

A.Sladkowski, professor, doctor of technical sciences
Silesian University of Technology

В.М. Рубан, ст. викладач
Національна металургійна академія України

Підвищення ефективності використання ріжучих елементів спеціальних фасонних фрез до верстатів КЖ20

Значну частину в структурі виробничих витрат, пов'язаних з відновленням поточної працездатності локомотивних коліс за допомогою їх обробки на верстаті КЖ20, займають витрати на інструмент. Вартість інструменту, особливо твердосплавного, постійно зростає. Відновлення працездатності твердосплавних ріжучих елементів здійснюється шляхом повороту їх в різцетримачі (ножі) на визначений кут навколо осі цього елемента. Запропоновано методику ефективного використання спеціальних фасонних фрез, що заснована на визначенні раціонального кута повороту ріжучих елементів. Перспективним напрямом використання ріжучих елементів є також відновлення властивостей зношених елементів для їх повторного використання. Процеси електроерозійної обробки особливо ефективні в інструментальному виробництві під час виготовлення спеціального інструменту. Авторами розроблено і запропоновано технологію відновлення працездатності ріжучих елементів, які вже відпрацювали свій ресурс. Запропонована авторами технологія дозволяє впровадити систему економічно ефективної і раціональної експлуатації для використання частини зношених, але придатних до відновлення змінних ріжучих елементів для їх повторного використання під час ремонту робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20.

Ключові слова: ріжучі елементи; ріжуча кромка; кут оберту; збільшення ресурсу; ремонт робочої поверхні; колісні пари; машини рейкового транспорту; верстат КЖ20.

Актуальність теми. Застосування змінних твердосплавних циліндричних ріжучих елементів з кріпленням через центральний отвір під час обробки деталей є домінуючим напрямом в обробці металів різанням. При цьому ефективність процесу визначається ресурсом роботи ріжучого інструменту. У зв'язку з цим проблема підвищення стійкості змінних твердосплавних ріжучих елементів циліндричної форми є дуже важливим завданням інструментального виробництва.

Перспективним напрямом збільшення ефективності використання ріжучих елементів циліндричної форми є відновлення ріжучих властивостей зношених ріжучих елементів для їх повторного використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Відомо, що знос і відколи вершин твердосплавних циліндричних різців відбуваються по задній поверхні головної і допоміжної різальних кромки і радіусу вершини різця. Встановлено, що пластини доводиться замінювати, якщо знос однієї вершини пластини різця по задній поверхні головної різальної кромки і радіусу заокруглення вершини становить 0,3–0,5 мм по висоті і 0,03–0,05 мм по глибині [1].

Все більш значну частину в структурі виробничих витрат займають витрати на інструмент. Вартість інструменту, особливо твердосплавного, постійно зростає. Ідея створення вторинного ресурсу працездатності передбачає розгляд зношених твердосплавних циліндричних ріжучих елементів як заготовок.

Як показує досвід роботи твердосплавних циліндричних ріжучих елементів, з нормальним зносом, тобто не доведені до катастрофічного зносу, вони не набувають внутрішніх дефектів.

Зміна розмірів ріжучих елементів по контуру може привести до погіршення базування або зміни перехідного радіуса при вершині.

Створення вторинного ресурсу доцільно, тільки якщо вартість відновлення істотно нижча, ніж вартість нової [2].

При обробці загартованих сталей рекомендується застосовувати від'ємний передній кут, при ударній роботі (робота з перервами) від'ємний кут γ сприяє більш плавному введенню кромки в оброблюваний метал деталі, що оберігає ріжучу кромку від викришування [3, 4].

Кращі результати досягаються, якщо головний кут в плані φ становить менше за 60 градусів, а глибина різання t не перевищує 25 % діаметра d пластини [5].

Широке застосування знайшли ріжучі елементи у вигляді прямого кругового циліндра, для яких рівні по модулю від'ємний передній γ і задній α кути, отримані за рахунок повороту опорної площини ріжучого елемента [6].

Застосування таких ріжучих елементів для обробки високоміцних матеріалів робить оптимальним висока стійкість двох різальних кромки з кутом загострення 90° , а їх розташування по периметру кола на основах збільшує ресурс ріжучого інструменту.

У залізничних локомотивних депо і транспортних цехах крупних металургійних підприємств для ремонтного відновлення профілю робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту застосовуються колесофрезерні верстати КЖ20, виробництва Краматорського заводу важкого верстатобудування [7].

На цих верстатах ремонтне відновлення профілю робочої поверхні колісних пар здійснюється при ТО-3, ТО-4, ТР-1, ТР-2, без викочування колісних пар з-під локомотива [8]. Використовується метод швидкісного фрезерування за допомогою комплекту (правої і лівої) спеціальних збірних фрез залежно від необхідного профілю.

