – розроблено удосконалені конструкції збірних різців для відновлення профілю колісних пар.

***Апробація результатів дисертації.*** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку»

(м. Краматорськ, ДДМА, 2007, 2008, 2013, 2015); Міжнародній науково-технічній конференції «Машиностроение и техносфера XXI века» (г. Севастополь, ДонНТУ, 2008); ІХ Всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Запоріжжя, ЗНТУ, 2009); Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, ТНТУ, 2010); Міжнародній науково-технічній конференції «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Механообработка» (г. Севастополь, СевНТУ, ДонНТУ, 2011); 9<sup>th</sup> International Quality Conference (Kraguevac, Serbia, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kraguevac, 2015) і засіданнях кафедри комп'ютеризованих мехатронних систем, інструменту та технологій у Донбаській державній машинобудівній академії.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи викладено в 19 наукових працях, з яких: 8 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття в науковому виданні, включеному до міжнародних науково-метричних баз, 3 патенти України на корисну модель і 8 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел із 137 найменувань на 15 сторінках, чотирьох додатків на 13 сторінках. Повний обсяг роботи, у якому викладено її основний зміст, становить 170 сторінок, у тому числі 93 ілюстрації, 18 таблиць.

## 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** проведено аналіз літературних джерел за напрямками досліджень вчених у галузі процесів механічної обробки та відновлення профілю колісних пар. Значний внесок у вирішення актуальних проблем процесів механічної обробки, проектування та експлуатації різальних інструментів внесли такі вчені: Г. І. Грановський, М. М. Зорев, Т. Н. Лоладзе, А. Д. Макаров, В. О. Остаф'єв, Н. С. Равська, Г. П. Клименко, В. Д. Ковальов, В. О. Залога, А. І. Грабченко, Ю. М. Внуков, Г. Л. Хаєт, Є. В. Мироненко, В. С. Гузенко та інші. Проблема механічної обробки при виготовленні та ремонті деталей рухомого складу займалися вчені Д. Г. Євсєєв, Б. В. Захаров, Д. Л. Юдін, С. В. Альохін, М. М. Машньов, І. А. Іванов, О. О. Рауба, С. В. Урушев та інші.

У процесі аналізу особливостей технологічного процесу відновлення профілю колісних пар встановлено, що методи колесотокарної обробки широко розповсюджені серед методів формоутворення профілю поверхні катання колісних пар, а основною причиною, що впливає на зниження продуктивності колесотокарної обробки, є високий ступінь нестаціонарності процесу різання, який виражається в значних коливаннях перерізу зрізуваного шару, а також динамічних ударних навантажень при відновленні профілю колісної пари.

Аналіз конструкцій збірних різців для відновлення профілю колісних пар показав, що процес обробки в основному виконується збірними чашковими різцями та різцями з тангенціальним кріпленням пластини. Однак недоліком вказаних

конструкцій є недостатня жорсткість кріплення різальних пластин по упорній та опорній поверхням, що призводить до викривувань і поломок пластин.

У результаті аналізу методів дослідження напружено-деформованого стану різального інструменту встановлено переваги методу скінченних елементів для досліджень збірних різців.

Проведений аналіз існуючих методів досліджень коливань збірних різців і визначення їх якості показав необхідність розробки методів і засобів підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями.

У **другому розділі** наведено методику проведення досліджень та опис використаного устаткування. Методика охоплює аналіз середовища функціонування збірних різців для відновлення профілю колісних пар, що дозволило створити банк даних, який передбачав накопичення, математичну обробку та оперативне використання статистичних даних,.

Методика визначення властивостей збірного інструменту проводилась шляхом експертного визначення комплексних властивостей збірного інструменту та побудовання дерева властивостей, що визначає якість інструменту. Дослідження напружено-деформованого стану збірних різців для відновлення профілю колісних пар проводили методом скінченних елементів з використанням програмного продукту ANSYS.

Колівання збірних різців для відновлення профілю колісних пар досліджували шляхом побудови математичної моделі процесу відновлення колісних пар, до складу якої окремо входила підсистема збірного різального інструменту, яка складалась з окремих елементів.

Для експериментальних досліджень використовувались збірні різці з чашковими пластинами з твердих сплавів Т5К10, Т14К8, ТТ10К8Б по ГОСТ 3882-74 і їх аналоги із серії МС: МС131, МС121, МС221 по ТУ 48-19-308–80. Геометричні параметри пластин:  $s = 9,52$  мм,  $d = 27,8$  мм,  $d_1 = 18,4$  мм,  $d_2 = 10$  мм,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\alpha = 11^\circ$ . Режими різання:  $v_{piz} = 38$  об/хв,  $t = 5 \dots 10$  мм,  $s = 1,2 \dots 2$  мм/об.

Експериментальні дослідження коливань збірного різального інструменту проводились за допомогою розробленого вібровимірювального комплексу, що дозволяв фіксувати та оброблювати величини відносних віброприскорень збірних різців.

Дані віброприскорень приймались як ідентифікаційні ознаки процесу коливань, що виникають при обробці колісних пар.

У **третьому розділі** наведено результати досліджень видів відмов чашкових і тангенціальних пластин збірних різців, які виникають у процесі відновлення профілю колісних пар залізничного транспорту.

На основі сформованого банку даних відмов збірних різців для відновлення профілю колісних пар побудовано закони розподілу величин руйнування різальних пластин.

Так, для чашкових пластин (об'єм вибірки  $n = 350$ ) розподіл величин руйнування (рис. 1) по ширині пластини не суперечить закону Вейбулла-Гнеденка

та має вигляд:  $f(\Delta) = 0,05 \cdot \Delta^{1,29} \cdot e^{-\left(\frac{\Delta}{5,19}\right)^{2,29}}$ , де  $\Delta$  – величина руйнування; розподіл величин руйнування по висоті пластини не суперечить експоненціальному закону і має такий вигляд:  $f(\Delta) = 0,48 \cdot e^{-0,48\Delta}$ .

Встановлено, що ширина зрізу (особливо в зоні переходу від галтелі до реборди) має більший вплив на відмову інструмента, ніж товщина зрізу. Це вказує на те, що ширина зрізу має більш суттєвий вплив на динаміку процесу різання.

Для тангенціальних пластин (об'єм вибірки  $n = 300$ ) розподіл величин руйнування (рис. 2) по висоті пластини не суперечить закону Вейбулла-Гнеденка та

має такий вигляд:  $f(\Delta) = 0,05 \cdot \Delta^{0,52} \cdot e^{-\left(\frac{\Delta}{5,5}\right)^{1,5}}$ ; розподіл величин руйнування по ширині пластини не суперечить закону Вейбулла-Гнеденка та має такий вигляд:

$f(\Delta) = 0,1 \cdot \Delta^{0,49} \cdot e^{-\left(\frac{\Delta}{5,96}\right)^{1,49}}$ ; розподіл величин руйнування по довжині пластини не суперечить експоненціальному закону та має такий вигляд:  $f(\Delta) = 0,12 \cdot e^{-0,12\Delta}$ .

