

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

РУБАН ВЛАДИСЛАВ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 621.914.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ
КОЛІСНИХ ПАР ФРЕЗЕРУВАННЯМ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ
НА ВЕРСТАТАХ КЖ20**

Спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Житомир – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладної механіки Національної металургійної академії України Міністерства освіти і науки України, м. Дніпро.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сладковський Олександр Валентинович
Сілезький технічний університет, м. Катовіце, Польща
завідувач кафедри логістики і транспортних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Клименко Сергій Анатолійович
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
Національна Академія наук України, м. Київ,
заступник директора з наукової роботи;

кандидат технічних наук, доцент
Балицька Наталія Олександрівна,
Державний університет «Житомирська політехніка»
Міністерства освіти і науки України, м. Житомир
доцент кафедри механічної інженерії

Захист відбудеться “14” травня 2021 р. об “12⁰⁰” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К14.052.02 у Державному університеті «Житомирська політехніка» за адресою: 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103, ауд. №248.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного університету «Житомирська політехніка» за адресою: 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103, або за веб-адресою: https://ztu.edu.ua/ua/science/sp_academic_council-K1405202.php

Автореферат розісланий “13” квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради К14.052.02
канд. техн. наук, доц.



О. А. Громовий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Підвищення ефективності праці нерозривно пов'язане з вдосконаленням технічних засобів транспорту. Серед різних видів транспорту особливе місце займає залізничний транспорт.

Однією з найважливіших проблем рейкового транспорту є підвищення довговічності і зносостійкості робочого профілю колісних пар. У складних фізико-механічних умовах контактної взаємодії, за наявності високих статичних і динамічних навантажень, температурної дії і присутності абразиву відбувається інтенсивний знос робочого профілю коліс і бандажів, що знижує їх довговічність, зменшує міжремонтний термін та приводить до великих економічних витрат на їх відновлення або ремонт.

Працездатність коліс відновлюється періодичними ремонтами. Найбільш поширеним способом відновлення геометричних параметрів робочого профілю коліс і бандажів є фрезерування робочих поверхонь на колесофрезерних верстатах КЖ20 за допомогою фасонних фрез. Тому ефективність використання транспортних машин значною мірою визначається витратами на ремонт і технічне обслуговування, а наскільки вони великі можна судити по тому що для більшості депо міжремонтний термін експлуатації фасонних фрез для верстатів КЖ20 складає близько 6 місяців. У економічних умовах, витрати на ремонт необхідно істотно зменшити, тому проблема підвищення ефективності її елементів актуальна, особливо з урахуванням значно збільшених цін на металопродукцію.

Таким чином, робота, що спрямована на підвищення ефективності міжремонтного строку робочих поверхонь колісних пар, за рахунок розробки нових конструкцій збірних фасонних фрез до верстатів КЖ20, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана на кафедрі прикладної механіки Національної металургійної академії України (НМетАУ) згідно тематичного плану науково-дослідних робіт та пов'язана з НДР Національної металургійної академії України і є складовою державної програми досліджень на тему «Удосконалення технологій колесофрезерної обробки та розробка нових конструкцій фасонних фрез до верстатів КЖ20» (державний реєстраційний номер 0116U008355, обліковий номер 0219U000741, 2017-2018 рр). Дослідження виконані в рамках програм та відповідають тематиці держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри прикладної механіки НМетАУ. Автор був відповідальним виконавцем роботи 0116U008355.

Мета і завдання дослідження. *Метою дисертаційної роботи* є наукове обґрунтування підвищення ефективності процесу відновлення робочого профілю колісних пар машин рейкового транспорту за рахунок розробки нових конструкцій збірних фасонних фрез до верстатів КЖ20 для підвищення продуктивності процесу механічної обробки, якості обробленої поверхні та покращення умов експлуатації фасонних фрез для ремонту робочої поверхні колісних пар.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні **основні задачі наукового дослідження**:

- здійснити аналіз теоретичних передумов розробки нових конструкцій фасонних фрез для відновлення робочого профілю колісних пар на верстатах КЖ20 та виділити фактори підвищення ефективності процесу;

- розробити математичну модель процесу фрезерування в залежності від сили різання, товщини зрізаного шару, та подачі на різцетримач, для дослідження можливостей підвищення ефективності використання спеціальних фасонних фрез;
- розробити метод визначення величини елементів зрізу, в залежності від конструктивних параметрів при відновленні робочого профілю колісних пар;
- визначити вплив якості налаштування фасонних фрез на якість відновлення робочого профілю колісних пар;
- на основі отриманих результатів, розробити нову модель конструкції спеціальної фасонної фрези до верстатів КЖ20;
- дослідити вплив площі поперечного перерізу зрізу на напружено-деформований стан складових елементів фасонних фрез для відновлення робочого профілю колісних пар;
- розробити рекомендації щодо режимів експлуатації фасонних фрез для забезпечення підвищення ефективності фасонного фрезерування для ремонту робочої поверхні колісних пар на верстатах КЖ20.

Об'єкт дослідження – процес відновлювального ремонту робочого профілю колісних пар збірними фасонними фрезами до колесофрезерних верстатів КЖ20.

Предмет дослідження – вивчення особливостей процесу фасонного фрезерування та визначення на цій основі ефективних конструктивних параметрів фасонних фрез та режимів експлуатації до верстатів КЖ20.

Методи дослідження. Роботу виконано на основі теоретичних досліджень заснованих на фундаментальних закономірностях класичної механіки, теорії різання, опору матеріалів, аналітичного та численного моделювання. Для оцінки достовірності теоретичних досліджень застосовувались експериментальні методи випробувань у лабораторних та виробничих умовах з використанням стандартної вимірювальної апаратури та обладнання. При проведенні досліджень використані методи математичного моделювання із застосуванням комп'ютерної техніки.

Наукова новизна одержаних результатів: полягає в тому, що:

1. Набуло подальший розвиток обґрунтування методів формоутворення складнопрофільних поверхонь кочення колісних пар машин рейкового транспорту та виявлено відмови існуючих фасонних фрез, що стало передумовою розроблення нової конструкції інструменту, яка забезпечує підвищення ефективності обробки на верстатах мод. КЖ20.

2. Отримав подальший розвиток підхід до вивчення процесу фрезерування з двома ступенями свободи складнопрофільної поверхні обертання, який базується на аналізі товщини шару, який знімається одиничним робочим елементом інструменту, та дозволяє підвищити ефективність процесу відновлення колісних пар машин рейкового транспорту за рахунок збільшення продуктивності обробки та якості обробленого виробу.

3. Вперше на основі фізичного моделювання процесу фрезерування поверхонь кочення колісних пар, з врахуванням площі поперечного перерізу зрізу окремим робочим елементом фрези, визначено та комп'ютерним моделюванням підтверджено підхід до визначення тангенціальної складової сили різання в залежності від кількості ріжучих елементів, які мають змінні геометричні параметри, для фасонних фрез до верстата КЖ20.

4. З використанням моделювання методом скінчених елементів набуло подальшого розвитку дослідження напружено-деформуючого стану фасонного фрезерувального інструменту, що дозволило на основі визначених напружень в складових її конструкції, розробити нову фрезу, для якої характерні менші навантаження на робочі елементи та яка забезпечує підвищення продуктивності обробки робочого профілю колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20.

5. Вперше, методом комп'ютерного моделювання розроблено модель спеціальної фасонної фрези до верстату КЖ20, яка враховує кількість різцетримачів та різальних робочих елементів, які забезпечують ефективне перекриття різальних кромки для зниження рівня вібрацій у процесі фрезерування, отримання потрібної шорсткості та точності робочого профілю відновлених колісних пар машин рейкового транспорту.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані залежності, щодо врахування впливу різних факторів на довговічність роботи обладнання в методиці розрахунку геометричних параметрів збірних фасонних фрез.

Розроблено методику розрахунку раціональних геометричних параметрів збірних фасонних фрез, яка дозволяє проектувати корпус фасонної фрези та різцетримачі для фасонної фрези із заданою геометрією.

Новизна технічних рішень здобувача підтверджується патентом на корисну модель № 119973 Україна: (МПК В23С 5/12, В23С 5/14 (25.10.2017), технічні рішення якого, впроваджено в виробництво Дніпропетровському локомотивному депо (акт впровадження від 02.07.2019 р.).

Розроблено метод визначення контактних напружень між різцетримачем та циліндричним різцем, для різних величин параметрів сил може бути використаний для оцінки контактних напружень для існуючих конструкцій фасонних фрез.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес у Національній металургійній академії України (акт впровадження у навчальний процес від 10.09.2019 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні результати за темою дисертації здобувачем отримано особисто.