Спеціальні фасонні фрези [9] складаються з корпусу 1 (рис. 1), в пазах якого встановлені ножі 2. Кріплення ножів до корпусу здійснюється гвинтами 3. Ножі також закріплюються в окружному напрямку за допомогою гвинтів 4 і клиноподібних сухарів 5. Ножі встановлюються в пази корпусу в строго визначеному порядку і повинні маркуватися згідно з номерами пазів. Можливі зсуви ножів в осьовому напрямку (вздовж паза корпусу) блокуються кільцями 6 і 7. Ліве (базове) кільце 6 і праве 7 кріпляться до корпусу гвинтами 8. Торць ножа з боку гребеня має бути притиснутий до базового кільця 6 гвинтом 9. За конструкцією ліва і права фреза аналогічні.

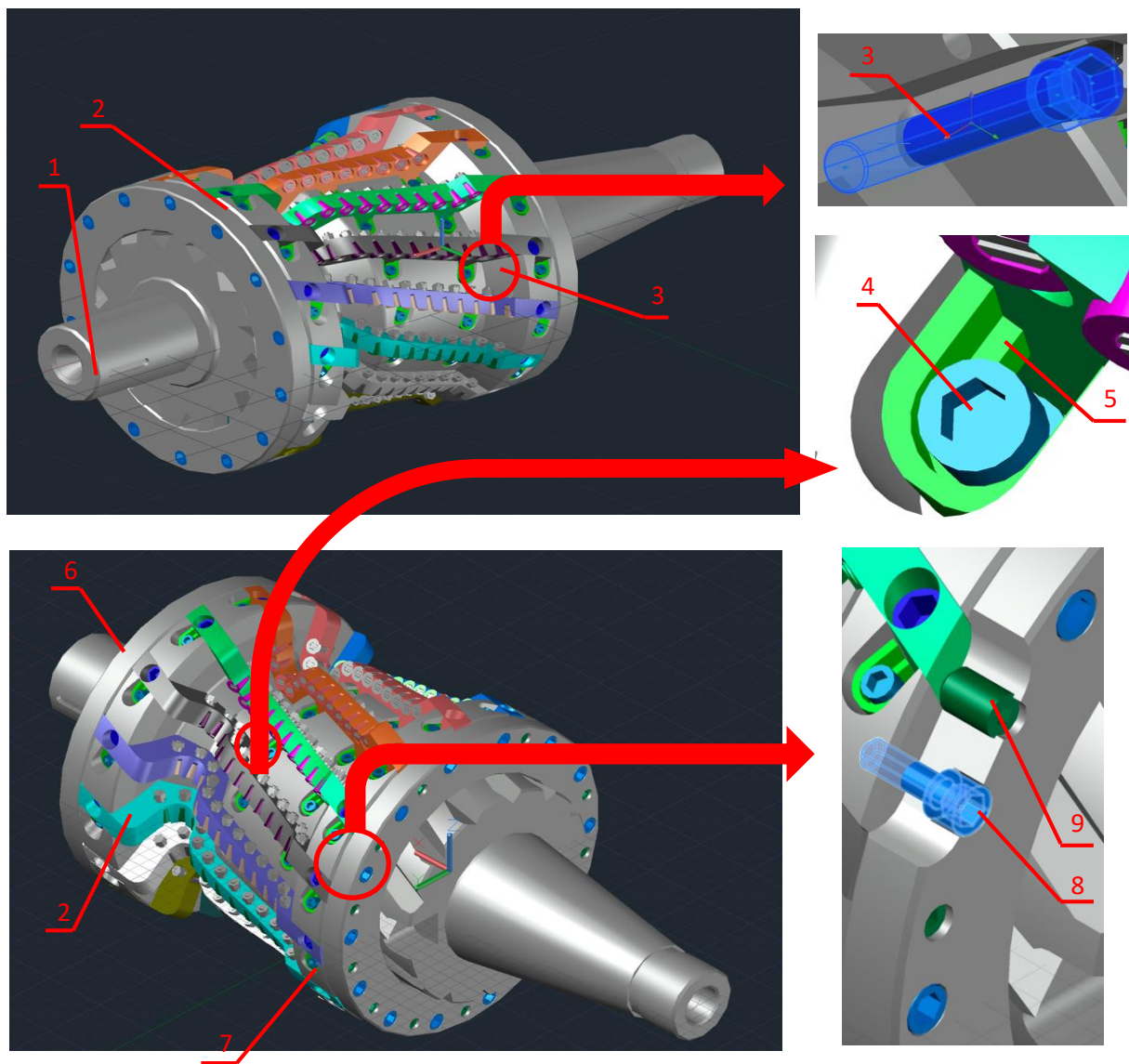


Рис. 1. Тривимірна візуалізація спеціальної фасонної фрези (загальний вигляд)

Тривимірна візуалізація конструкції ножів 2 представлена окремо на рисунку 2. Ріжучі елементи (твердосплавні циліндричні вставки) 10, вставляються в отвори ножів і кріпляться в них за допомогою

гвинтів 11 і гайок 12. Під ріжучі елементи встановлюються компенсаційні шайби 13 різної товщини. З їх допомогою досягається необхідна точність розташування ріжучих елементів під час настроювання фрез.