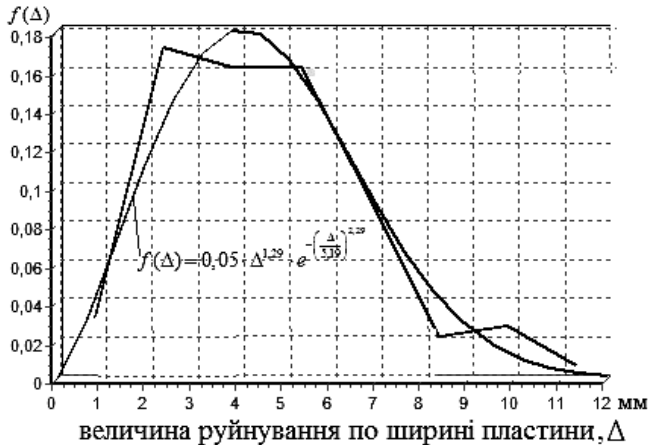


Рисунок 1 – Розподіл величин руйнування ( $\Delta$ ) чашкової пластини

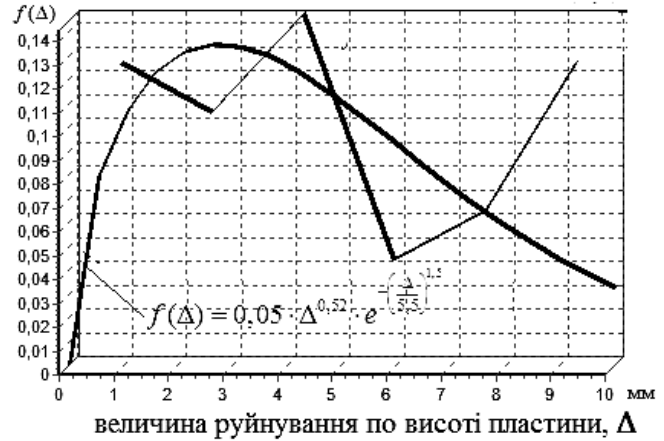
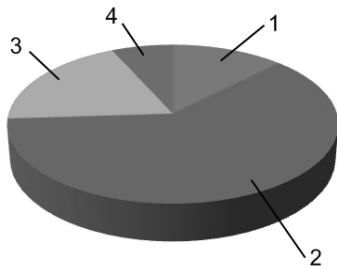


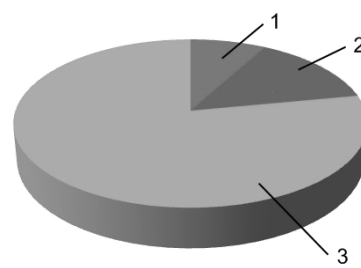
Рисунок 2 – Розподіл величин руйнування ( $\Delta$ ) призматичної пластини

Аналіз сформованого банку даних відмов збірних різців для відновлення профілю колісних пар показав, що основними видами спрацювання різальної частини чашкових пластин (рис. 3) є: спрацювання – 12,5 %, викришування частинок пластини (0,2...0,5 мм) – 61,5 %, відколки (0,5...2 мм) – 19,2 % і поломки пластини – 6,8 % (умови різання:  $v_{piz} = 52$  об/хв,  $t = 3...6$  мм,  $s = 1.2...4$  мм/об). Основними видами спрацювання різальної частини призматичних пластин (рис. 4) є: затуплення – 8 %, викришування частинок пластини (до 1 мм) – 14 %, відколки та поломки пластини – 78 %. (умови різання:  $v_{piz} = 38$  об/хв,  $t = 5...10$  мм,  $s = 1.2...2$  мм/об).



1 – спрацювання; 2 – викришування частинок пластини; 3 – відколки, 4 – поломки пластини

Рисунок 3 – Статистика відмов чашкових пластин



1 – затуплення, 2 – викришування частинок пластини, 3 – відколки та поломки пластини

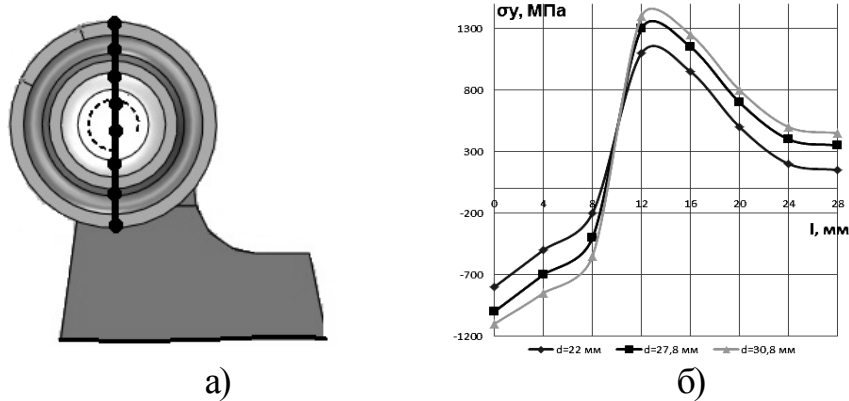
Рисунок 4 – Статистика відмов тангенціальних пластин

Для дослідження напружено-деформованого стану різальної кромки збірного чашкового інструменту застосований метод скінченних елементів, розрахунки проводили в програмному середовищі ANSYS.

Як базу для розрахунків прийняли різальну пластину збірного чашкового різця RPUX2709MO24 з твердого сплаву T14K8, діаметр якої  $d = 27,8$  мм. Геометричні параметри пластини:  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\alpha = 11^\circ$ .



Для визначення зони максимальних розтягувальних напружень на поверхні різальної пластини (рис. 5, а) збірного чашкового різця проведено відповідні розрахунки, у результаті яких було встановлено, що максимальні розтягувальні напруження на поверхні різальної пластини  $\sigma_y$  (рис. 5, б) виникають на відстані 12...16 мм від вершини різця (при обробці колісної пари в зоні переходу від галтелі до реборди, тобто зоні максимальних глибин різання).



а – схема вимірювань напружень; б – нормальні напруження  $\sigma_y$

Рисунок 5 – Схема вимірювань і результати розрахунку нормальних напружень  $\sigma_y$  на поверхні різальної пластини збірного чашкового різця

Подальші розрахунки напружено-деформованого стану збірного чашкового різця проводились у зоні максимальних нормальних розтягувальних напружень поверхні різальної пластини збірного чашкового різця в залежності від ділянки обробки колісної пари (рис. 6).

Навантаження сил різання прикладались до передньої поверхні пластини в напрямку дії складових сил різання  $P_z$  і  $P_y$ . Величини складових сили різання визначались згідно з загальномашинобудівними режимами різання для важких верстатів для кожної ділянки обробки профілю колісної пари.

Розрахунки проводились для різних діаметрів різальної пластини:  $d = 22$  мм; 27,8 мм; 30,8 мм. Результати розрахунку пружних переміщень різальної кромки збірного чашкового різця базової конструкції в напрямку осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  показали, що максимальні пружні переміщення виникають на ділянці обробки по колу катання та на ділянці зони переходу від галтелі до реборди, де знімається максимальний припуск.

Для підвищення надійності базування чашкової пластини по упорній і опорній поверхням збірного різця було розроблено удосконалену конструкцію з пружною розрізною втулкою (рис. 7).

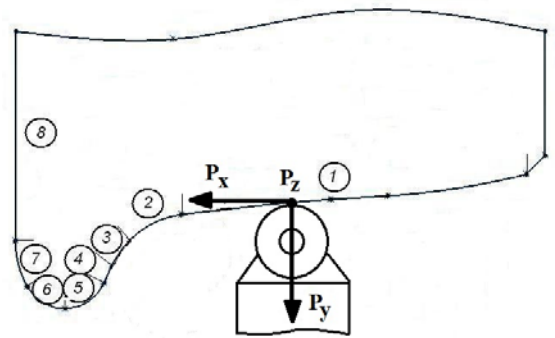


Рисунок 6 – Розрахункова схема для визначення напружено-деформованого стану збірного чашкового різця в залежності від ділянки обробки колісної пари



Рисунок 7 – Удосконалена конструкція збірного чашкового різця (патент №74617)

Порівняльний аналіз пружних переміщень різальної частини збірного чашкового різця базової та удосконаленої конструкцій показав, що на ділянці 1 (рис. 6) величина пружних переміщень вздовж осі  $X$  зменшилась у 3,7 разу, вздовж осі  $Y$  – в 1,9 разу, вздовж осі  $Z$  – в 1,5 разу; а на ділянці 3 (рис. 6) величина пружних переміщень вздовж осі  $X$  зменшилась у 4,3 разу, вздовж осі  $Y$  – у 2 рази, вздовж осі  $Z$  – в 1,5 разу.

Результати розрахунку нормальних напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  на передній поверхні різальної пластини в залежності від ділянки обробки та діаметра пластини показали, що максимальні напруження на різальній пластині виникають на ділянках обробки (рис. 6) 1 ( $\sigma_x$  – до 1010 МПа,  $\sigma_y$  – до 1400 МПа) і 2 ( $\sigma_x$  – до 525 МПа,  $\sigma_y$  – до 400 МПа).

