

УДК 621.914.1

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.1.3>

В.М. РУБАН

Національна металургійна академія України

ORCID: 0000-0002-9216-3506

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ РІВНОМІРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КОЛІСНИХ ПАР

У даній роботі розглянута можливість підвищення ефективності оброблення при відновлювальному ремонті профілю робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту за рахунок розробки та використання нових конструкцій спеціальних фасонних фрез, що є актуальною науково-технічною задачею для сучасного машинобудування. Найбільш суттєвим чинником забезпечення довговічності спеціальних фасонних фрез є міцність і надійність їх конструкції. Прагнення до підвищення чистоти оброблюваної поверхні веде до зменшення відстані між окремими циліндричними різальними елементами в різцетримачі. Це негативно впливає на міцність різцетримачі, послабляє перегородки між сусідніми циліндричними різальними елементами, а в умовах циклічних навантажень, сприяє послабленню посадки циліндричних різальних елементів в посадочних отворах, що може призводити до руйнування як окремих різальних елементів і різцетримача в цілому. Зменшення навантаження діючого на один окремий циліндричний різальний елемент спеціальних фасонних фрез можливо за рахунок збільшення чисельності циліндричних різальних елементів і різцетримачів розташованих в корпусі з іншим кутом нахилу, відмінним від існуючого. Результати досліджень показали що існує можливість обґрунтованого вибору кута нахилу різцетримачів в корпусі спеціальної фасонної фрези для верстату КЖ20, щодо усунення дефектів робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту. Зміна кута нахилу різцетримачів в корпусі спеціальної фасонної фрези дозволяє збільшити кількість різцетримачів і циліндричних різальних елементів, що дозволить забезпечити надійність і міцність конструкції спеціальних фасонних фрез та підвищення ефективності відновлювання профілю робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту.

Ключові слова: ефективність відновлення, профіль робочої поверхні, спеціальна збірна фасонна фреза, різцетримач, різальний елемент, колесофрезерний верстат КЖ20.

В.Н. РУБАН

Национальная металлургическая академия Украины

ORCID 0000-0002-9216-3506

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАВНОМЕРНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЁСНЫХ ПАР

В данной работе рассмотрена возможность повышения эффективности обработки при восстановительном ремонте профиля рабочей поверхности колёсных пар машин рельсового транспорта за счёт разработки и использования новых конструкций специальных фасонных фрез, что является актуальной научно-технической задачей для современного машиностроения. Наиболее существенным фактором обеспечения долговечности специальных фасонных фрез является прочность и надёжность их конструкции. Стремление к повышению чистоты обрабатываемой поверхности ведёт к уменьшению расстояния между отдельными цилиндрическими режущими элементами в резцедержателе. Это отрицательно влияет на прочность резцедержателя, ослабляет перегородки между соседними цилиндрическими режущими элементами, а в условиях циклических нагрузок, способствует ослаблению посадки цилиндрических режущих элементов в посадочных отверстиях, что может приводить к разрушению как отдельных режущих элементов, так и резцедержателя в целом. Уменьшение нагрузки действующей на один отдельный цилиндрический режущий элемент специальных фасонных фрез возможно за счёт увеличения численности цилиндрических режущих элементов и резцедержателей, расположенных в корпусе с другим углом наклона, отличным от существующего. Результаты исследований показали, что существует возможность обоснованного выбора угла наклона резцедержателей в корпусе специальной фасонной фрезы для станка КЖ20 относительно устранения дефектов рабочей поверхности колёсных пар машин рельсового транспорта. Изменение угла наклона резцедержателей в корпусе специальной фасонной фрезы позволяет увеличить количество резцедержателей и цилиндрических режущих элементов, что позволит обеспечить надёжность и прочность конструкции специальных фасонных фрез, и, повышение эффективности восстановления профиля рабочей поверхности колёсных пар машин рельсового транспорта.

Ключевые слова: эффективность восстановления, профиль рабочей поверхности, специальная сборная фасонная фреза, резцедержатель, режущий элемент, колесофрезерный станок КЖ20.