Результати роботи викладено у 34 працях, з них 13 - одноосібні [1, 4, 6, 11, 12, 14, 15, 23, 24, 25, 26, 28, 32]. У публікаціях, що виконані у співавторстві, дисертантові належить наступне [2] – проведено аналіз дефектів фасонних фрез до верстатів КЖ20, [3] - проведено аналіз дефектів ріжучих елементів фасонних фрез до верстатів КЖ20, [5] - проведено аналіз механізму зносу робочого профілю колісних пар, [7] - проведено моделювання кута нахилу різцетримачів фасонних фрез до верстатів КЖ20, [8] – проведено аналіз процесу відновлення робочого профілю колісних пар на верстатах КЖ20, [9] - проведено порівняльний аналіз шорсткості робочого профілю колісних пар, [10] - представлено метод проектування фасонних фрез до верстатів КЖ20, [13] – запропоновано метод визначення рівномірного фрезерування, [16] – представлено методику для визначення сили різання, [17] – проведено порівняльний аналіз напружено-деформованого стану різальних елементів, [18] – виконано аналіз процесу відновлення робочого профілю

колісних пар, [19] - проаналізовано процес відновлення робочого профілю колісних пар на верстатах КЖ20, [20] – запропоновано дві моделі фасонних фрез, [21] – розглянуто процес відновлення робочого профілю колісних пар на верстатах КЖ20, [22] – проаналізовано робочі профілі колісних пар, [27] – методи підвищення ресурсу фасонних фрез, [29] – розглянуто вплив коефіцієнта тертя на шорсткість робочого профілю, [30] - представлено розроблену фасонну фрезу до верстатів КЖ20, [31] - представлено розроблений пристрій для визначення сили різання, [33] - проаналізовано методику визначення рівномірності фрезерування, [34] – виконано аналіз якості настроювання фасонних фрез.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертації доповідалися та обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях і семінарах: Міжнародній V науково-практичній конференції «Механіка, комп'ютер, освіта» (м. Севастополь, 2001) [18]; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми механіки горно-металургійного комплексу» (м. Дніпропетровськ, 2002) [19]; XI міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2004) [20]; 68 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2008) [21]; Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми і перспективи» (м. Дніпропетровськ, 2008) [22]; III Всеукраїнська науково-технічна конференція «Прогресивні технології в машинобудуванні» (м. Львів, 2015) [23]; 15 Международный научно-технический семинар «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (м. Свалява 2015) [24]; XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»(м. Київ, 2017) [25]; «Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів» (м. Дніпро, 2018) [26]; X Int. Sci. Conf. VII Int. Symposium of Young Researches «Transport Problems'2018» (Katowice, Poland, 2018) [27]; IX міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2019) [28]; X міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2020) [29].

В повному обсязі робота доповідалась на розширеному міжкафедральному науковому семінарі механіко-машинобудівного факультету Національної металургійної академії України в 2020 р. та на розширеному засіданні кафедри прикладної механіки і комп'ютерно-інтегрованих технологій Державного університету «Житомирська політехніка» в 2020 р.

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 34 наукових працях, із них 20 статей (8 статей в фахових виданнях України, 9 статей у іноземних наукових виданнях із них 2 статті індексується наукометричною базою Scopus, 3 статті, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи), 2 патенти на корисну модель України, 12 тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури зі 140 найменувань та 10 додатків. Повний обсяг роботи складає 195 сторінок машинописного тексту з додатками, у тому числі рисунків 63 та таблиць 17.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, вказані наукова новизна, практичне значення одержаних результатів, виділено особистий внесок здобувача, наведено дані щодо публікації результатів дисертаційної роботи у наукових виданнях та її апробації.

У першому розділі розглянуто сучасний стан проблеми підвищення ефективності експлуатації та відновлення робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту на верстаті КЖ20 комплектом спеціальних фасонних фрез.

Проблемами механічної обробки при виготовленні і ремонті, підвищення ефективності експлуатації деталей рухомого складу, займалися вчені Д.Г. Євсєєв, Б.В. Захаров, Д.Л. Юдін, С.В. Алехин, М.М. Машнев, И.А. Іванов, А.А. Рауба, С.В. Урушев та інші, закордонні вчені D. Thompson, С. Collette та інші.

Аналіз відомих способів відновлення якості виробів показав, що для відновлення профілю колісних пар машин рейкового транспорту, зокрема локомотивів, переважним є спосіб фрезерування, оскільки він дозволяє здійснювати обробку без викочування колісних пар, що значно прискорює процес відновлення рухомого складу. Проте застосування способу вимагає створення нових технологій проектування і виготовлення збірних фрез з індивідуальною геометрією робочої частини змінних різцетримачів.

Для вирішення вказаної науково-технічної задачі сформульована мета та постановка задач наукового дослідження.

У другому розділі обґрунтовується вибір напрямку дослідження, викладена загальна методика проведення дисертаційного дослідження, наведені методи вирішення задач та їх порівняльної оцінки.

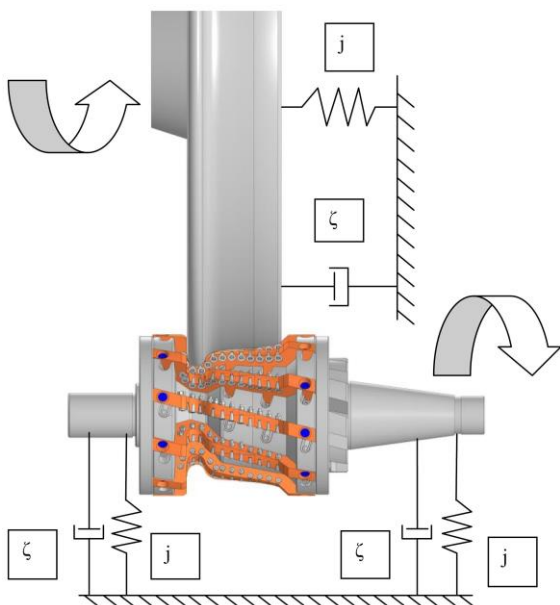


Рис. 1. Динамічна модель процесу фрезерування

Динамічна модель процесу фрезерування

може бути описано виразом:

$$\ddot{y}(t) + \zeta_y^2(t) + \omega_y^2 y(t) = F_y(t), \quad (1)$$

де $\zeta_y^2(t) = \frac{c}{m}$ – коефіцієнт демпфування; $\omega^2 = \frac{j}{m}$

– власна частота; m – маса деталі;

$F_y(t) = A_p \sum_{j=1}^z [(K_R \cos \varphi_j - K_T \sin \varphi_j) h_j(t)]$, – сила

різання;

де A_p – осьова глибина різання, мм; K_R – питомий коефіцієнт різання в радіальному напрямку; K_T – питомий коефіцієнт різання в тангенціальному напрямку;

$$h_j(t) = \begin{cases} S_z \sin \varphi_j + [x(t) - x(t - \tau(t))] \cos \varphi_j & \text{if } \varphi_{st} < \varphi_j < \varphi_{ex} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

– товщина зрізу;

$$S_z = \pi \cdot D_k \cdot \frac{n_k}{n_f \cdot z} - \text{подача на різцетримач};$$

де D_k – діаметр колеса по колу кочення; n_k – частота обертання колеса; n_f – частота обертання фрези; z – число різцетримачів фрези; $x(t)$ – поточний стан інструменту; $x(t - \tau(t))$ – попереднє положення інструменту, регенеративна затримка $\tau(t)$ є періодичною в часі в зв'язку зі зміною швидкості обертання шпинделя; φ_{st} – кут входу інструменту; φ_{ex} – кут виходу інструменту.

Було проведено три однофакторних дослідження, результати яких відображено на графіках рис. 2.а, 2.б, 2.в.

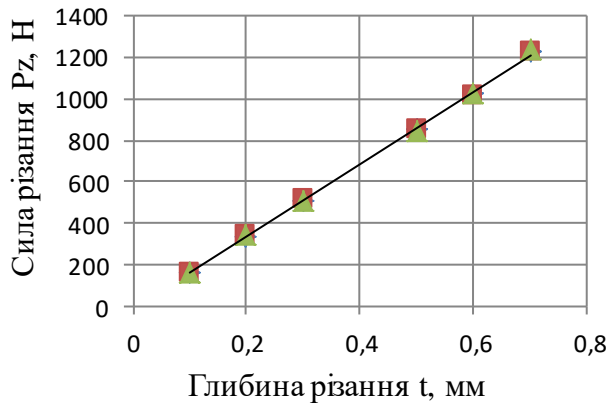


Рис. 2.а. Залежність сили різання від глибини

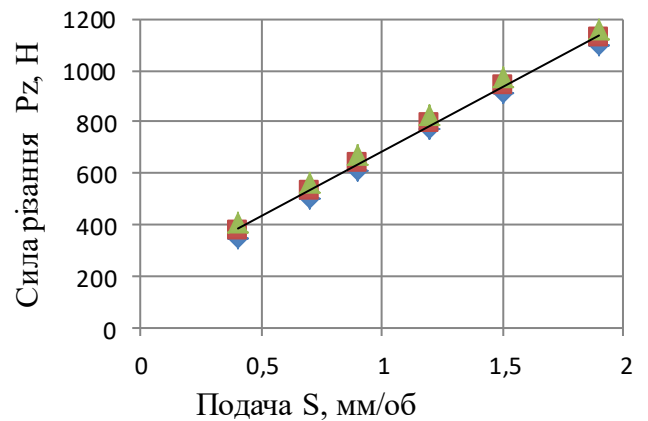


Рис. 2.б. Залежність сили різання від подачі

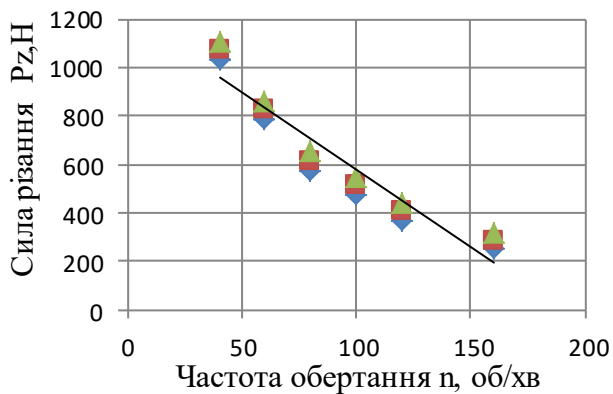


Рис. 2.в. Залежність сили різання від частоти обертання

при зміні подачі в діапазоні $S = 0,4 \div 1,9$ мм/об головна складова сили різання P_z зростає в 2,97 рази при глибини різання $t = 0,4$ мм і частоті обертання шпинделя $n = 94$ об/хв, при зміні частоті обертання шпинделя в діапазоні $n = 160 \div 40$ об/хв головна складова сили різання P_z зростає в 3,76 рази при глибини різання $t = 0,4$ мм і при подачі $S = 1,1$ мм/об. Встановлено, що найбільше на силу різання P_z впливає глибина різання t , а найменше – подача S .