Еквівалентні напруження за Мізесом на вказаних ділянках зростають до значень 1292 и 769 МПа, відповідно.

Порівняльний аналіз нормальних і еквівалентних напружень на різальній пластині базової та удосконаленої конструкцій збірного чашкового різця (рис. 8), довів зниження величини нормальних розтягувальних напружень:  $\sigma_x$  – у 2,6 разу,  $\sigma_y$  – в 1,1 разу,  $\sigma_z$  – в 1,4 разу, а також зниження величини еквівалентних напружень  $\sigma_3$  – в 1,14 рази.

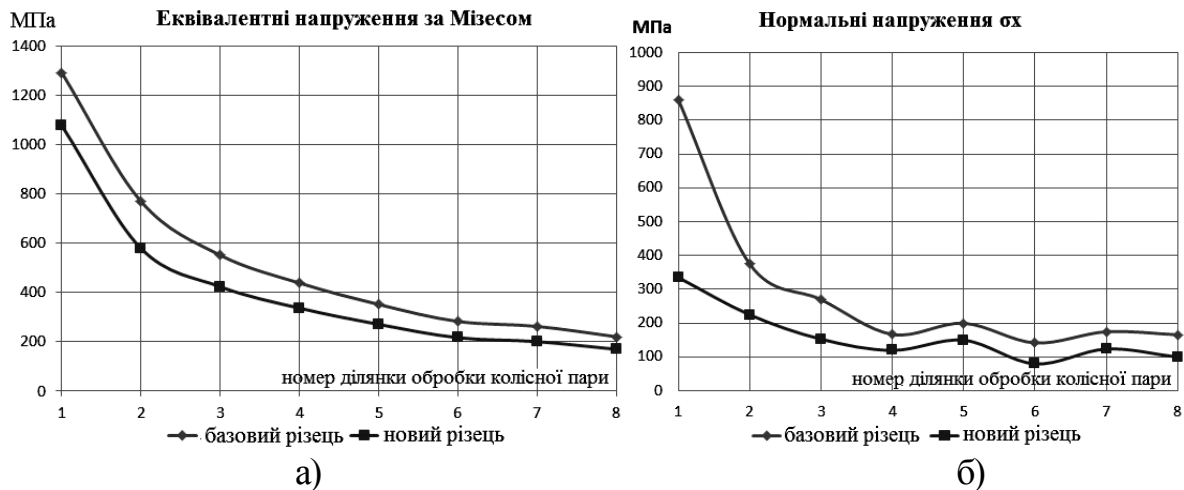


Рисунок 8 – Порівняння еквівалентних (а) і нормальних  $\sigma_x$  (б) напружень різальної пластини базової та удосконаленої конструкцій

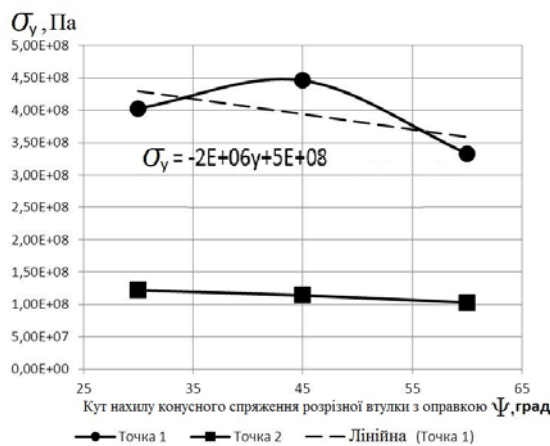


Рисунок 9 – Графіки залежності нормальних напружень  $\sigma_y$  в різальній пластині від куту  $\psi$

З метою максимально жорсткого закріплення різальної пластини удосконаленої конструкції збірного чашкового різця визначено раціональний кут нахилу конусного спряження розрізної втулки з оправкою  $\Psi$ .

Розрахунки проводили для таких значень кутів:  $\Psi = 30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ . Значення напружень реєстрували на різальній пластині в точках найбільшої їх концентрації – поблизу кріплення гвинтом і поблизу різальної кромки.

Результати розрахунку (рис. 9) показали, що поблизу різальної кромки (точка 2) максимальні напруження  $\sigma_y = 125$  МПа виникають при куті конусу  $\Psi = 30^\circ$ , а мінімальні  $\sigma_y = 100$  МПа – при куті конусу  $\Psi = 60^\circ$ . Поблизу кріплення пластини гвинтом (точка 1) максимальні

напруження  $\sigma_y = 450$  МПа виникають при куті конусу  $\Psi = 45^\circ$ , а мінімальні  $\sigma_y = 320$  МПа – при куті конусу  $\Psi = 60^\circ$ .

Таким чином, раціональним кутом нахилу конусного спряження розрізної втулки з оправкою є кутом  $\Psi = 60^\circ$ .

Для розрахунку напружено-деформованого стану збірного різця з тангенціальним кріпленням пластини прийнята базова конструкція (рис. 10, а). Тип різальної пластини – LNMХ 191940-22, матеріал – МС221.

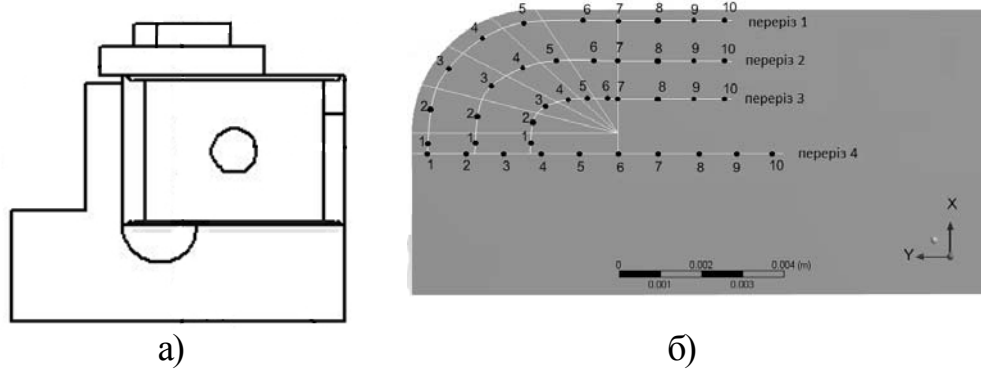


Рисунок 10 – Базова конструкція збірного різця з призматичною пластинною (а) та розрахункова схема (б) для визначення напружено-деформованого стану різця

Схема розташування перерізів, в яких визначались напруження (рис. 10, б), така: переріз 1 розташований на відстані 0,5 мм від різальної кромки, а наступні перерізи 2, 3, 4 – через 1 мм кожний відповідно.

Розрахунки проводили для таких режимів різання:  $v = 12$  об/хв,  $s = 2$  мм/об,  $t = 5$  мм, величини складових сили різання:  $P_x = 3900$  Н,  $P_y = 3950$  Н,  $P_z = 9150$  Н.

Результати розрахунку напружено-деформованого стану збірного різця з тангенціальним кріпленням пластини показали, що по мірі віддалення від різальної кромки величина стискувальних напружень зменшується, а розтягувальних – збільшується. Максимальні розтягувальні напруження досягають свого значення за контактною зоною на відстані 3,5 мм від різальної кромки, що відповідає ділянці 7–8 перерізу 3. Також встановлено, що на максимальний характер розтягувальних напружень у більшій мірі чинять вплив нормальні напруження  $\sigma_z$ .

Для більш надійного базування різальної пластини по опорній поверхні збірного різця з тангенціальним кріпленням пластини запропонований затискний елемент (рис. 11), який щільно притискає різальну пластину до упорної та опорної поверхонь, тобто сила затиску болта  $P_{кр}$  і складова сили різання  $P_z$  створюють момент пари сил, який постійно притискає пластину до опорної поверхні, не дозволяючи утворитися зазору між ними.