THEORETICAL STUDY OF THE CONDITIONS OF UNIFORM MILLING OF THE WORKING SURFACES OF WHEEL SET

In this paper, it is shown the possibility of increasing the efficiency of processing during the restoration repair of the profile of the working surface of wheel pairs of rail vehicles through the development and use of new designs of special shaped cutters, which is an urgent scientific and technical problem for modern mechanical engineering. The most important factor in ensuring the durability of special shaped cutters is the strength and reliability of their design. The desire to improve the surface finishing of the surface leads to a decrease in the distance between the individual cylindrical cutting elements in the tool holder. This negatively affects the strength of the tool holder, weakens the partitions between adjacent cylindrical cutting elements, and under conditions of cyclic loads, leads to weakening of the frame of cylindrical cutting elements in the mounting holes, which can lead to destruction of both individual cutting elements and the tool holder as a whole. Reducing the load of special shaped cutters acting on one separate cylindrical cutting element is possible by increasing the number of cylindrical cutting elements and tool holders located in the body with a different angle of inclination than the existing one. The research showed that there is a possibility of a reasonable choice of the angle of inclination of the tool holders in the body of a special shaped cutter for the KZh20 machine which helps to eliminate the defects in the working surface of the wheelsets of rail vehicles. Changing the angle of inclination of tool holders in the body of a special shaped cutter allows to increase the number of tool holders and cylindrical cutting elements, which ensure the reliability and strength of the frame of the special shaped cutters and increasing the efficiency of the restoration of the profile of the working surface of wheel pairs of rail vehicles.

Key words: restoration efficiency, working surface profile, special prefabricated shaped cutter, tool holder, cutting element, KZh20 wheel milling machine.

Постановка проблеми

Підвищення ефективності праці нерозривно пов'язане з вдосконаленням технічних засобів транспорту. Серед різних видів транспорту особливе місце займає залізничний транспорт [1], який є провідною галуззю дорожньо-транспортного комплексу України. Їм забезпечується 82% вантажних і майже 50% пасажирських перевезень. Він є економічним, надійним і безперебійно працюючим в різних кліматичних умовах. Колісні пари є одним із найвідповідальніших елементів механічної частини машин рейкового транспорту. Ресурс колісних пар визначає періодичність відновлення фасонного профілю робочої поверхні. Обладнання, яке використовується для відновлення профілю робочої поверхні колісних пар без викочування потребує вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Працездатність коліс відновлюється періодичними ремонтами. При механічній обробці профілю робочої поверхні колісних пар використовуються наступні методи різання: з викочуванням колісних пар або без викочування.

Найбільш поширеним способом відновлення геометричних параметрів профілю робочої поверхні коліс є метод без викочування колісних пар фрезеруванням на колесофрезерних верстатах КЖ20 за допомогою спеціальних фасонних фрез, призначені для обробки профілю робочої поверхні нових та зношених колісних пар електровозів, тепловозів, моторвагонних секцій залізничного транспорту і метрополітену.

Умову рівномірного фрезерування можна сформулювати так: для забезпечення рівномірного фрезерування ширина фрезерування повинна дорівнювати осьовому кроку фрези.

В працях [2; 3] показано, що рівномірне фрезерування можливо при роботі фрезою з гвинтовим зубом, у якої кожне різальне лезо поступово входить в заготовку, а потім поступово виходить із неї.

Низька культура виробництва та недостатня кваліфікація верстатників у ремонтних підприємствах призводять до невисокої якості обробки коліс. Встановлено, що прояв вищербин на поверхні катання колеса відбувається протягом перших 3...6 місяців після обробки на колесотокарних верстатах. Як показали дослідження наведені в роботі [4], причиною є невиконання заданої шорсткості обточуваних поверхонь коліс.

Одним зі шляхів покращання якості обробленої поверхні є використання нових конструкцій фрез та схем різання [5] із застосуванням конструкцій фрез із розташуванням різальних елементів (ножів) на різних спіралях корпусу фрези (спіралях Ферма, Архімеда, логарифмічних спіралях) [6].