Для визначення сили різання діючої на різальний елемент скористаємося спрощеним виразом:

$$P_z = k_c \cdot f, \text{ Н}, \quad (2)$$

де: k_c – питома сила різання, для сталі з межею міцності при розтягуванні $\sigma_s = 1100 \text{ Н/мм}^2$, $k_c = 2306,5 \text{ Н/мм}^2$; f – площа поперечного перерізу, мм^2 .

Площа поперечного перерізу визначимо за допомогою інтеграла

$$f = \int_b^a \sqrt{r^2 - (x-l)^2} - \sqrt{r^2 - x^2} dx - \int_c^a d - \sqrt{r^2 - x^2} dx, \text{ мм}^2, \quad (3)$$

де: r – радіус циліндричного різального елемента, $r = 6 \text{ мм}$; a – абсциса точки контакту окружності різального елемента на виході; b – абсциса точки перетину кіл різальних елементів; c – абсциса точки контакту окружності різального елемента на вході; d – відстань від центру різального елемента до лінії контакту з оброблюваною поверхнею; l – міжцентрову відстань між різальними елементами (рис. 3) в сусідніх різцетримачах:

$$l = \frac{L_\Sigma}{n_\Sigma}, \quad (4)$$

де: L_Σ – сумарна довжина відрізків робочої поверхні профілю; n_Σ – сумарне число циліндричних різальних елементів фасонної фрези.

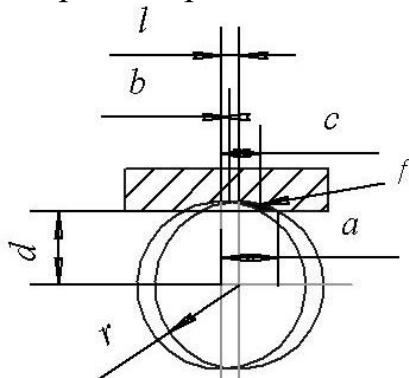


Рис. 3. Схема для визначення площі поперечного перерізу

Площа поперечного перерізу для фасонної фрези з 130 різальними елементами становить $f_{130} = 0,88 \text{ мм}^2$ і сила різання складає $P_{z130} = 2030 \text{ Н}$, а для фасонної фрези з 182 різальними елементами площа поперечного перерізу становить $f_{182} = 0,62 \text{ мм}^2$ і сила різання становить $P_{z182} = 1430 \text{ Н}$. Пристрій для визначення сили різання (рис. 4), складається з корпусу 1, в який встановлено різальний елемент 2, що має кут нахилу, як і в різцетримачі фасонної фрези в момент обробки, і закріплений

гвинтом М4 3 і гайкою 4. До корпусу 1 були закріплені дві штанги 5, на одній з яких закріплюється індикатор годинникового типу 6. У корпусі різцетримача виконано фрезерування і поперечний розріз, для забезпечення отримання показань.

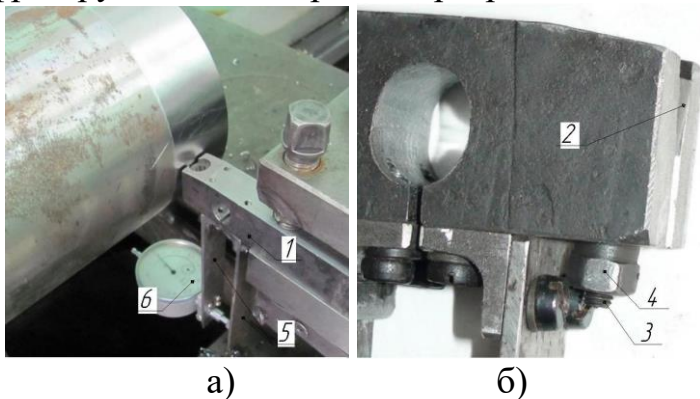


Рис. 4. Пристрій для визначення сили різання
а) загальний вигляд, б) збільшений вигляд
(пат. № 144023)

Дослідження складової зусилля різання P_z проводився на токарно-гвинторізній верстаті моделі 16А20, обрана заготовка $\text{Ø}210 \text{ мм}$. Дослідження проводилися при наступних параметрах: глибина різання $t = 0,1 \div 0,7 \text{ мм}$, подача $S = 0,4 \div 1,9 \text{ мм/об}$, частота обертання шпинделя $V = 40 \div 160 \text{ об/хв}$.

Для встановлення залежності між силою різання P_z і величиною переміщення ніжки індикатора різцетримач замінюється штангою - важелем певної довжини. Збільшення плеча прикладення згинальної сили від 30 мм до 500 мм дозволяє зменшити величину вантажів Q , довжини l_1 і l_2 відповідають для даного випадку.

$$P_z = Q \cdot \frac{l_1}{l_2}. \quad (5)$$

Для виключення впливу ваги штанги і підвіски для вантажу, закріпленої на штанзі, стрілка індикатора встановлюється на нуль. На підвіску установлюються послідовно одна за одною гирі певної ваги (вантаж Q) і в кожному випадку фіксуються показання індикатора.

Для розрахунку величини сили різання скористаємося формулою визначення числових значень всіх постійних величин.

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}}, \text{ Н} \quad (6)$$

де: t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об; V – частота обертання шпинделя, м/хв; C_{P_z} – коефіцієнт умов обробки; X_{P_z} ; Y_{P_z} ; n_{P_z} – показники ступеня.

З умови однофакторного експерименту вираз (7) представимо наступними залежностями:

$$\begin{aligned} P_z &= C_1 \cdot t^{X_{P_z}}, \\ P_z &= C_2 \cdot S^{Y_{P_z}}, \\ P_z &= C_3 \cdot V^{n_{P_z}}. \end{aligned} \quad (7)$$

За отриманими дослідними даними в прямокутних координатах з логарифмічними шкалами будуюмо графіки (рис. 5) залежностей за формулою 7.

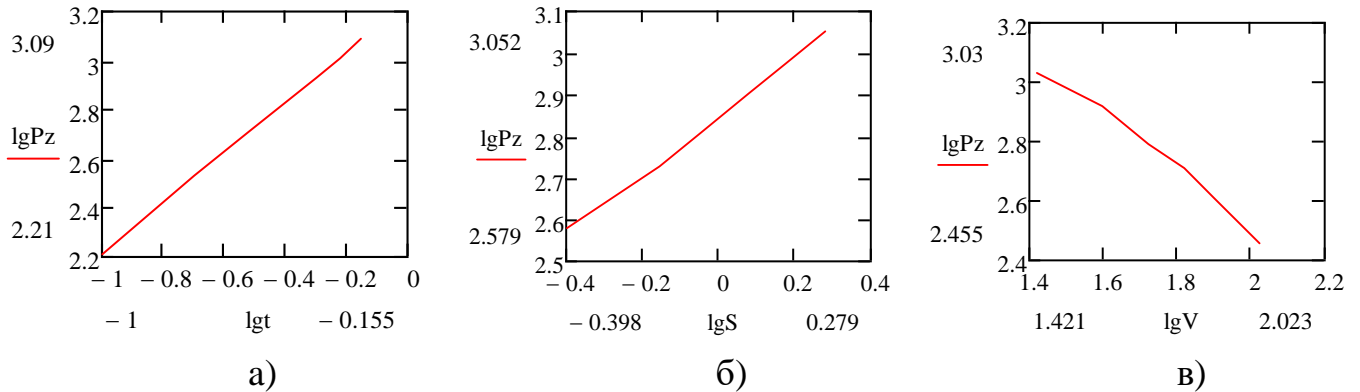


Рис. 5. Графіки залежностей а) $P_z = C_1 \cdot t^{X_{P_z}}$; б) $P_z = C_2 \cdot S^{Y_{P_z}}$; в) $P_z = C_3 \cdot V^{n_{P_z}}$.