Аналіз напружено-деформованого стану різальної пластини удосконаленої конструкції показує, що в перерізі 1 (рис. 10, б) максимальні еквівалентні напруження (рис. 12, а) зменшились на 14 %, у перерізі 2 (рис. 10, б) – на 9 %, у перерізі 3 (рис. 10, б) – на 5 %, у перерізі 4 (рис. 10, б) – на 12 %. Нормальні розтягувальні напруження (рис. 12, б) у найбільш небезпечному перерізі (на відстані 3,5 мм від різальної кромки) зменшились на 57 %, а розтягувальні напруження розподілені більш-менш рівномірно вздовж перерізу.

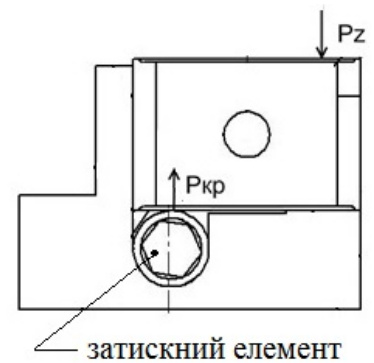


Рисунок 11 – Удосконалена конструкція збірного призматичного різця

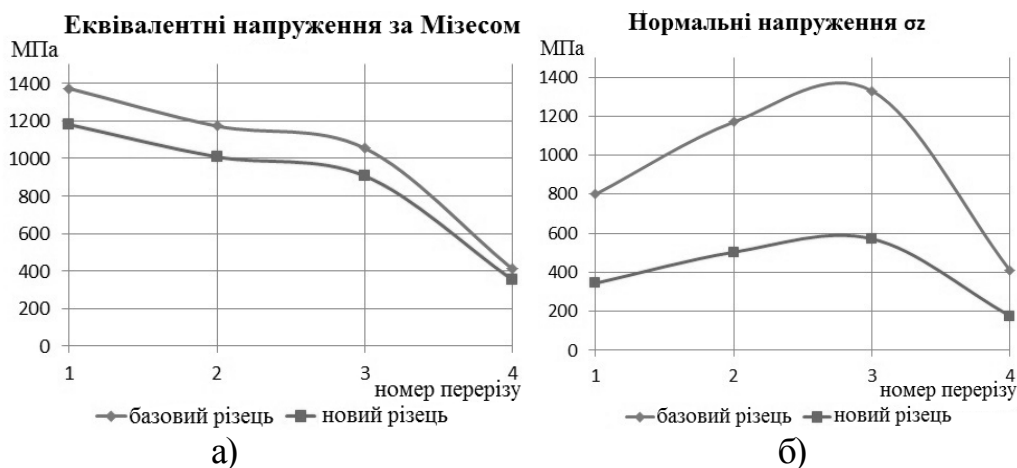


Рисунок 12 – Еквівалентні (а) та нормальні  $\sigma_z$  (б) напруження в перерізах різальної тангенціальної пластини збірного різця базової та удосконаленої конструкцій

Таким чином, застосування удосконаленої конструкції збірного різця з тангенціальним кріпленням пластини дозволяє збільшити жорсткість кріплення інструменту за рахунок гарантованого притиску різальної пластини по опорній поверхні під вершиною до базової поверхні гнізда корпусу.

У четвертому розділі наведено матеріали з вивчення коливань пружної системи збірного чашкового різця базової та удосконаленої конструкцій. На основі розробленої математичної моделі технологічної системи колесотокарного верстата проведено теоретичні дослідження коливань збірного чашкового різця.

З урахуванням отриманих залежностей, які описують процес різання, руху елементів еквівалентної пружної системи (ЕПС) та підсистеми збірного інструменту, математична модель технологічної системи колесотокарного верстата має вигляд (1). У наведеній моделі прийнято такі позначення:  $x_{cm}(t)$ ,  $y_{cm}(t)$  – відповідно, пружні переміщення елементів ЕПС верстата, які визначаються в системі координат  $X - Y$ ;  $x_{ин}(t)$ ,  $y_{ин}(t)$  – відповідно, пружні переміщення, які виникають у підсистемі збірного інструмента, що визначаються в системі координат  $X - Y$ ;  $\xi(t)$ ,  $\psi(t)$  – відповідно, пружні переміщення, які виникають у підсистемі збірного інструмента, що визначаються в локальній системі координат  $\Xi - \Psi$ ;  $x(t)$ ,  $y(t)$  – відповідно, сумарні пружні переміщення елементів, що визначаються в системі координат  $X - Y$ ;  $T_{11}$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{21}$ ,  $T_{22}$  – сталі часу, сек;  $K_{px}$ ,  $K_{py}$  – відповідно, питомі значення складових сили різання  $P_x(\tau)$  і  $P_y(\tau)$ , Н/мм<sup>2</sup>,  $r$  – радіус різця, мм;  $s_0$  – подача, мм/об;  $t_0$  – глибина різання, мм.

Структурна розрахункова схема технологічної системи колесотокарного верстата показана на рис. 13. У технологічній схемі прийнято такі позначення:  $P_x(t)$ ,  $P_y(t)$  – складові сил різання, Н;  $C_x$ ,  $C_y$  – зведені коефіцієнти демпфування, Н·с/м, відповідно, у напрямках осей  $x$  та  $y$ ;  $K_x$ ,  $K_y$  – зведені коефіцієнти жорсткості, Н/м, відповідно, у напрямках осей  $x$  та  $y$ ;  $D_x$ ,  $D_y$  – похибка встановлення деталі, мм, у напрямках осей  $x$  та  $y$ ;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  – переміщення збірного різця деталі, мм, у напрямках осей  $x$  та  $y$ ;  $M$  – момент обертання деталі, Н·м,  $s$  – подача, мм/об.

Використовуючи математичну модель (1) технологічної системи колесотокарного різця, побудовано амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) (рис. 14) базової та удосконаленої конструкцій збірного чашкового різця в залежності від ділянки обробки (рис. 6).

$$\left. \begin{aligned}
 & m\ddot{x}_{cm}(t) + C_x \dot{x}_{cm}(t) + K_x x_{cm}(t) = P_x(t); \\
 & m\ddot{y}_{cm}(t) + C_y \dot{y}_{cm}(t) + K_y y_{cm}(t) = P_y(t); \\
 & T_{11}^2 \ddot{\xi}(t) + T_{12} \dot{\xi}(t) + \xi(t) = (P_x(t) \cos(\phi) + P_y(t) \sin(\phi)) / k_\xi; \\
 & T_{21}^2 \ddot{\psi}(t) + T_{22} \dot{\psi}(t) + \psi(t) = -(P_x(t) \sin(\phi) + P_y(t) \cos(\phi)) / k_\psi; \\
 & P_x(t) = \frac{K_{px}}{\sin \phi} K_p(t) \left[ S_0 + \Delta D_x \cdot \sin(\omega t + q_0) - \frac{t_0 \cdot S_0}{r \cdot \arccos \frac{r-t_0}{r}} \right] \times \\
 & \quad \times \left[ t - \frac{2t_0}{2t_0 - a_{cp}} r \cdot \arccos \frac{r-t_0}{r} \right]; \\
 & P_y(t) = \frac{K_{py}}{\sin \phi} K_p(t) \left[ t_0 + \Delta D_y \cdot \sin(\omega t + q_0) - \frac{2t_0}{2t_0 - a_{cp}} r \cdot \arccos \frac{r-t_0}{r} \right] \times \\
 & \quad \times \left[ S_0 - \frac{t_0 \cdot S_0}{r \cdot \arccos \frac{r-t_0}{r}} \right]; \\
 & y_{un}(t) = -\xi(t) \sin(\phi) + \psi(t) \cos(\phi); \\
 & x_{un}(t) = -\xi(t) \cos(\phi) - \psi(t) \sin(\phi); \\
 & x(t) = x_{cm}(t) + x_{un}(t); \\
 & y(t) = y_{cm}(t) + y_{un}(t);
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