До недоліків, які супроводжують процес фрезерування [7], варто віднести наступні:

- процес видалення припуску на обробку є переривчастим;

- кожний формуючий елемент (ніж або зуб) знімає стружку змінної товщини, що викликає зміну сили різання і, відповідно, її складових P_z , P_y і P_x ;
- кількість формуючих елементів, що знаходяться одночасно в процесі різання, змінюється при врізанні в оброблювану поверхню і виході з неї;
- зміна сил різання в процесі обробки, призводить до нестабільності шорсткості обробленої поверхні.

У статті [8] виконано огляд існуючих способів механічної обробки профілів колісних пар без викочування в депо залізниць України, визначено що перспективним напрямом є впровадження сучасних підрейкових верстатів.

А в статті [9] вказується, що причиною зниження якості обробки робочих поверхонь коліс при їх токарній обробці може бути недостатня жорсткість конструкції, що може призводити до додаткових вібрацій.

Усунення наведених недоліків або мінімізація їх впливів як на якість, так і на ефективність процесу обробки робочого профілю колісних пар без викочування інструментом з формуючими елементами, є завданням і метою цієї роботи.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є вивчення можливості підвищення ефективності оброблення при відновлювальному ремонті профілю робочої поверхні колісних пар за рахунок теоретичного дослідження умов рівномірного фрезерування робочих поверхонь колісних пар спеціальними фасонними фрезами, що є актуальною науково-технічною задачею для сучасного машинобудування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Приводні колеса машин рейкового транспорту працюють у важких умовах експлуатації (рис. 1), що визначає інтенсивний знос вихідного профілю коліс (тонка лінія) до граничного стану, при якому починається інтенсивний знос профілю (пунктирна лінія).

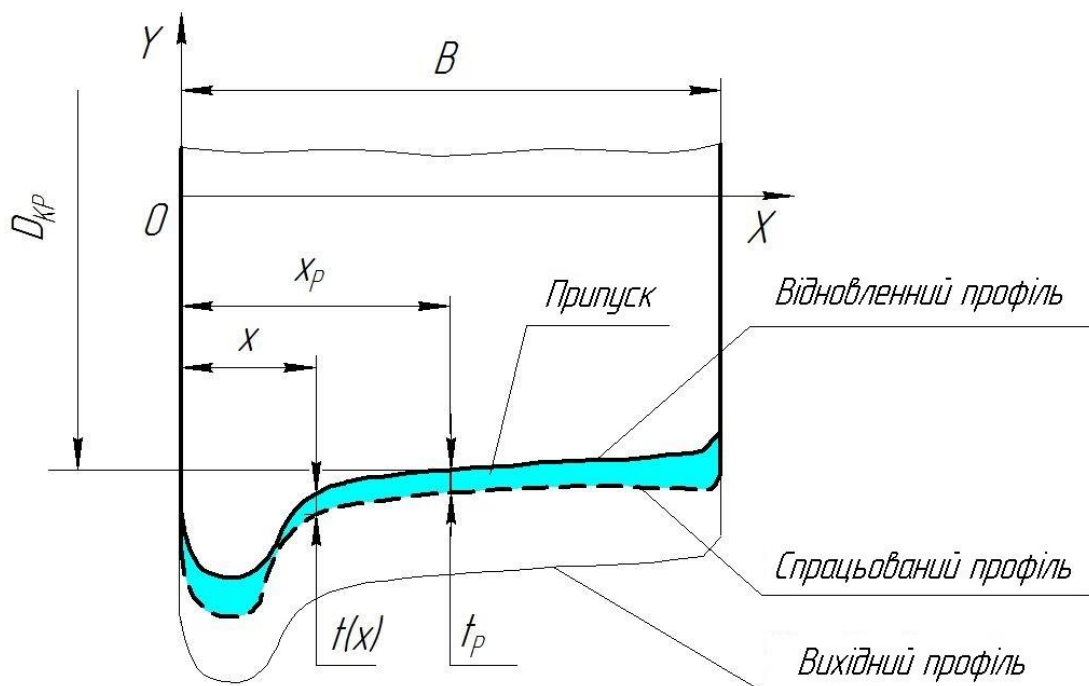


Рис. 1. Профіль поверхні кочення колеса локомотива

Ремонтний розмір відновленого профілю (суцільна лінія на рис.1) регламентується нормативними документами і, тим самим, визначає припуск на обробку (фрезерування) колеса шириною $B=140$ мм зі змінною глибиною різання $t(x)$ [10]. У цьому випадку розрахункова глибина припуску на обробку становить:

$$t_p = t(x_p) \leq 10 \text{ мм}, \quad (1)$$

Де $x_p = \frac{\int_0^B t(x) x dx}{\int_0^B t(x) dx}$ - відстань від торця колеса до перетину, в якому розташований розрахунковий припуск t_p .