Значення показників ступеня X_{P_z} ; Y_{P_z} ; n_{P_z} визначаємо при середніх значеннях $t = 0,4$ мм, $S = 1,1$ мм/об, $V = 62$ м/мин

Отримані показники ступеня, підставимо в середні залежності і отримане підставимо в формули:

$$\begin{aligned} P_{z1 \text{ ср}} &= C_1 \cdot t^{1,0178}, \\ P_{z2 \text{ ср}} &= C_2 \cdot S^{0,6987}, \\ P_{z3 \text{ ср}} &= C_3 \cdot V^{-0,167}. \end{aligned} \quad (8)$$

Коефіцієнт C_{P_z} визначимо для середніх значень $t = 0,4$ мм, $S = 1,1$ мм/об, $V = 62$ м/мин; $P_{z1\text{cp}} = 685,833$ Н, $P_{z2\text{cp}} = 738$ Н, $P_{z3\text{cp}} = 619,833$ Н по формулі:

$$C_{P_z} = \frac{P_z}{t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot V^{n_{P_z}}}. \quad (9)$$

Підставляючи величини в формулу (5) отримаємо

$$P_z = 3226 \cdot t^{1,0178} \cdot S^{0,6987} \cdot V^{-0,167}, \text{ Н}. \quad (10)$$

В отриману формулу (10), підставимо максимальні значення експериментальних даних $t = 0,7$ мм, $S = 1,9$ мм/об, $V = 26$ м/мин.

Отримані дані результати дослідів відповідатимуть для фасонної фрези з 130 циліндричними різальними елементами. Для порівняння величин нормальної складової зусилля різання фасонної фрези з 130 циліндричними різальними елементами $P_{z130} = 2039$ Н.

Ці результати необхідні для визначення напружено-деформованого стану циліндричних різальних елементів.

Зусилля, які виникають в процесі стружкоутворення, що діють на фрезу, можна отримати, розглядаючи перетини фрези у вигляді елементарних дисків.

У процесі різання (рис.6) різальний елемент 1 контактує із заготовкою 2 по передній поверхні через зрізуваний шар матеріалу і по заданій поверхні через поверхню різання. Узагальнене рівняння для товщини зрізу можна записати у вигляді:

$$a(i, j, k) = s_z \cdot \sin[\beta(i, j, k)], \quad (11)$$

де S_z – подача на різцетримач.

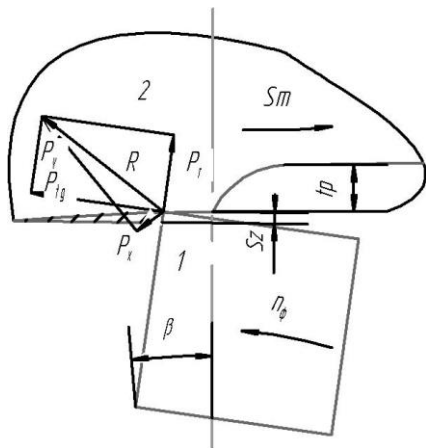


Рис. 6. Складові сили різання, які діють на різальний елемент

При розрахунках кутове положення фрези може задаватися з певними інтервалами. Рівнодіюча сила різання .. на різальному елементі фрези є змінною на всьому протязі дуги контакту з заготовкою як за величиною, так і за напрямком. При цьому на різальний елемент фрези діють тангенціальна P_z і радіальна P_r складові рівнодіючої сили різання.

Для i -го дискового елемента в j -м кутовому положенні фрези на k -м різцетримачі, миттєвий кут контакту різцетримача фрези $\beta(i, j, k)$ дорівнює:

$$\beta(i, j, k) = [h(k-1) - a(j)] + \left[\frac{b_i \cdot (i-1)}{2} \right] \frac{\text{tg } \omega}{R_{fp}}, \quad (12)$$

де R_{fp} – радіус фрези. І справедливі для умов:

$$\alpha_{\text{вх}} \leq \beta(i, j, k) \leq \alpha_{\text{вх}}, \quad (13)$$

де $\alpha_{\text{вих}}$ – кут виходу різального елемента; $\alpha_{\text{вх}}$ – кут входу різального елемента.

Складові сил різання P_x і P_y для кута $\alpha_{\text{вих}} \leq \beta(i, j, k) \leq \alpha_{\text{вх}}$ отримують шляхом підсумовування за всіма дисковим елементам:

$$P_x = \sum_{j=1}^{n_a} \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{k=1}^{n_z} \left[-K_R \cdot k_C \cdot a \cdot s_z \cdot \sin^2 \beta(i, j, k) + \frac{k_C \cdot a \cdot s_z \cdot \cos \beta(i, j, k) \cdot \sin \beta(i, j, k)}{n_a} \right], \quad (14)$$

$$P_y = \sum_{j=1}^{n_a} \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{k=1}^{n_z} \left[K_R \cdot k_C \cdot a \cdot s_z \cdot \sin \beta(i, j, k) \cdot \cos \beta(i, j, k) + \frac{k_C \cdot a \cdot s_z \cdot \sin^2 \beta(i, j, k)}{n_a} \right]. \quad (15)$$

де n_a – число кутових інтервалів на i -м диску фрези, n_z – число різальних елементів фрези, що працюють на i -м дисковому елементі в j -й кутовій позиції, n_q – число осевих елементарних дисків на фрезі, де K_R – коефіцієнт, що характеризує умову обробки.

У третьому розділі представлено теоретичні та практичні основи моделювання конструкцій фасонних фрез, а також описано розроблений для цього випадку алгоритм побудови діаграм стійкості елементів фасонних фрез.

Для конструкції фасонної фрези з 10 різцетримачами, кут охоплення одного різцетримача дорівнює $20^\circ 30'$, а кут між послідовно працюючими сусідніми різцетримачами дорівнює $14^\circ 35'$. Робота фасонної фрези при переході з одного різцетримача на інший проходить не рівномірно, а також супроводжується ударами. Для конструкції фасонної фрези з 10 різцетримачами (рис.7а) довжина дуги різання одного різцетримача буде дорівнює 45.0 мм. Зміни в роботі фасонної фрези приводять до виходу з робочого стану окремих різцетримачів фасонної фрези, а в деяких випадках і усій фасонній фрезі в цілому.

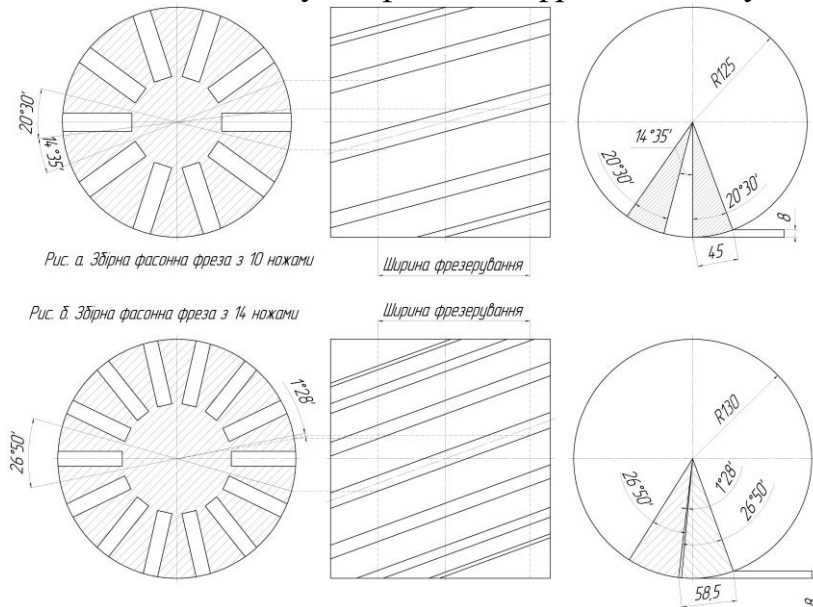


Рис.7. Графічне моделювання кута перекриття конструкцій фасонних фрез з 10 (рис. а) і 14 (рис. б) різцетримачами

Привідні колеса машин рейкового транспорту працюють у важких умовах (рис. 8), що визначає інтенсивний знос вихідного профілю коліс (тонка лінія) до граничного стану, при якому починається інтенсивний знос профілю (пунктирна

З конструкції фасонної фрези з 14 різцетримачами (рис.7б) видно, що кут охоплення одного різцетримача фасонної фрези з 14 різцетримачами дорівнює $26^\circ 50'$, а кут перекриття одного різцетримачами іншим дорівнює $1^\circ 28'$. З рис. 7б видно, що довжина різання одним різцетримачем фасонної фрези з 14 різцетримачами складає 58.5 мм, або ця величина буде перевищенням першого різального елемента різцетримача над останнім.

лінія). Ремонтний розмір відновленого профілю (суцільна лінія на рис. 8) регламентується нормативними документами і тим самим визначається припуск на обробку (фрезерування) колеса зі змінною глибиною різання. У цьому випадку розрахункова глибина припуску на обробку становить:

$$t_p = t(x_p) \leq 10 \text{ мм}, \quad (16)$$

де $x_p = \frac{\int_0^B t(x) dx}{\int_0^B t(x) dx}$ – відстань від торця колеса до перетину, в якому розташований

розрахунковий припуск.