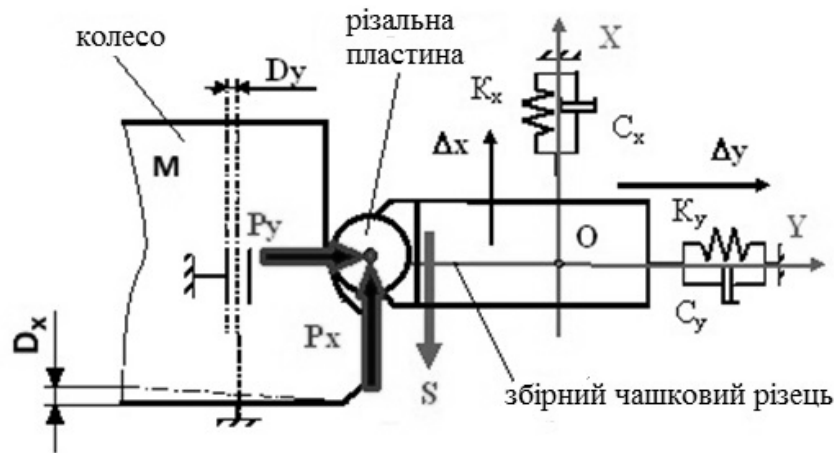


Рисунок 13 – Структурна розрахункова схема технологічної системи колесотокарного верстата

Діапазон амплітуд коливань пружної системи збірної різця базової конструкції знаходиться в межах від  $0,15 \cdot 10^{-7}$  до  $1,3 \cdot 10^{-7}$ , у той час як для удосконаленої конструкції – від  $0,1 \cdot 10^{-7}$  до  $0,72 \cdot 10^{-7}$  (зменшення від 1,5 до 1,8 разу), що характеризує більш стабільний режим роботи удосконаленими конструкціями різців.

Для визначення запасу стійкості базової та удосконаленої конструкцій збірної чашкового різця для відновлення профілю колісних пар використовувався критерій Найквіста. Амплітудно-частотно-фазові характеристики (АФЧХ) (рис. 15) пружної системи збірної чашкового різця розраховувалися для різних ділянок обробки колісної пари (рис. 6).



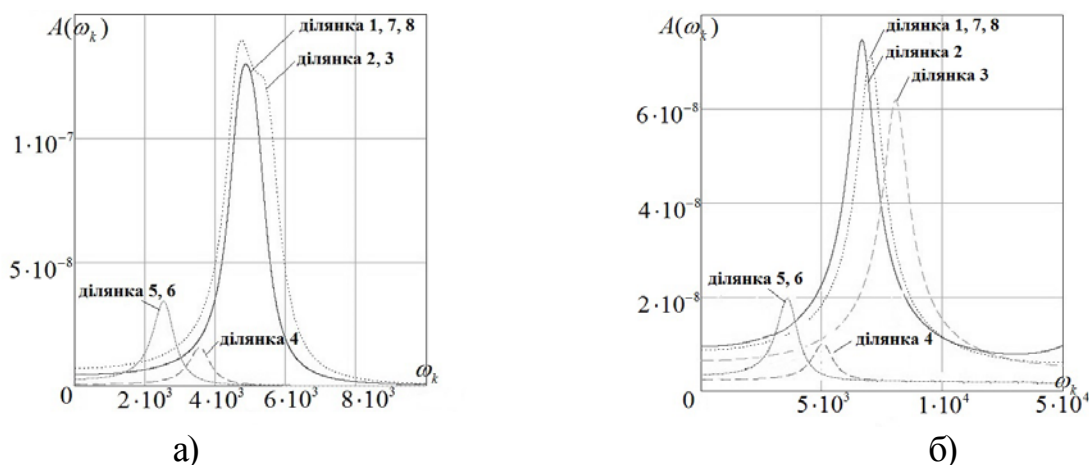


Рисунок 14 – АЧХ базової (а) та удосконаленої (б) конструкції збірного чашкового різця

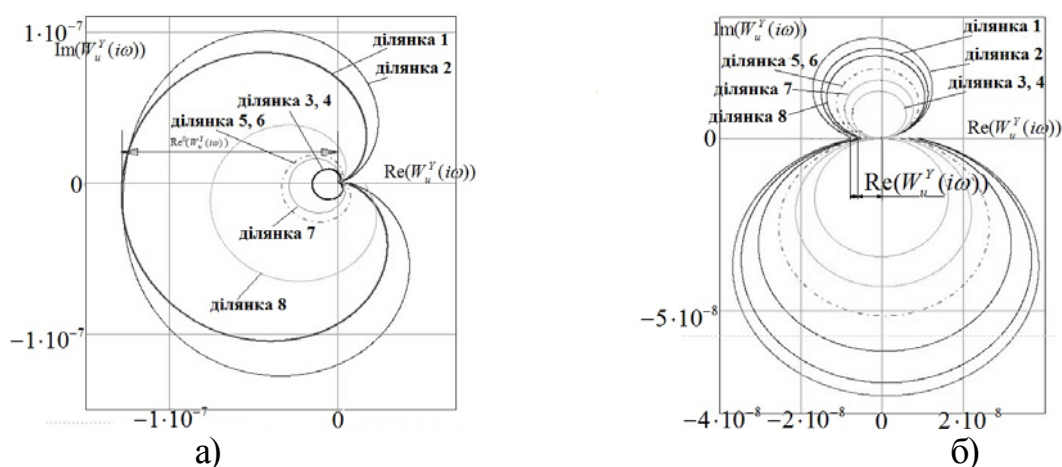


Рисунок 15 – АФЧХ базової (а) та удосконаленої (б) конструкції збірного чашкового різця

Аналіз АФЧХ базової конструкції збірного чашкового різця показав, що довжина відрізка на від'ємній осі  $\text{Re}^0(W_u^Y(i\omega))$  (де  $W_u^Y(i\omega)$  – передатна функція збірного чашкового різця,  $\text{Re}^0$  – дійсна частина передатної функції  $W_u^Y(i\omega)$ ) на ділянках обробки 1 і 2 (рис. 6):  $\text{Re}^0(W_u^Y(i\omega)) = 1,3 \cdot 10^{-7}$ .

Для удосконаленої конструкції збірного чашкового різця АФЧХ маємо: для ділянки 1 (рис. 7)  $\text{Re}^0(W_u^Y(i\omega)) = 1,8 \cdot 10^{-8}$ , а для ділянки 2 (рис. 7)  $\text{Re}^0(W_u^Y(i\omega)) = 1,9 \cdot 10^{-8}$ . Таким чином, запас стійкості пружної системи удосконаленої конструкції збірного чашкового різця при відновленні колісних пар збільшився на ділянці обробки 1 (обробка по колу катання) в 7,2 разу; на ділянці обробки 3 (перехід від галтелі до реборди) – у 6,8 разу.

Аналіз отриманих експериментальних даних виконувався з використанням дискретного перетворювання Фур'є за допомогою програмного комплексу Matlab 8.0. Аналіз амплітудно-частотних характеристик (рис. 16) свідчить про наявність коливань інструмента в області низьких частот ( $f = 0 \dots 1000$  Гц), при цьому коливання різця відбувається на частотах  $f_1 = 115$  Гц,  $f_2 = 410$  Гц. Наявність низькочастотної складової в АЧХ збірних чашкових різців для відновлення профілю колісних пар обумовлена коливаннями, котрі накладаються на коливання інструменту за принципом суперпозиції, елементів системи «верстат – деталь», які мають значну

масу. Аналіз високочастотних коливань ( $f = 1000 \dots 10 \text{кГц}$ ) показує наявність коливань різальної пластини на частотах  $f_1 = 3200 \text{Гц}$ ,  $f_2 = 8500 \text{Гц}$ .