Ремонт фрезеруванням робочого профілю колісної пари здійснюється в умовах локомотивного депо на спеціальних верстатах моделі КЖ20 комплектом із двох симетричних спеціальних збірних фрез, кожна з яких складається з корпусу, вставних різцетримачів фасонного профілю (10 штук), в яких по гвинтовій лінії встановлені циліндричні різальні елементи (по 13 шт. у кожному різцетримачі), різальні кромки різальних елементів розташовані по профільній лінії різцетримачів, яка відповідає робочому профілю колісної пари.

Спрощена схема обробки наведена на рис.2. Кінематична схема [11] фрезерування робочого профілю відповідає п'ятій групі в класифікації, яка заснована на поєднанні двох обертальних рухів, до схем цієї групи належать такі методи оброблення, фрезерування тіл обертання, зубофрезерування черв'ячними фрезами черв'ячних коліс та інше.

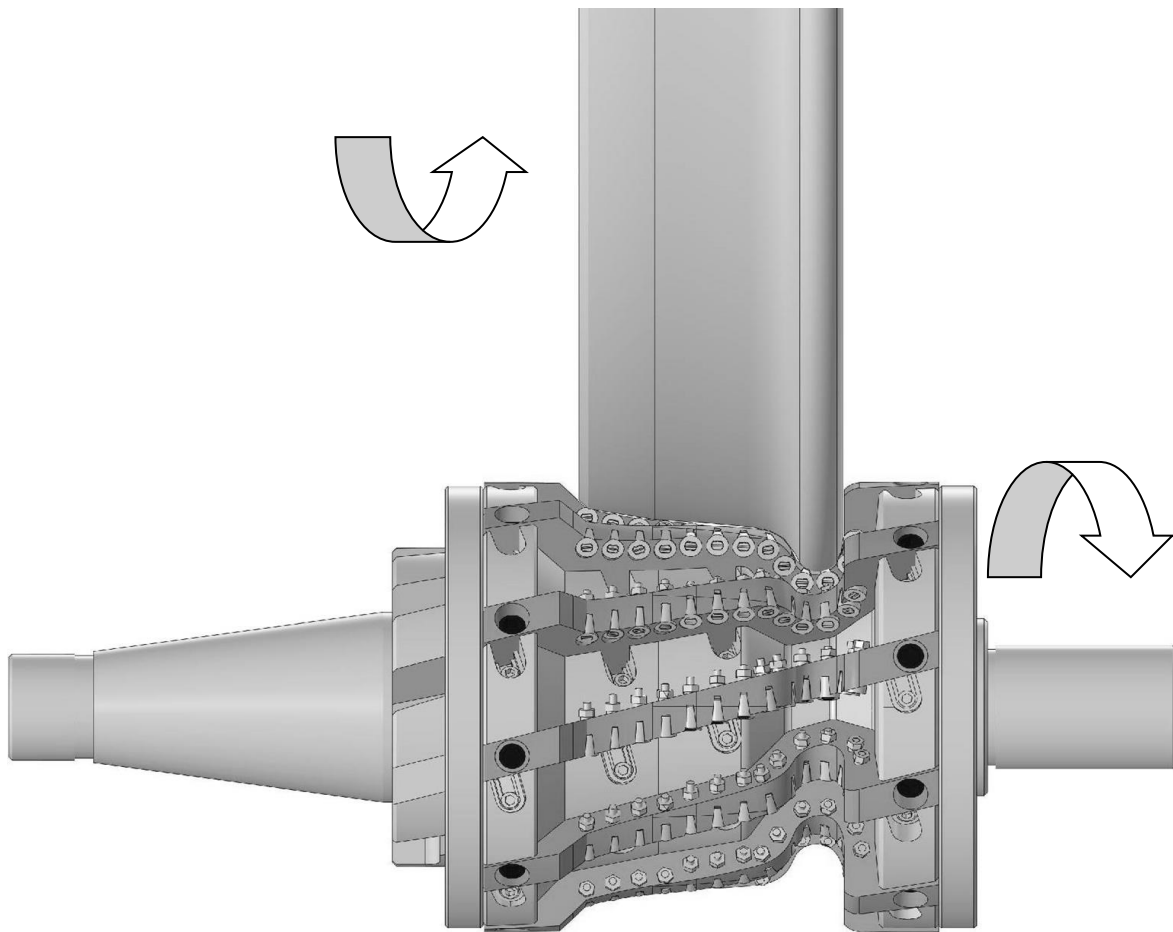


Рис. 2. Спрощена схема фрезерування робочого профілю

У процесі фрезерування робочого профілю колісної пари при постійних ударах і вібрації послаблюються кріплення різальних елементів (рвуться гвинти), послаблюються отвори, викришується різальна кромка, що іноді призводить до руйнування різальних елементів.

Ремонтний розмір відновленого профілю регламентується нормативними документами і тим самим визначається припуск на обробку (фрезерування) колеса шириною 140 мм зі змінною глибиною різання [12].