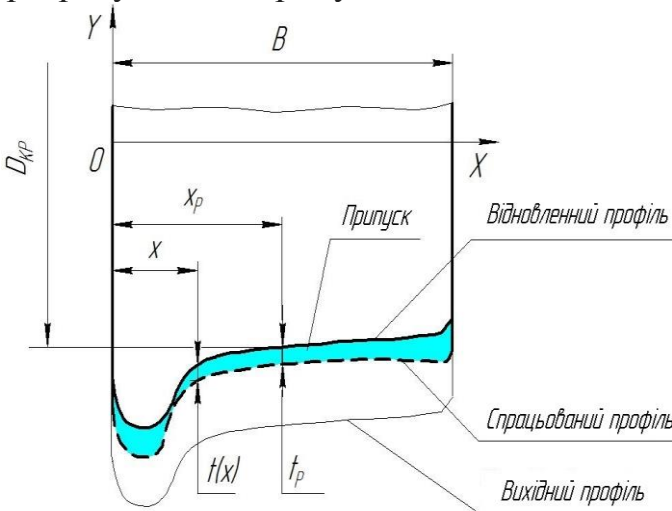


Рис. 8. Профіль поверхні кочення колеса локомотива

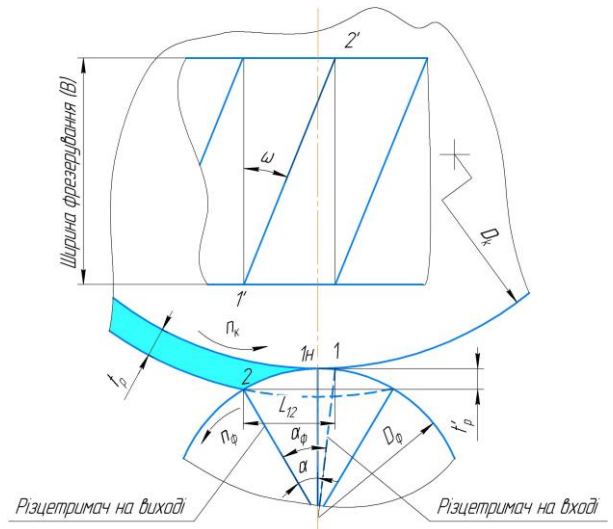


Рис. 9. Розрахункова схема умови рівномірного фрезерування колісної пари

Для забезпечення рівномірного фрезерування (рис. 9) необхідно щоб постійно в роботі було задіяно постійна кількість (не менш двох) різцетримачів ці умови будуть виконуватися при:

$$L_{12} = t' \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{z} + \frac{S'_z}{R \cdot \sin \alpha} \right) = B \operatorname{tg} \omega. \quad (17)$$

З рівняння (16), якщо відстань від точки 1' до точки 2' одно осьового кроку різцетримачів фрези, фрезерування буде рівномірним при ширині фрезерування.

Рівномірне фрезерування буде дотримуватися, якщо кут нахилу різцетримача визначити з виразу:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{t'}{B} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{z} \right) + \frac{S'_z}{D_\phi \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{z} \right)} \right], \quad (18)$$

де B – ширина фрезерування; z – число різцетримачів; D_ϕ – діаметр фрези;

$S'_z = S_z \cdot \frac{D_\phi}{D_\kappa + D_\phi}$ – приведена подача на різцетримач фрези; z – кількість різцетримачів.

Рівномірний фрезерування забезпечує сталість окружної сили і крутного моменту.

Серед CAD програм вибрано програму SolidWorks, яка дозволяє провести аналіз напружено-деформованого стану за допомогою модуля Simulation.

З урахуванням вказаних недоліків, на кафедрі «Прикладна механіка» НМетАУ розроблено модель збірних фасонних фрез, яка дозволить збільшити термін служби і міжремонтний період роботи збірних фасонних фрез і робочої поверхні колісних пар локомотивів.

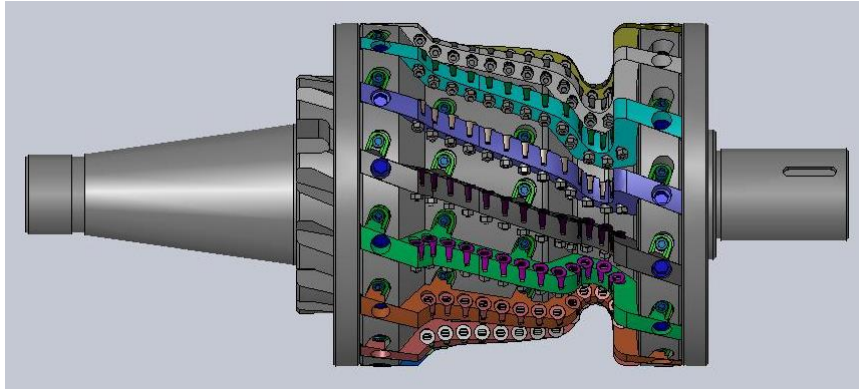


Рис. 10. Тривимірний модель фрези (пат. № 119973)

На рис. 10 показана модель удосконаленої фасонної фрези в зборі.

В четвертому розділі викладено матеріали дослідження напружено-деформованого стану елементів моделі фасонної фрези.

Для дослідження напружено-деформованого стану елементів моделі був використаний модуль Simulation, інтегрований в CAD- систему SolidWorks, в якому результати аналізу проектування базуються на лінійному статичному аналізі за допомогою МКЕ.

Проведемо дослідження напружено-деформованого стану циліндричних різальних елементів $\varnothing 12$ мм і висотою 12 мм RNUX 1212 MO TN для існуючих спеціальних фасонних фрез і циліндричних різальних елементів $\varnothing 12$ мм і висотою 10 мм для нової конструкції фрези. Для різальних елементів оцінювання напружено-деформованого стану ведеться за критерієм Мора-Кулона (рис.11).

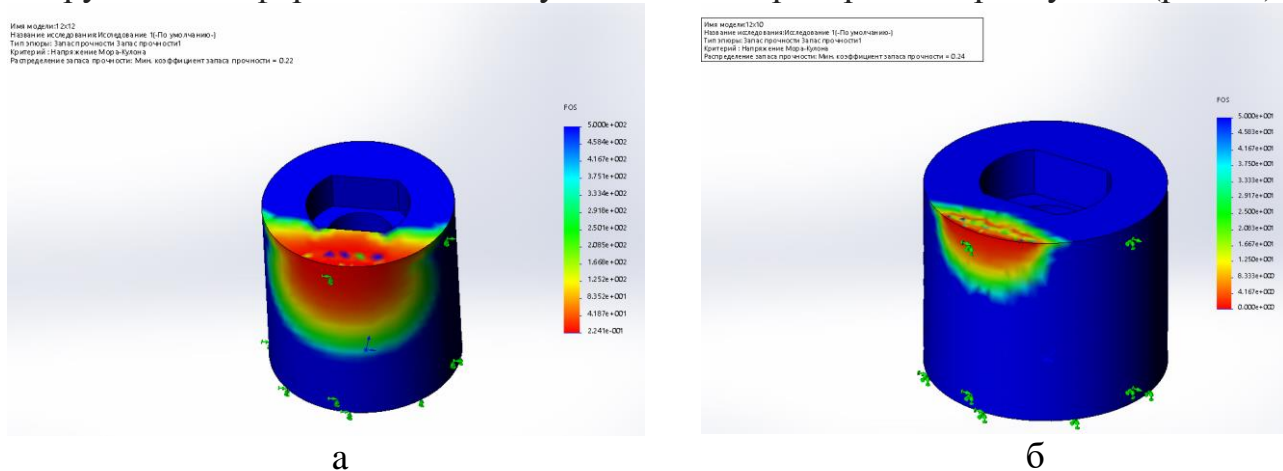


Рис. 11. Визначення напружено-деформованого стану циліндричних різальних елементів а) для фрези з 10 різцетримачами, б) для фрези з 14 різцетримачами

На різальний елемент (рис.11.а) діє навантаження 2039 Н, а на різальний елемент (рис. 11.б) навантаження 1430 Н. З отриманих епюр видно, що

мінімальний коефіцієнт запасу міцності для різального елемента з розмірами 12x10 складає 0,24, а для різального елемента з розмірами 12x12 – 0,22; розташування напружень пропорційне навантаженню.

Конструкція різцетримача досліджених фрез містить по тринадцять різальних елементів. Для поліпшення моделювання дуга взаємодії фрези з оброблюваним колесом з кутом охоплення одного різцетримача розбита на кількість різальних елементів. На рис.12.а виконано моделювання при глибині різання $t=0,7$ мм для фрези з 10 різцетримачами. На рис. 12.б виконано моделювання при глибині різання $t=0,7$ мм для фрези 14 різцетримачами.

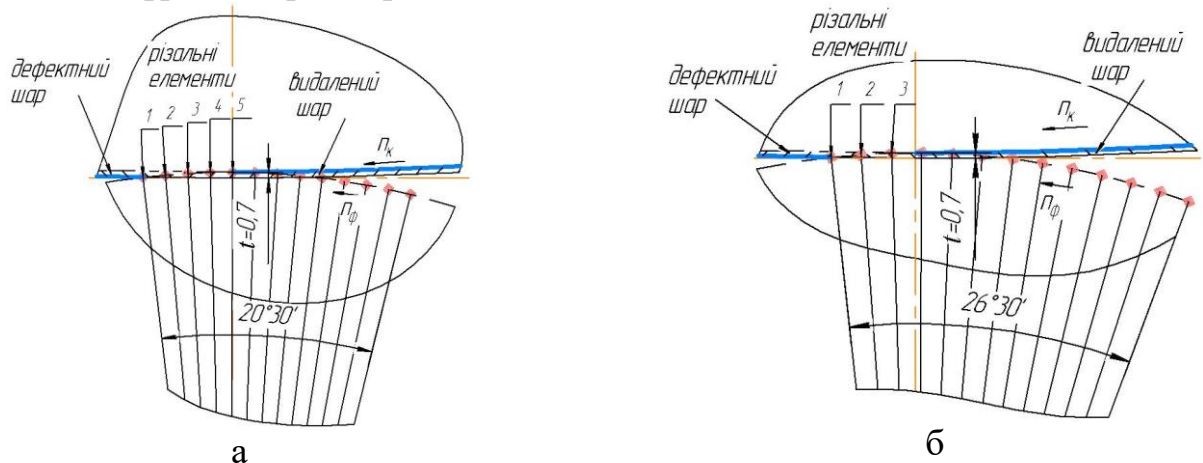


Рис. 12. Моделювання процесу різання при глибині різання $t=0,7$ мм.