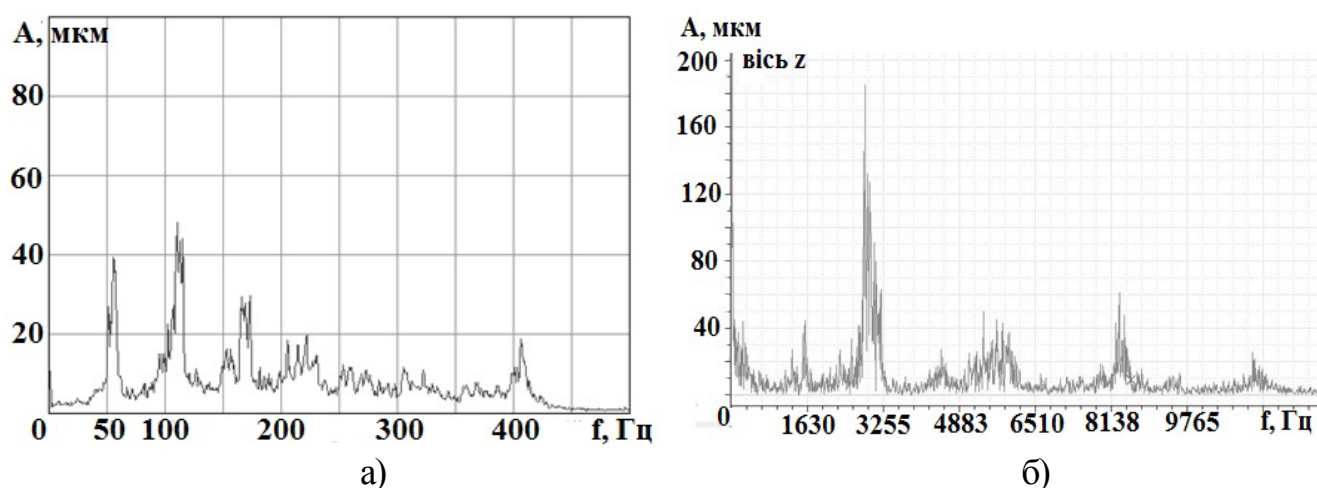


Рисунок 16 – АЧХ низькочастотних (а) і високочастотних (б) коливань збірною чашкового різця

Вимірювальні датчики, які були встановлені на супорті верстата, не зафіксували високочастотні коливання у вказаному діапазоні частот, що свідчить про незначність їх амплітуди в порівнянні з інструментом.

Як приклад, на рис. 17 наведено залежності амплітуди коливань збірних чашкових різців від швидкості різання і подачі в області низьких частот.

Залежність амплітуди коливань збірною чашкового різця від швидкості різання є прямо пропорційною. Для процесу обробки колісних пар на колесотокарних верстатах залежність амплітуди коливань від швидкості різання має монотонний характер, тобто при збільшенні швидкості різання амплітуда коливань збірною чашкового різця збільшується.

Залежність амплітуди коливань збірною чашкового різця від подачі має теж монотонний характер. Тобто при збільшенні подачі відбувається зниження величини амплітуди коливань збірною чашкового різця, що пояснюється зростанням сил різання, з іншого боку, збільшення подачі, а, відтак, і товщини зрізу, приводить до збільшення демпфировальної спроможності самої зони різання.

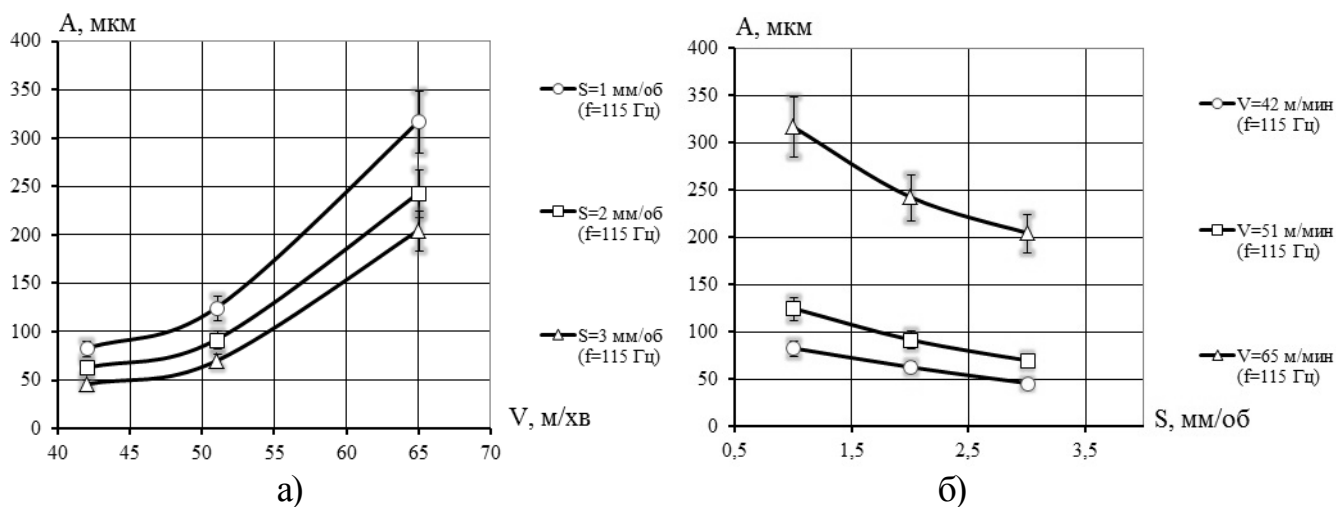


Рисунок 17 – Залежність амплітуди коливань збірних чашкових різців від швидкості різання (а) і подачі (б) в області низьких частот у процесі відновлення профілю колісних пар

У п'ятому розділі описано впровадження результатів роботи в умовах виробництва при реалізації технологічного процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями в Публічному акціонерному товаристві «Краматорський завод важкого верстатобудування», Товаристві з обмеженою відповідальністю «ВАЖСТАНКОСЕРВІС», Відкритому акціонерному товаристві «Холдингова компанія «Луганськтепловоз».

Впровадження виконане за рахунок використання розробленого збірного різального інструменту для підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар.

З метою підвищення надійності базування по упорній поверхні отвору різальної пластини при її закріпленні збірного чашкового різця запропоновано удосконалені конструкції (патенти №32230; №74617), які забезпечують підвищення жорсткості кріплення та стійкості інструменту за рахунок зменшення вібрацій шляхом більш надійного базування різальної пластини по поверхні отвору. Для підвищення надійності збірного різця з тангенціальним кріпленням пластини було запропоновано удосконалену конструкцію (патент №45677), у якій забезпечується гарантований прижим різальної пластини по опорній поверхні, яка розташована під різальною вершиною інструмента.

Використання кваліметричного підходу до кількісного оцінювання якості інструментів дозволив розробити ієрархічну систему властивостей, які складають якість збірного різального інструменту для відновлення профілю колісних пар.

Ієрархічна система властивостей якості збірних різців для відновлення профілю колісних пар складається з властивостей, розташованих у системі на 4 рівнях. Нижчий рівень має властивості якості прості, кількісна оцінка  $K_i$  яких здійснювалась

відношенням до аналогічного показника базової конструкції  $P_{баз} : K_i = \frac{P_i}{P_i^{баз}}$ .

Кількісна оцінка показника  $P_i$  визначалась за результатами експерименту або експертно. Номенклатура показників властивостей якості також визначалась експертно.

Застосування методу експертних оцінок дозволило визначити, на які саме експлуатаційні параметри збірного різального інструменту мають найбільший вплив.

На основі аналізу розробленої ієрархічної системи властивостей, що складають якість збірного різального інструмента для відновлення профілю колісних пар, проведено ранжування та визначення вагомості властивостей, які складають якість збірного різального інструмента для відновлення профілю колісних пар.

Ранжування властивостей здійснювалось за 10-бальною шкалою. На вищих рівнях ієрархічної системи рівень якості  $Y$  визначався так:  $Y = K_i \cdot B_i$ , де  $B_i$  – вагомість (ступень важливості)  $i$ -ї властивості якості збірного різця. При цьому

$B_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$ , де  $R_i$  – ранг  $i$ -ї властивості,  $n$  – кількість властивостей, які складають

комплексний показник якості.

Оцінку ступеня узгодженості думок експертів визначено за допомогою коефіцієнта конкордації Кенделла, оскільки отримане значення коефіцієнта наближається до 1, то можна стверджувати, що між думками експертів є значний збіг, а тому такі результати можна вважати достовірними. Таким чином, отримано результати апріорного ранжиру властивостей розробленого збірного різального інструменту.