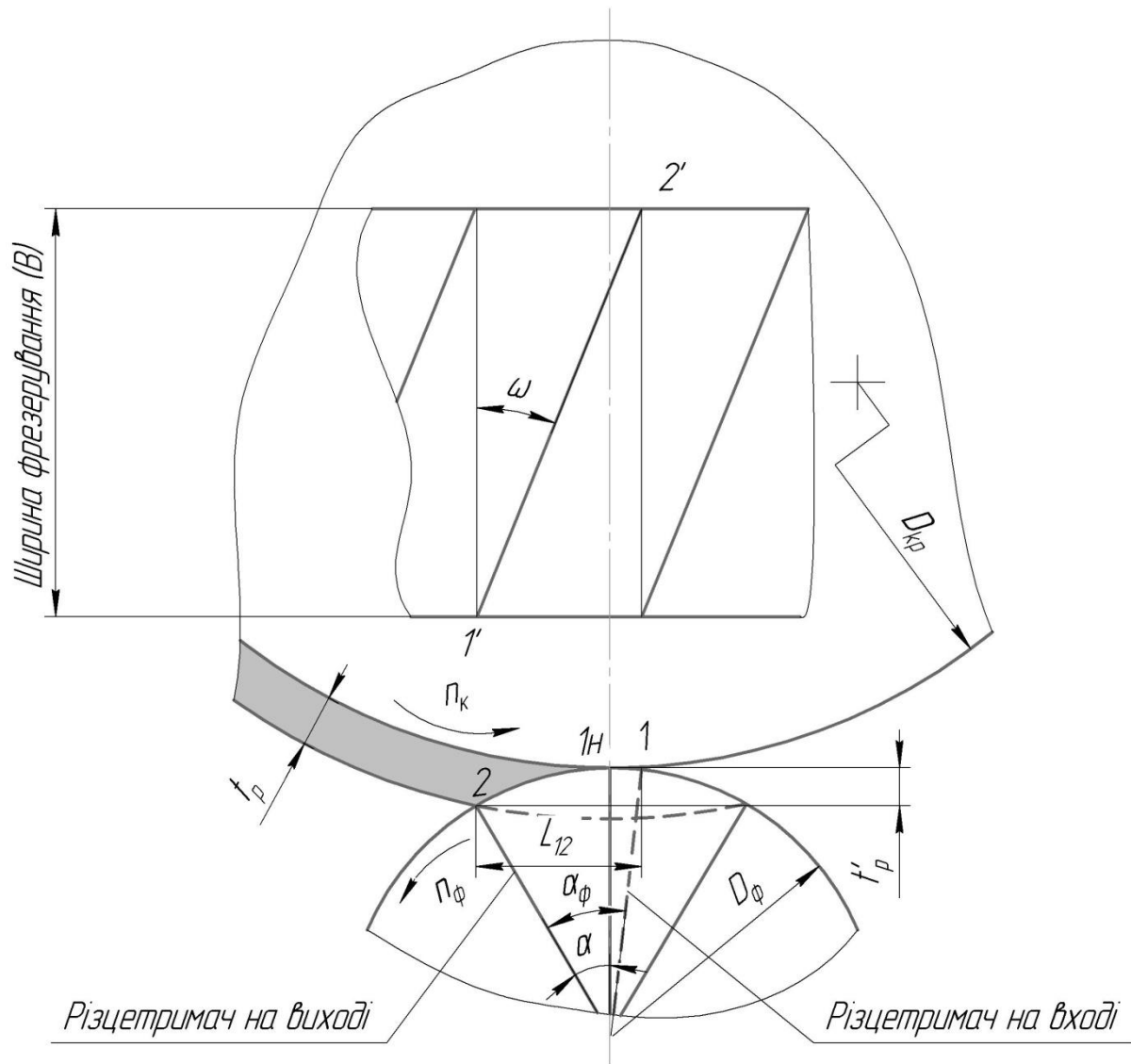


Рис. 3. Схема умови рівномірного фрезерування колісної пари

Для забезпечення рівномірного фрезерування (рис. 3) необхідно, щоб в роботі була задіяна постійна кількість (не менш двох) різцетримачів [13; 14] ці умови будуть виконуватися при:

$$L_{12} = Big\omega. \quad (2)$$

З рівняння (2) випливає, що якщо на відстані від точки 1' до точки 2' одного осевого кроку різцетримачів фрези, різцетримач фрези поступово входить в видалений шар і поступово виходить, то фрезерування буде рівномірним по ширині В.

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

$$\frac{B \cdot z}{\pi \cdot D \cdot K_n} = \text{ctg} \omega, \quad (3)$$

де В - ширина фрезерування;
z - число різцетримачів;
D - діаметр фрези;

$$K_p = \frac{B}{t_0} - \text{коефіцієнт рівномірності, приймаємо 1.}$$

Рівномірне фрезерування забезпечує сталість окружної сили і крутного моменту.

Відстань L_{12} визначимо як:

$$L_{12} = t' \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{z} + \frac{S'_z}{R \cdot \sin \alpha} \right) = B \operatorname{tg} \omega. \quad (4)$$

Визначимо кут ω за формулою:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{t'}{B} \cdot \left[\operatorname{tg} \frac{\alpha}{z} + \frac{S'_z}{R_\phi \cdot \sin \alpha} \right]. \quad (5)$$