а) для фрези з 10 різцетримачами, б) для фрези з 14 різцетримачами

Для існуючої фрези з 10 різцетримачами кут охоплення $20^{\circ}30'$ при глибині різання $t=0,7$ мм одночасно буде в роботі п'ять різальних елементів, а для вдосконаленої конструкції фрези з 14 різцетримачами кут охоплення $26^{\circ}30'$ при глибині різання $t=0,7$ мм одночасно буде в роботі три різальних елемента, що підтверджується рис. 19. На рис. 18.а представлено моделювання при глибині різання $t=3,5$ мм для фрези із 130 різальними елементами. На рис. 13.б виконано моделювання при глибині різання $t=3,5$ мм для фрези 14 різцетримачами.

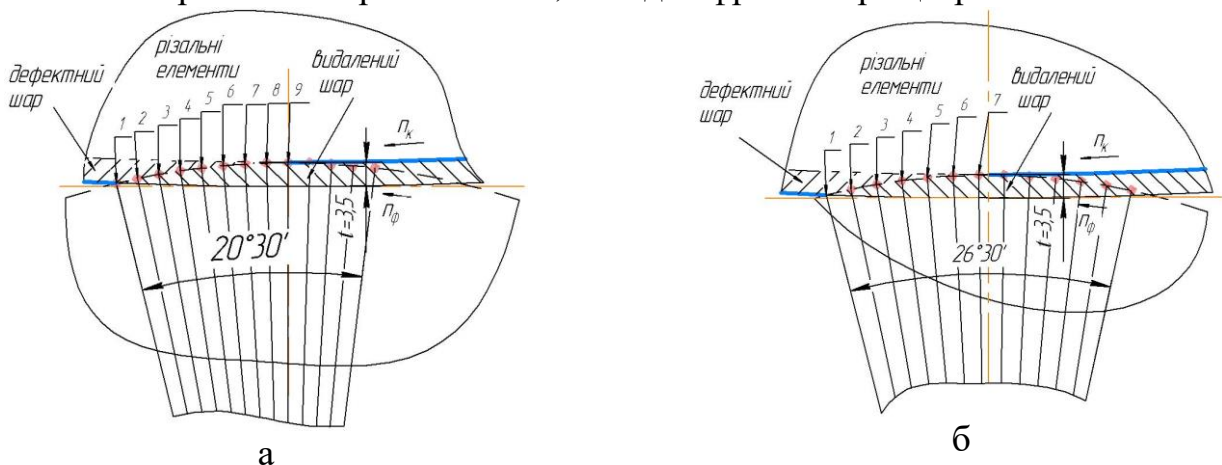


Рис.13. Моделювання процесу різання при глибині різання $t=3,5$ мм

а) для фрези з 10 різцетримачами, б) для фрези з 14 різцетримачами

Для фрези з 10 різцетримачами кут охоплення $20^{\circ}30'$ при глибині різання $t=3,5$ мм, одночасно в роботі знаходяться дев'ять різальних елементів, а для

вдосконаленої фрези з 14 різцетримачами кут охоплення $26^{\circ}30'$ при глибині різання $t = 3,5$ мм одночасно в роботі сім різальних елементів, що підтверджується рис. 13. Ці дані будуть використані при визначенні напружено-деформованого стану різцетримачів і корпусу фрези.

Корпус фасонної фрези (рис. 14) у вигляді тіла обертання складної геометричної форми.

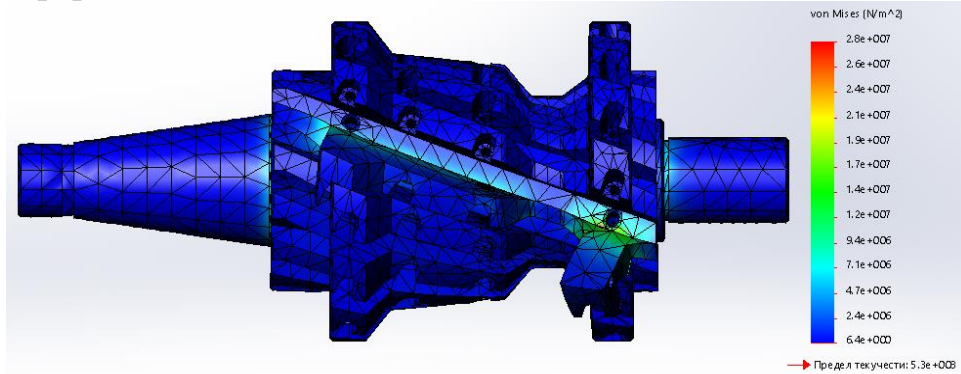


Рис. 14. Напружений стан корпусу фрези з 14 різцетримачами

На корпус фрези з 14 різцетримачами (рис. 14) діє сумарне навантаження від трьох різальних елементів, напруження сягає 28 МПа, коефіцієнт запасу міцності корпусу фрези становить 19. Отже корпус фрези з 14 різцетримачами має достатню міцність.

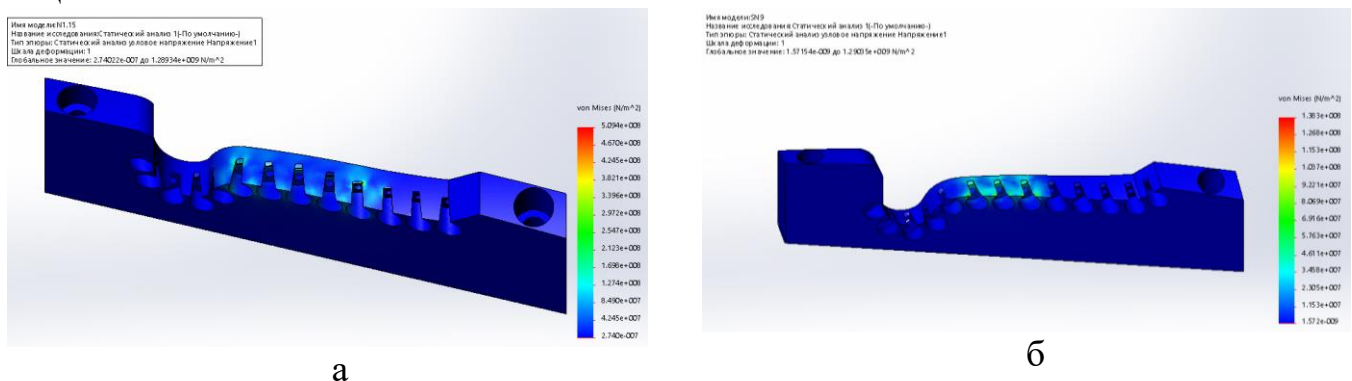


Рис. 15. Напружений стан корпусу різцетримача

а) для фрези з 10 різцетримачами; б) для фрези з 14 різцетримачами

На корпус різцетримача фрези з 10 різцетримачами (рис. 15.а) діє сумарне навантаження від п'яти різальних елементів, а на корпус різцетримача фрези з 14 різцетримачами (рис. 15.б) діє навантаження від трьох різальних елементів. Запас міцності корпусу різцетримача для фрези з 14 різцетримачами становить 3,8. Для фрези з 14 різцетримачами При зменшенні товщини корпусу різцетримача з 20 до 16 мм має достатню міцність.

В п'ятому розділі підвищення ефективності, представлено у вигляді відсоткового співвідношення параметрів значень конструкцій фасонних фрез з 14 різцетримачами і з 10 різцетримачами. Для порівняння величини сили різання фасонних фрез з 130 і 182 циліндричними різальними елементами значення сил обчислюється за формулою:

$$P_{z182} = P_{z130} \cdot \frac{\int_a^a k_c \cdot \cos(\varphi) \cdot f_{182} d\varphi}{\int_{-b}^a k_c \cdot \cos(\varphi) \cdot f_{130} d\varphi}, \text{ Н}, \quad (19)$$

де: P_{z130} – дослідне значення нормальної складової зусилля різання для фасонної фрези з 130 циліндричними різальними елементами; a – позитивне значення кута φ ; b – від’ємне значення кута φ ; k_c – питома сила різання; φ – кут площі зрізаного сегмента; f_{130} , f_{182} – площі поперечного перерізу відповідно для фасонної фрези з 130 різальними елементами і для фасонної фрези з 182 різальними елементами. Уточнені дані величини сили різання фасонної фрези з 130 циліндричними різальними елементами становить – $P_{z130} = 2039 \text{ Н}$. За формулою (19) визначимо величину сили різання фасонної фрези з 182 циліндричними різальними елементами становить $P_{z182} = 1436 \text{ Н}$.

В основі визначення ефективності лежить принцип порівняльних переваг, завдяки порівнянню переваг використання одних параметрів перед іншими існує можливість визначення найбільш ефективного варіанту виробництва.