На основі отриманих даних складено кругову діаграму (рис. 18), що показує ранжування властивостей розробленого збірного різального інструменту для відновлення профілю колісних пар (у відсотковому відношенні).



Рисунок 18 – Ранжування властивостей збірної різальної конструкції

Випробування збірних різців для відновлення профілю колісних пар базової та удосконаленої конструкцій проводились методом руйнівної подачі в лабораторних умовах на токарному верстаті 1А64.

Розрахунок рівня якості удосконалених конструкцій збірної чашкового різця та збірної різця з призматичною пластиною показав його підвищення в 1,2 і 1,7 рази, відповідно, у порівнянні з базовими конструкціями.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу підвищення ефективності збірних різців, які використовуються в процесі відновлення профілю колісних пар.

При цьому одержано такі основні результати:

1. На основі аналізу літературних джерел визначено зовнішні фактори, що впливають на ефективність процесу відновлення профілю колісних пар шляхом покращення міцнісних і динамічних характеристик збірних різців за рахунок надійного базування різальної пластини по опорній та упорній поверхням, а також знизити витрати інструменту за рахунок зменшення кількості відмов різальних пластин.

2. Встановлено, що особливостями структури відмов збірних чашкових різців і різців з тангенціальним кріпленням пластини є те, що більший вплив на відмову інструмента має ширина зрізу, ніж товщина, особливо в зоні переходу від галтелі до реборди, що обумовлює її більш суттєвий вплив на динаміку процесу різання.

3. Створено удосконалені конструкції збірних різців підвищеної міцності для відновлення профілю колісних пар на основі результатів розрахунку напружено-деформованого стану елементів збірних різців, які враховують контактну взаємодію різальної пластини з елементами механічного закріплення та корпусом інструменту.

4. Удосконалені конструкції збірних різців для обробки колісних пар дозволили суттєво підвищити жорсткість вузла кріплення в напрямках осей жорсткості  $x$  (до 4 разів) і  $y$  (до 2 разів) за рахунок гарантованого прижиму різальної пластини по опорній поверхні під вершиною до базової поверхні гнізда корпусу;

а також знизити максимальні еквівалентні напруження різальної частини удосконаленої конструкції збірної різальної інструменти на 5...14 %, нормальні напруження в найбільш небезпечному перерізі – на 57 %.

5. За допомогою вдосконаленої математичної моделі динамічної системи «верстат – інструмент – деталь», яка враховує елементи конструкції кріплення різальної пластини та характер навантаження, встановлено, що запас динамічної стійкості пружної системи нової конструкції збірної чашкового різця підвищується до 7 разів у порівнянні з базовою конструкцією.

6. Застосовано кваліметричний підхід до оцінювання якості конструкції та процесу експлуатації збірних різців для відновлення профілю колісних пар, який дозволив розробити ієрархічну систему властивостей збірних різців, які складають їх якість. Визначено, що найбільш важливими властивостями є міцність конструкції, жорсткість конструкції, динамічні характеристики, експлуатаційна міцність.

7. Упроваджено удосконалені конструкції збірних різців для відновлення профілю колісних пар у Публічному акціонерному товаристві «Краматорський завод важкого верстатобудування», Товаристві з обмеженою відповідальністю «ВАЖСТАНКОСЕРВІС», Відкритому акціонерному товаристві «Холдингова компанія «Луганськтепловоз», що дозволило підвищити продуктивність обробки колісних пар на 15 %, а також знизити витрати інструменту на 21...26 %, збільшити якість збірних конструкцій в 1,2 і 1,7 рази, відповідно, а також дало загальний річний економічний ефект понад 105 тис. грн в рік.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Effectiveness Rising of Wheel-Pairs Renewal by Cup-Tip Cassette Tool / V. Kovalov, V. Guzenko, P. Dašić, I. Polupan // Applied Mechanics and Materials : Scientific Focus. – Zürich, Switzerland : Trans Tech Publications, 2015. – Vol. 806. – P. 94–98. (*Видання включене до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS.*) (*Дисертантом проведено розрахунки для визначення раціонального кута нахилу конусного спряження розрізної втулки з оправкою удосконаленої конструкції збірної чашкового різця.*)

2. Полупан И. И. Исследование динамических явлений при резании сборным резцом для копировальной обработки / В. С. Гузенко, С. Л. Миранцов, И. И. Полупан / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – Вип. № 21. – С. 92–97. (*Фахове видання*) (*Дисертантом проведено експериментальні дослідження процесу відновлення профілю колісних пар збірним чашковим інструментом.*)

3. Полупан И. И. Повышение эксплуатационных характеристик чашечного резца для колесотокарного станка / В. С. Гузенко, С. Л. Миранцов, И. И. Полупан / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – Вип. № 22. – С. 41–45. (*Фахове видання*) (*Дисертантом проведено розрахунки напружено-деформованого стану збірних чашкових різців для відновлення профілю колісних пар.*)

4. Исследование влияния схемы крепления на прочность резцов с тангенциальным расположением пластин / И. И. Полупан, В. С. Гузенко, О. В. Колот, С. Л. Миранцов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Машинобудування і машинознавство» : зб. наук. праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – Вип. № 6 (154). – С. 101–106. (*Фахове видання*) (*Дисертантом проведено розрахунки напружено-деформованого стану збірних різців з призматичними пластинами для відновлення профілю колісних пар.*)

5. Исследование динамической устойчивости процесса механообработки колесных пар / И. И. Полупан, В. С. Гузенко, С. Л. Миранцов, А. А. Шульга // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2009. – Вип. № 25. – С. 22–27. (**Фахове видання**) (*Дисертантом розроблено динамічну модель процесу відновлення колісних пар на колесотокарному верстаті КЖ1836.*)

6. Полупан И. И. Повышение виброустойчивости сборных резцов при черновой обработке колесных пар / И. И. Полупан // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – Вип. № 27. – С. 41–45. (**Фахове видання**) (*Дисертантом розроблено динамічну модель пружної системи збірної чашкового різця для відновлення профілю колісних пар.*)

7. Полупан И. И. Повышение прочности сборных чашечных резцов при обработке колесных пар / В. С. Гузенко, С. Л. Миранцов, И. И. Полупан // Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт» : зб. наук. праць. – Севастополь : СевНТУ, 2011. – Вип. № 118. – С. 23–26. (**Фахове видання**) (*Дисертантом проведено розрахунки еквівалентних і нормальних напружень різальної частини збірної чашкового різця для відновлення профілю колісних пар у залежності від ділянки обробки.*)

8. Полупан И. И. Исследование влияния усилий закрепления режущей пластины по цилиндрическому отверстию на динамические характеристики сборного резца / Г. П. Клименко, В. С. Гузенко, И. И. Полупан // Вісник НТУ «ХП». Серія: технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – Вип. № 4 (1113). – С. 101–103. (**Видання включене до міжнародних науково-метричних баз даних Google Scholar, Russian Science Citation Index, Ukrainian abstract journal «Dzherelo».**) (*Дисертантом проведено динамічний аналіз при визначенні раціонального кута оправки удосконаленої конструкції збірної чашкового різця.*)

9. Патент № 32230, Україна, МПК<sup>7</sup> В23В 27/16. Різальний інструмент / Гузенко В. С., Полупан І. І. – № u200714595 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9. – 4 с.

10. Патент № 45677, Україна, МПК<sup>7</sup> В23В 27/16. Збірний різальний інструмент / Гузенко В. С., Колот О. В., Міранцов С. Л., Полупан І. І. – № u200904245 ; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22. – 4 с.

11. Патент № 74617, Україна, МПК<sup>7</sup> В23В 27/16. Різальний інструмент / Гузенко В. С., Полупан І. І. – № u200904245 ; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21. – 4 с.