Рівномірне фрезерування буде дотримуватися, якщо кут нахилу різцетримача визначити за формулою:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{t'}{B} \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{z} \right) + \frac{S'_z}{D_\phi \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{z} \right)} \right], \quad (6)$$

де $t'_p = t_p \cdot D_k \cdot \frac{D_\phi}{D_{kp} + D_\phi}$ - приведена глибина різання;

B - ширина фрезерування;

t_p - розрахункова глибина різання;

D_{kp} - розрахунковий діаметр колеса;

D_ϕ - діаметр фрези; z - кількість різцетримачів фрези;

$S'_z = S_z \cdot D_k \cdot \frac{D_\phi}{D_k + D_\phi}$ - приведена подача на один різцетримач;

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

де D_k - діаметр колеса по колу кочення;

n_k - частота обертання колеса;

n_f - частота обертання фрези;

z - число різцетримачів фрези.

Спрощений розрахунок кута контакту ψ визначимо за формулою:

$$\psi_\phi = a \cos \left[\frac{D_k}{D_\phi} + \sqrt{\left(\frac{D_k}{D_\phi} \right)^2 + \frac{2D_k}{D_\phi} \cdot \left(1 - \frac{2t}{D_\phi} \right)} + 1 \right]. \quad (7)$$

Розрахункове число різцетримачів фрези, що забезпечує рівномірність фрезерування для прийнятих умов, визначимо за формулою:

$$z = 2 \cdot \frac{\pi}{\psi_\phi}. \quad (8)$$

Існуюча конструкція фасонної фрези з числом різцетримачів $z = 10$ має кут нахилу $\omega = 36^\circ$, тому і не має рівномірного фрезерування. Пропонована вдосконалена конструкція фасонної фрези [15] з числом різцетримачів $z = 14$ має кут нахилу $\omega = 20^\circ$, тому мають рівномірне фрезерування.