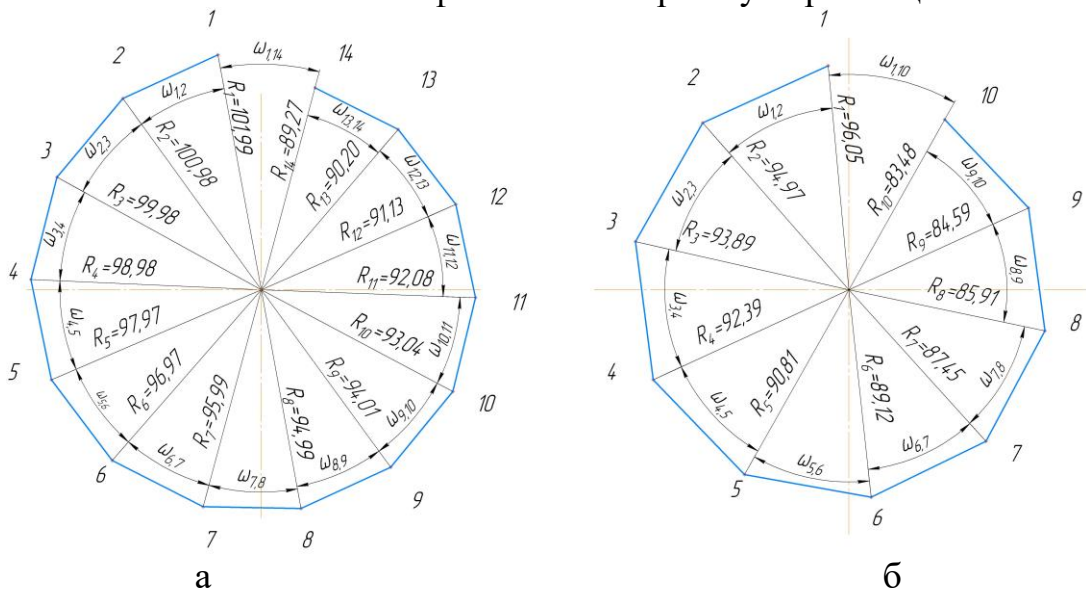


Рис. 16. Розташування перших різальних елементів фасонних фрез з 14 різцетримачами (а) і з 10 різцетримачами (б)

З комп'ютерних моделей, фасонних фрез з 14 різцетримачами і з 10 різцетримачами отримано координати перших різальних елементів які розташовані по спіралі. Визначено відстань між різальними елементами відповідно на рис. 16.

Вдосконалення конструкції фасонних фрез підвищить ефективність відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ20 за середнім значенням 36%.

ВИСНОВКИ

У дисертації представлено вирішення актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ20. А саме:

1. Виконано аналіз умов відновлення робочого профілю колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20, в результаті чого встановлено, що підвищення ефективності процесу можна забезпечити за рахунок розробки фасонних фрез нових конструкцій.

2. Розроблено математичну модель процесу фрезерування в залежності від товщини зрізаного шару, та подачі на різцетримач, для дослідження можливостей підвищення ефективності використання спеціальних фасонних фрез.

3. Розроблено метод визначення величини елементів поперечного зрізу у процесі фрезерування в залежності від параметрів профілю кочення при відновленні робочого профілю колісних пар.

4. Досліджений вплив площі поперечного перерізу зрізу окремим різальним елементом на напружено-деформований стан складових фасонної фрези та інструменту у цілому в залежності від конструктивних особливостей останнього з врахуванням особливостей вихідного робочого профілю колісних пар після експлуатації.

5. Визначено вплив якості налаштування фасонних фрез на показники шорсткості та точності відновлених поверхонь робочого профілю колісних пар.

6. На основі поєднання результатів теоретичних та експериментальних досліджень – даних про силове навантаження на окремі робочі елементи фрези, показники напружено-деформованого стану інструменту, отримані параметри якості оброблених поверхонь, розроблено нову конструкцію спеціальної фасонної фрези до верстатів КЖ20.

7. Розроблено рекомендації з режимів експлуатації створеної фасонної фрези для забезпечення підвищення ефективності процесу відновлення при ремонті робочої поверхні колісних пар на верстатах КЖ20.

8. Результати роботи знайшли практичне використання:

– технічні рішення, а саме конструкція інструменту, методика його налаштування, встановлені режими обробки надані до Дніпропетровського локомотивного депо;

– результати виконаних наукових досліджень впроваджені в навчальний процес Національної металургійної академії України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, у фахових виданнях України

1. Рубан В.М. Моделювання процесу механічної обробки профілю робочої поверхні колісних пар на верстатах КЖ20. «Технічна інженерія». 2020. № 2 (86). С. 54-60.

2. Śladkowski A.; Ruban V. Types of special-form mills defects for KZh20 machine-tool. Scientific Journal of TNTU. 2020. Vol 98. № 2. P. 80–90.

3. Сладковський О., Рубан В.М. Підвищення ефективності використання ріжучих елементів спеціальних фасонних фрез до верстатів КЖ20. «Технічна інженерія». 2020. № 1 (85). С. 71-80.

4. Рубан В.Н. Определение энергосиловых параметров при восстановительном ремонте профиля поверхности катания. Теория и практика металлургии. 2014. №1-2 (96-97). С. 46-51.

5. Есаулов В., Пройдак Ю., Губенко С., Сладковский А., Иськов М., Рубан В. Исследование структурных изменений вблизи поверхности катания железнодорожных колес при эксплуатации. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. 2004. Випуск 5. С. 65-71.

6. Рубан В.Н. Анализ шероховатости поверхности катания колесных пар рельсового транспорта после восстановительного ремонта на колесофрезерных станках КЖ-20. Науковий вісник НГУ. 2004. №1. С. 58-60.

7. Сладковский А.В., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. Выбор угла наклона ножей фасонной фрезы для колесофрезерного станка КЖ-20. Науковий вісник НГУ. 2003. №11. С. 47-50.

8. Сладковский А.В., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. Восстановление профиля рабочей поверхности колесных пар машин рельсового транспорта металлургических предприятий и ГОКов. Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. 2002. № 13. т. 2. С. 132 – 136.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав:

9. Śladkowski A., Hmilenko V.S., Ruban V.N. The comparative analysis of the surface roughness of the rolling wheel pairs after their trueing on KZ-20 machine tools. Railway Wheel Set. Projecting. Producing. Operating. Repairing / Proceeding of V International Scientific Conference for Middle and Eastern European Countries. – Katowice: Silesian Technical University, 2002. 8 s.

10. Сладковский А.В., Рубан В.Н. Проектирование сборных фасонных фрез для восстановительного ремонта поверхности катания колесных пар локомотивов на станках КЖ20. Транспорт Урала. 2010. №4(27). С. 27-32.

11. Рубан В.Н. Проектування збірних фасонних фрез для відновлювального ремонту поверхні кочення колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20. IX International conference «Strategy of Quality Industry and Education». Varna, Bulgaria. Proceedings. Volume 1. 2013. P. 110-113.

12. Рубан В.Н. Повышение эксплуатационной стойкости фасонных фрез для обработки поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта. Материалы. XI International conference «Strategy of Quality Industry and Education», Varna, Bulgaria. Proceedings. Volume 2. 2015. P. 144 – 148.

13. Добров И.В., Рубан В.Н. Равномерное фрезерование при ремонте поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта. XIII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education». Proceedings in two volumes. Volume 2. Varna, Bulgaria. 2017. С. 88-92.

14. Рубан В.Н. Методы по увеличению срока службы сборных фасонных фрез для станка КЖ20. International Conference «Innovative technologies in science and education. European experience» Proceedings in two volumes. Volume 2. Austria Vienna. 2017. P. 340-344.

15. Рубан В.М. Застосування методу обертання при проектуванні спеціальних фасонних фрез. XIV International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education». Proceedings in two volumes. Volume 2. Varna, Bulgaria. 2018. С. 167-171.

16. Śladkowski A., Proydak Yu., Ruban V. Increasing the resource of milling cutters used to process the locomotive wheelsets. Part 1: Determination of cutting forces. *Transport Problems*. 2018. Vol. 13. No. 3. P. 119-130 (**Scopus**).

17. Śladkowski A., Proydak Yu., Ruban V. Increasing the resource of milling cutters used to process the locomotive wheelsets. Part 2: Study of stressed-deformed state. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15. No. 3. P. 139-151 (**Scopus**).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

18. Сладковский А.В., Рубан В.Н. Сравнительный анализ технологии восстановления рабочей поверхности локомотивных колес в процессе деповского ремонта. *Механика, компьютер, образование: материалы IV международной науч.-практ. конф. г. Севастополь. СевГТУ. 2-3 вересня 2001р.: тези доповіді. г. Севастополь. 2001. С. 46 – 50.*

19. Сладковский А.В., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. Восстановление профиля рабочей поверхности колесных пар машин рельсового транспорта металлургических предприятий и ГОКов. *Проблемы механики горно-металлургического комплекса* Материалы Междунар. науч.-техн. конф. г. Днепропетровск: Навчальна книга. 2002. С. 28 – 30.