12. Полупан И. И. Исследование динамических характеристик колесотокарного станка КЖ1836 при резании / В. С. Гузенко, О. Ф. Бабин, И. И. Полупан / Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XV Междунар. научн.-техн. конф. – Донецк : ДонНТУ. – 2008. – Т. 1. – С. 269–273. (*Дисертантом розроблено динамічну модель пружної системи «різець – супорт» колесотокарного верстата КЖ1836.*)

13. Полупан И. И. Анализ условий эксплуатации сборных резцов при обработке колесных пар локомотивов / И. И. Полупан // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 100. – ISBN 978-966-379-567-6. (*Дисертантом досліджено основні види відмов збірних різців для відновлення колісних пар.*)

14. Полупан И. И. Улучшение динамических характеристик сборных чашечных резцов для обработки колесных пар / И. И. Полупан // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 111. – ISBN 978-966-379-567-6.

15. **Полупан И. И.** Усовершенствование конструкций сборных резцов для контурной обработки на колесотокарных станках / И. И. Полупан // *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво* : зб. тез доповідей IX Всеукр. молодіжної наук.-техн. конф. – Запоріжжя, 2009. – С. 77–79. – ISBN 978-611-529-010-9.

16. **Полупан І. І.** Удосконалення конструкцій збірних різців для контурної обробки на колесотокарних верстатах / І. І. Полупан // *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій* : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. – Тернопіль, 2010. – С. 210. – ISBN 966-305-007-7.

17. **Полупан И. И.** Динамическая модель процесса восстановления колесных пар сборным инструментом / И. И. Полупан // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – С. 95. – ISBN 978-966-379-567-6.

18. Соловйов В. В. Повышение эффективности восстановления колесных пар на основе исследования прочностных и динамических характеристик сборных резцов / В. В. Соловйов, С. Л. Миранцов, И. И. Полупан // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XIII Міжнар. наук.-техн. конф. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – С. 83. – ISBN 978-966-379-567-6.

19. Kovalov V. Research of the construction parameters in elements of fastening of tip on the durability of split cup-tip tool / V. Kovalov, V. Guzenko, I. Polupan // *9<sup>th</sup> International Quality Conference: Conference manual*. – Kraguevac, Serbia : Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kraguevac, 2015. – Scientific Focus 1. – P. 94-98. – ISBN 978-86-6335-015-1.

## АННОТАЦИЯ

Полупан И. И. Повышение эффективности процесса восстановления профиля колесных пар сборными резцами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2016.

Диссертация посвящена повышению эффективности процесса восстановления профиля колесных пар сборными резцами. Проведен анализ литературных источников в области механической обработки колесных пар подвижного состава. Проанализирована структура отказов сборных резцов для восстановления профиля колесных пар. На основании результатов статистических исследований сборных резцов для восстановления профиля колесных пар установлено, что ширина среза при обработке сборным чашечным инструментом (особенно в зоне перехода от гребня к поверхности круга катания) имеет большее влияние на отказ инструмента, чем толщина среза, что обуславливает ее более существенное влияние на динамику процесса резания. Установлено, что недостатком конструкций сборных резцов для обработки колесных пар является ненадежное базирование режущей пластины по упорной и опорной поверхностям. Разработана методика анализа напряженно-деформированного состояния сборных резцов для восстановления профиля колесных пар методом конечных элементов.

Разработана методика исследований динамических характеристик технологической системы, которая позволяет рассмотреть сборный резец для восстановления профиля колесных пар как сборную многомассовую конструкцию

и путем моделирования процесса колебаний прогнозировать выход из строя инструмента в зависимости от сочетания амплитуды и частоты. Динамический анализ устойчивости упругой системы усовершенствованной конструкции сборного резца для восстановления профиля колесных пар показал, что, запас устойчивости динамической упругой системы сборного инструмента возрос до 7 раз.

Экспериментальные исследования колебаний сборных резцов для восстановления профиля колесных пар резцов позволили установить адекватность предложенной методики и модели, а также доказать, что разработанные усовершенствованные конструкции сборных резцов позволяют повысить производительность обработки колесных пар на 15 %, а также снизить расход инструмента на 21...26 %.

На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны усовершенствованные конструкции сборных резцов для восстановления профиля колесных пар. На основании квалитетического подхода к оценке качества конструкции и процесса эксплуатации сборных резцов для восстановления профиля колесных пар разработана иерархическая система свойств, составляющих их качество, а также рассчитана количественная оценка уровня качества конструкции и процесса эксплуатации сборных резцов для восстановления профиля колесных пар.

**Ключевые слова:** среда функционирования, колесная пара, сборный чашечный резец, сборный резец с тангенциальным креплением пластины, математическая модель, напряженно-деформированное состояние, качество сборного режущего инструмента

## АНОТАЦІЯ

Полупан І. І. Підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями. – 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, Краматорськ, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності процесу відновлення колісних пар збірними різцями. Проведено аналіз літературних джерел в області механічної обробки колісних пар рухомого складу.

Проаналізовано структуру відмов збірних різців для відновлення профілю колісних пар. Встановлено, що недоліком конструкцій збірних різців для відновлення профілю колісних пар є ненадійне базування різальної пластини по упорній і опорній поверхням. Розроблено методику аналізу напружено-деформованого стану збірних різців для відновлення профілю колісних пар методом скінченних елементів.

Розроблено методику досліджень динамічних характеристик технологічної системи, яка дозволяє розглянути збірний різець для відновлення профілю колісних пар як збірну багатомасову конструкцію і шляхом моделювання процесу коливань прогнозувати вихід з ладу інструменту в залежності від поєднання амплітуди та частоти. Експериментальні дослідження коливань збірних різців для відновлення профілю колісних пар дозволили встановити адекватність запропонованої методики та моделі.

На базі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено удосконалені конструкції збірних різців для відновлення профілю колісних пар. На основі

кваліметричного підходу до оцінювання якості конструкції та процесу експлуатації збірних різців для відновлення профілю колісних пар розроблено ієрархічну систему властивостей, що складають їх якість, а також розраховано кількісну оцінку рівня якості конструкції та процесу експлуатації збірних різців для відновлення профілю колісних пар.

**Ключові слова:** середовище функціонування, колісна пара, збірний чашковий різець, збірний різець з тангенціальним кріпленням пластини, математична модель, напружено-деформований стан, якість збірного різального інструменту

## ANNOTATION

Polupan I. I. Increase the efficiency during the process of wheel-pairs contour renewal by cup-tip tools. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.03.01 – Processes of machining, machine tools and tools. – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2016.

The dissertation is devoted heightening of efficiency of process of wheel-pairs contour renewal by cup-tip tools. The assaying of references in the field of machining job of wheel-pairs of a rolling stock is carried out. The structure of refusals of cup-tip tools for wheel-pairs contour renewal is analyzed. It is fixed that deficiency of constructions of by cup-tip tools for handling of wheel-pairs is unreliable referencing of a cutting plate on persistent and basic surfaces. The technique of the assaying of the is intense-deformed condition of by cup-tip tools is developed for wheel-pairs contour renewal by a finite element method.

The technique of probes of dynamic characteristics of technological system which allows to consider a cup-tip tool for wheel-pairs contour renewal as a modular multimass construction is developed and by simulation of process of oscillations to forecast outage of the instrument depending on an amplitude and frequency combination. Experimental researches of oscillations of a cup-tip tools for wheel-pairs contour renewal have allowed to fix adequacy of the offered technique and a sample piece.

On the basis of theoretical and experimental researches advanced constructions of a cup-tip tools for wheel-pairs contour renewal are developed. Ground on qualimetry approach to an estimation of quality of a construction and process of maintenance of cup-tip tool for wheel-pairs contour renewal, the hierarchical system of the properties making their quality is developed, and also the quantitative estimation of quality of a construction and process of maintenance of cup-tip tool for wheel-pairs contour renewal is calculated.

**Keywords:** the functioning environment, a wheel-pair, cup-tip tool, modular cutting tool with tangential strengthening of a plate, the mathematical sample piece, the intense-deformed condition, quality of the modular cutting instrument

*Наукове видання*

**ПОЛУПАН ІВАН ІВАНОВИЧ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ  
ПРОФІЛЮ КОЛІСНИХ ПАР ЗБІРНИМИ РІЗЦЯМИ**

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Підп. до друку 27.05.2016. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9.

Тираж 100 пр. Зам. № 20.

Видавець і виготівник

Донбаська державна машинобудівна академія

84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК №1633 від 24.12.2003