Висновки

Основним напрямом підвищення ефективності оброблення при відновлювальному ремонті профілю робочої поверхні колісних пар є розробка, вдосконалення та впровадження нових конструкцій спеціальних фасонних фрез.

Рівномірне фрезерування забезпечує сталість окружної сили і крутного моменту, що дозволяє підвищити ефективність оброблення профілю робочої поверхні колісних пар за рахунок розробки та використання нових конструкцій спеціальних фасонних фрез.

На кафедрі «Прикладної механіки» НМетАУ вже розроблено і продовжується розробка нових способів відновлення профілю робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту, завдяки вдосконалення спеціальних фасонних фрез до верстатів КЖ20.

Список використаної літератури

1. Укрзалізниця: [офіційний веб портал]. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/about/general_information/
2. Коротков И. А. Фрезерный инструмент: учебное пособие / И. А. Коротков, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 248 с.
3. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
4. Тихенко В. Н. Повышение эффективности обработки на колесотокарных станках / В. Н. Тихенко, С. В. Пчелинский // Пр. Одес. політехн. ун-ту. - Одеса, 2012. - Вип. 1 (38). - С. 84-87.
5. Виговський Г.М. Безвершинне косокутне фрезерування. Шорсткість поверхні / Г.М. Виговський, П.П. Мельничук // Вестник НТТУ «КПІ», «Машиностроение». – 1999. – № 37. – С. 262–275.
6. Мельничук, П. П. Динаміка процесу торцевого фрезерування при зношуванні різальних елементів / П. П. Мельничук, Я. А. Степчин. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". - 2012. - (2(61)). - С. 33–40. [https://doi.org/10.26642/tn-2012-2\(61\)-33-40](https://doi.org/10.26642/tn-2012-2(61)-33-40)
7. Мельничук П. П. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування / П. П. Мельничук, В. Ю. Лосєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2014. - № 3. - С. 164-172.
8. Данилевський В. І. Відновлення профілю кочення колісних пар без викочування під час експлуатації рухомого складу / В. І. Данилевський, С. В. Остапєць, В. М. Тарасюк // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». - 2017. - Вип. 30. – С. 10-15.
9. Lechrich, K. & Wasik, M. & Kosmol, J. Identifying the causes of deterioration in the surface finish of a workpiece machined on a rail wheel lathe. Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability. 2018. Vol. 20. No. 3. P. 352–358.
10. Добров И.В. Равномерное фрезерование при ремонте поверхности катания колесных пар машин рельсового транспорта / И.В. Добров, В.Н. Рубан. XIII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» June 5-8 2017. VOLUME 2. Varna, Bulgaria. – С. 88-92.
11. Равська Н. С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н. С. Равська, П. П. Мельничук, О. В. Мамлюк, Т. П. Ніколаєнко, О. А. Охріменко // Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей вищих навчальних закладів. — (Лист № 1/11-5203 від 12.03.2013 р.). — Київ, 2013. — 215 с.
12. Рубан В.М. Підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ20: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01/ Владислав Миколайович Рубан; [наук. керівник О. В. Сладковський]; ДВНЗ «Державний університет «Житомирська політехніка»». - Житомир, 2021. - 196 с.
13. Касилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. / А.Г. Касилова, Р.К. Мещеряков. - М.: Машиностроение 1985. – Т. 1. – 656с.; Т. 2. – 496 с.
14. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
15. 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.