20. Сладковский О.В., Губенко С.И., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. Відновлювання поверхні кочення колісних пар. *Проблеми механіки залізничного транспорту: XI міжн. конф. м. Дніпропетровськ, тези доповіді. ДНУЗТ. 2004. С. 154.*

21. Сладковский А.В., Губенко С.И., Рубан В.Н., Беляева И.В. Ремонт поверхности катания колесных пар рельсового транспорта. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: 68 міжн. наук.-практ. конф. м. Дніпропетровськ, 22-23 травня 2008р.: тези доповіді. ДНУЗТ. 2008. С. 80-81.*

22. Сладковский А.В., Губенко С.И., Рубан В.Н., Беляева И.В. Профили поверхности катания колес рельсового транспорта. *Транспортные связи. Проблемы и перспективы: міжн. наук.-практ. конф. м. Дніпропетровськ, 29-30 травня 2008р.: тези доповіді. ДНУЗТ. 2008. С.17-18.*

23. Рубан В.Н. Фрезы для ремонта поверхности кочення колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20. *Прогресивні технології в машинобудуванні: III Всеукр. наук.-техн. конф. Національний університет «Львівська політехніка». м. Львів, 2-6 лютого 2015 р: тези доповіді. Львів, 2015. С. 92-94.*

24. Рубан В.Н. Определение энергосиловых параметров при восстановительном ремонте профиля поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта на станке КЖ20. *Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 15-го Международного научно-технического семинара, 23-27 февраля 2015г. , Свалява. Київ: АТМ України, 2015. С 148-150.*

25. Рубан В.Н. Экспериментальное определение энергосиловых параметров при ремонте профиля поверхности катания на станке КЖ20. *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: XVIII міжн. наук.-техн. конф. НТТУ «КПІ ім. І. Сікорського». 29 червня - 1 липня 2017р.: тези доповіді. Київ, 2017. С.236 - 238.*

26. Рубан В.М. Відновлення профілю робочої поверхні колісних пар. *Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів*: Міжн. наук.-практ. конф. м. Дніпро 21-23 травня 2018р.: тези доповіді. ДНУЗТ Дніпро, 2018. С. 16-18.

27. Śladkowski A., Proydak Yu., Ruban V. Увеличение ресурса фасонных фрез для станков КЖ20. In: X Int. Sci. Conf. VII Int. Symposium of Young Researches «Transport Problems'2018». Conference Proceedings. Katowice: Silesian University of Technology. Faculty of Transport. 2018. P. 945-952.

28. Рубан В.М. Системи інженерного аналізу. Чернігівський національний технологічний університет. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: матеріали ІХ міжн. наук.-практ. конф. м. Чернігів, 14 - 16 травня 2019 р. Чернігів: ЧНТУ, 2019. Т. 1. С. 132 - 133.

29. Добров І.В., Рубан В.М. Вплив коефіцієнта тертя на шорсткість робочої поверхні коліс локомотива. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*: матеріали Х міжн. наук.-практ. конф. м. Чернігів, 29 - 30 квітня 2020 р. Чернігів: ЧНТУ, 2020. Т. 1. С. 141 - 142.

Патенти

30. Збірна фасонна фреза для ремонтного відновлення профілю поверхні кочення колеса рухомого складу машин рейкового транспорту: пат. № 119973 Україна: МПК В23 С5/12, В23 С5/14. № а 201507376 заявл. 22.07.2015; опубл. 25.10.2017. Бюл. №20. 5 с.

31. Пристрій для вимірювання сили різання: пат. № 144023 Україна: МПК В23В 27/00. № и 202001905 заявл. 18.03.2020; опубл. 25.08.2020. Бюл. №16. 5 с.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

32. Рубан В.Н. Качество поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта после ремонта на колесофрезерных станках КЖ20. *Сучасна металургія: проблеми, задачі, рішення. Наука і виробництво*. Матеріали міжнародної конференції, м. Дніпропетровськ. НМетАУ. 2015. С. 226 – 231.

33. Добров И.В., Рубан В.Н. К вопросу равномерного фрезерования при ремонте поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта. *Механіка машин - основна складова прикладної механіки*: матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. м. Дніпро, НМетАУ. 2017. С. 242-244.

34. Похилько Л.К., Рубан В.Н. Влияние качества настройки фасонных фрез для станка КЖ20 на качество обработанной поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта. *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості та транспорту 2017*: Збірник наукових праць міжнародної конференції, м. Дніпро, НГУ. 2017. С. 135-142.

АНОТАЦІЯ

Рубан В.М. Підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ20. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати і інструменти». – Державний університет «Житомирська політехніка», Міністерства освіти і науки України. Житомир, 2021.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності відновлювального ремонту робочого профілю колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20 за допомогою спеціальних фасонних фрез.

Здійснено визначення факторів і дослідження умов експлуатації, виконано аналіз дефектів і вплив на термін служби фасонних фрез для відновлення робочого профілю колісних пар машин рейкового транспорту. Розроблено математичну модель процесу фрезерування в залежності від сили різання, товщини зрізаного шару, та подачі на різцетримач, для дослідження можливостей підвищення ефективності використання спеціальних фасонних фрез. Розроблено метод визначення величини елементів зрізу, в залежності від конструктивних параметрів. Виконано визначення впливу якості налаштування фасонних фрез на якість відновлення робочого профілю колісних пар. На основі отриманих результатів, виконано теоретичні та експериментальні дослідження впливу площі поперечного перерізу зрізу, на напружено-деформований стан складових елементів фасонних фрез для відновлення робочого профілю колісних пар. Запропонована модель нової конструкції фасонних фрез з урахуванням кута нахилу різцетримачів в корпусі фасонної фрези, кількості твердосплавних циліндричних різальних елементів для підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ20.

Ключові слова: профіль робочої поверхні, збірна фасонна фреза, колесофрезерний верстат КЖ20, сила різання, метод скінчених елементів.

АННОТАЦІЯ

Рубан В.Н. Повышение эффективности восстановления колесных пар фрезерованием рабочих поверхностей на станках КЖ20. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 «Процессы механической обработки, станки и инструменты». – Государственный университет «Житомирская политехника», Министерства образования и науки Украины. Житомир, 2021.

Диссертационная работа посвящена повышению эффективности восстановительного ремонта рабочего профиля колесных пар машин рельсового транспорта на станках КЖ20 с помощью специальных фасонных фрез.

Осуществлено определение факторов и исследование условий эксплуатации, выполнен анализ дефектов и влияние на срок службы фасонных фрез для восстановления рабочего профиля колесных пар машин рельсового транспорта. Разработана математическая модель процесса фрезерования в зависимости от силы резания, толщины срезаемого слоя, и подачи на резцедержатель, для исследования возможностей повышения эффективности использования специальных фасонных фрез. Разработан метод определения величины элементов среза, в зависимости от конструктивных параметров. Выполнено определение влияния качества настройки фасонных фрез на качество восстановления рабочего профиля колесных пар. На основе полученных результатов, выполнены теоретические и экспериментальные исследования влияния площади поперечного сечения среза, на напряженно-деформированное состояние составляющих элементов фасонных фрез для восстановления рабочего профиля колесных пар. Предложенная модель новой

конструкции фасонных фрез с учетом угла наклона резцедержателей в корпусе фасонной фрезы, количества твердосплавных цилиндрических режущих элементов для повышения эффективности восстановления колесных пар фрезерованием рабочих поверхностей на станках КЖ20.

Ключевые слова: профиль рабочей поверхности, сборная фасонный фреза, колесофрезерный станок КЖ20, сила резания, метод конечных элементов.

ABSTRACT

Ruban V.M. Improving the efficiency of wheel pair restoration by milling surfaces on KZh20 machines. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.03.01 «Machining processes, machine tools and tools». – Zhytomyr Polytechnic State University, Ministry of Education and Science of Ukraine. Zhytomyr, 2021.

In the dissertation work it is considered increasing of efficiency of restorative repair of a working profile of wheel pairs of cars of rail transport on KZh20 machines by means of special shaped mills.

Factors are determined and operating conditions are studied, defects and their impact on the service life of shaped mills for restoring the working profile of wheel pairs of rail transport machines are analyzed. A mathematical model of the milling process depending on the cutting force, the thickness of the cut layer, and the feed to the cutter holder is developed to study the possibilities of increasing the efficiency of using special shaped milling cutters. A method for determining the size of the cut elements, depending on the design parameters, is developed. The influence of the quality of adjustment of shaped mills on the quality of restoration of the working profile of wheel pairs is determined. Based on the obtained results the theoretical and experimental studies of the influence of the cross-sectional area on the stress-strain state of the components of shaped mills for restoration of the working profile of the wheelsets are performed. The model of a new design of shaped mills taking into account an angle of inclination of tool holders in the body of a shaped mill, quantity of hard-alloy cylindrical cutting elements for increase of efficiency of restoration of wheel pairs by milling of working surfaces on KZh20 machines is offered.

Keywords: profile of working surface, prefabricated shaped milling cutter, KZh20 machine tool, cutting force, finite element method.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІСНИХ ПАР
ФРЕЗЕРУВАННЯМ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ НА ВЕРСТАТАХ КЖ20**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Підписано до друку 9.04.2021 р. Формат 60x90/16

Гарнітура Times. Друк різнографічний.

Папір офсетний. 0,9 ум.-друк. арк.

Тираж 100 прим. Зам №1185

Віддруковано в Поліграфцентрі ФОП Кучугурний Ю.М.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру № 2224000000073863

49000, м. Дніпро, вул. Воскресенська, 11

т.: (096) 423-60-71