References

1. Ukrzaliznitsya: [official web portal]. – Rezhim dostupu: https://www.uz.gov.ua/about/general_information/
2. Korotkov I. A. Frezerniy instrument: uchebnoe posobie / I. A. Korotkov, A. G. Shirladze, V. P. Boriskin. - Staryiy Oskol: TNT, 2014. 248 p.
3. Mazur M.P. Osnovi teorii rlyzannya materIalIv: pIdruchnik [dlya visch. navch. zakladIv] / M.P. Mazur, Yu.M. Vnukov, V.L. Dobroskok, V.O. Zaloga, Yu.K. Novosolov, F.Ya. Yakubov; pId zag. red. M.P. Mazura. – 2-e vid. pererob. I dop. Lviv : Noviy svit-2000, 2011. 422 p.
4. Tihenko V. N. Povyishenie effektivnosti obrabotki na kolesotokarnyih stankah / V. N. Tihenko, S. V. Pchelinskiy // Pr. Odes. polItehn. un-tu. Odesa, 2012. V. 1 (38). P. 84-87.
5. Vigovskiy G.M. Bezvershinne kosokutne frezeruvannya. ShorstkIst poverhnl / G.M. Vigovskiy, P.P. Melnichuk // Vestnik NTTU “KPI”, “Mashinostroenie”. 1999. № 37. P. 262–275.

6. Melnichuk P. P. Dinamika protsesu tortseвого frezeruvannya pri znoshuvanni rязalnih elementiv / P. P. Melnichuk, Ya. A. Stepchin. Visnik ZhDTU. Seriya "Tehnichni nauki". 2012. V. (2(61)). P.33–40. [https://doi.org/10.26642/tn-2012-2\(61\)-33-40](https://doi.org/10.26642/tn-2012-2(61)-33-40)
7. Melnichuk P. P. Teoretiko-tehnologIchnе obGruntuvannya mozhlivostey obrobki ploskih poverhon detaley tortsevim lezovim Instrumentom, osnaschenim nadtvverdimi materIalami, zamIst shhIfuvannya / P. P. Melnichuk, V. Yu. LoEv // VIIsnik Hmel'nitskogo natsIonal'nogo unIversitetu. TehnIchnI nauki. 2014. № 3. P. 164-172.
8. Danilevskiy V. I. VIdnovlennya profil'yu kochennya koll'snih par bez vikochuvannya pId chas ekspluatatsIYi ruhomogo skladu / V. I. Danilevskiy, S. V. Ostapets, V. M. Tarasyuk // Zbirnik naukovih prats DETUT. SerIya «TransportnI sistemi I tehnologiyi». 2017. V. 30. P. 10-15.
9. Lehrich K., Wąsik M., Kosmol, J. Identifying the causes of deterioration in the surface finish of a workpiece machined on a rail wheel lathe. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. 2018. Vol. 20. No. 3. P. 352–358.
10. Dobrov I.V. Ravnomernoe frezerovanie pri remonte poverhnosti kataniya kolesnyih par mashin relsovogo transporta / I.V. Dobrov, V.N. Ruban. XIII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» June 5-8 2017. VOLUME 2. Varna, Bulgaria. P. 88-92.
11. Ravska N. S. Osnovi formoutvorennya poverhon pri mehanIchnIy obrobtI / N. S. Ravska, P. P. Melnichuk, O. V. Mamlyuk, T. P. Nikolaenko, O. A. OhrImenko // Navchalniy posIbnik dlya studentIv mehanIchnih spetsIalnostey vischih navchalnih zakladIv. — (List № 1/11-5203 vId 12.03.2013 r.). Kyiv, 2013. 215 p.
12. Ruban V.M. PIdvischennya efektyvnostI vIdnovlennya koll'snih par frezeruvannyam robochih poverhon na verstatah KZh20: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.03.01/ Vladislav Mikolayovich Ruban; [nauk. kerIvnik O. V. Sladkovskiy]; DVNZ «Derzhavniy unIversitet «Zhitomir'ska polItehnIka»». Zhitomir, 2021. 196 p.
13. Kasilova A.G. Spravochnik tehnologa-mashinostroitel'ya. / A.G. Kasilova, R.K. Mescheryakov. Moscow. Mashinostroenie 1985. – V. 1. – 656 p.; V. 2. – 496 p.
14. Bobrov V. F. Osnovy teorii rezaniya metallov / V. F. Bobrov. Moscow. Mashinostroenie, 1975. 344 p.
15. ZbIrna fasonna freza dlya remontnogo vIdnovlennya profil'yu poverhni kochennya kolesa ruhomogo skladu mashin reykovogo transportu: pat. № 119973 Ukrayina: MPK V23 S5/12, V23 S5/14. № a 201507376 zayavl. 22.07.2015; opubl. 25.10.2017. V. 20. 5 p.