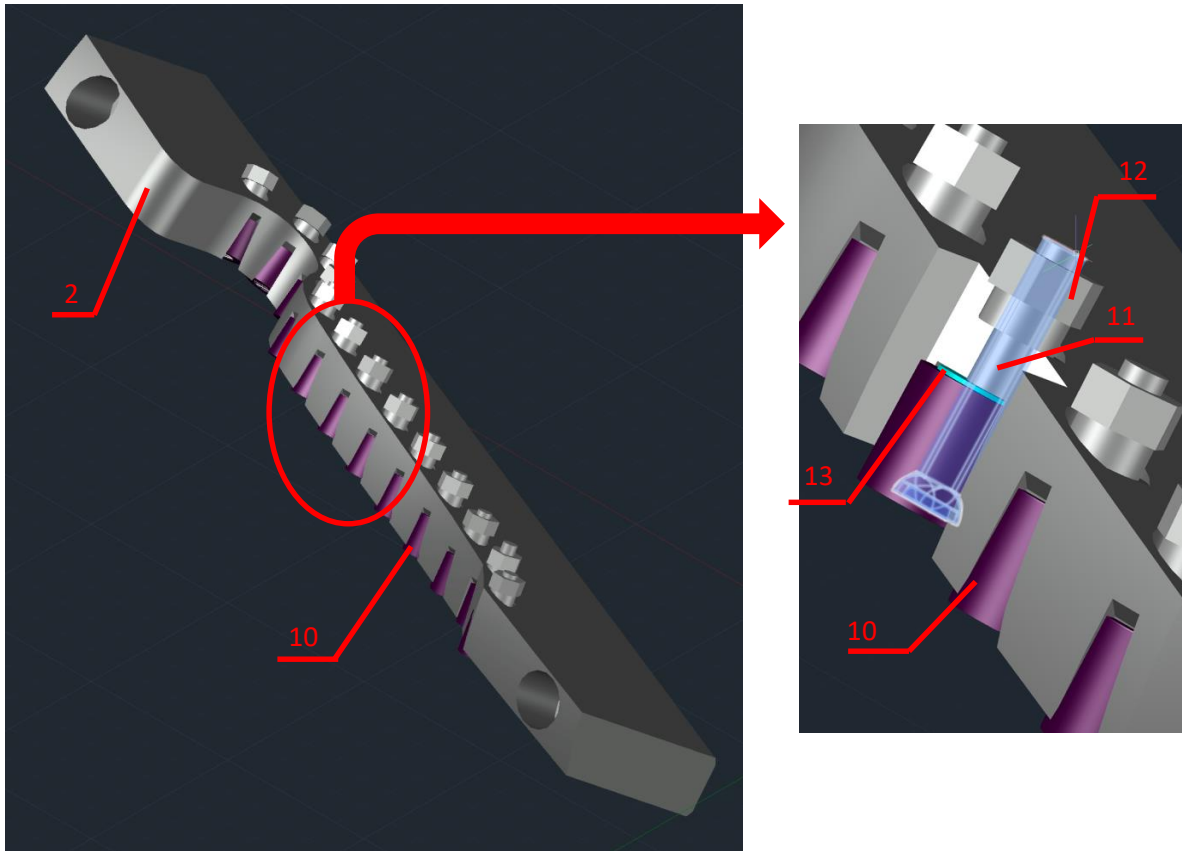


Рис. 2. Тривимірна візуалізація конструкції ножів (загальний вигляд)

Матеріал ріжучих елементів RNUX MO NT 1212 KC-25 (T14K8) K3TC; RNGX 1212 M126 Pramet с покриттям, RNGX 1212M0 S30 Pramet, RNHX 1212 S26 80009431 Pramet.

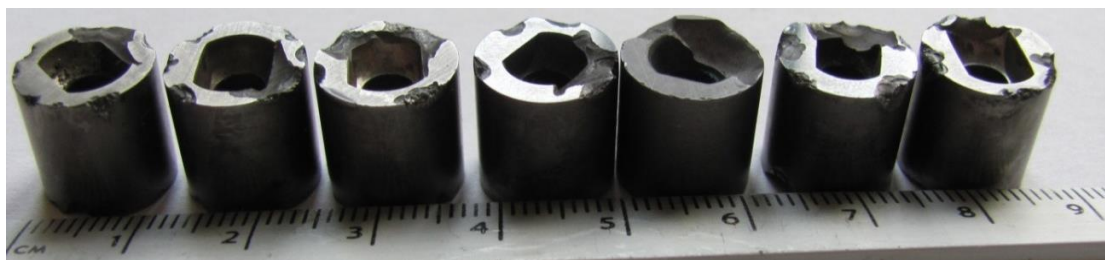
Ріжучий інструмент є ключовим елементом у технологічній системі, який слугує для видалення дефектного шару і володіє найменшою надійністю. На практиці для збільшення терміну служби ріжучого інструменту часто знижують режими різання, тому підвищення міцності ріжучої частини актуальна [10].

Спеціальні фасонні фрези такого типу використовують для відновлення профілю робочої поверхні колісних пар не тільки на магістральному, але і на промисловому транспорті.

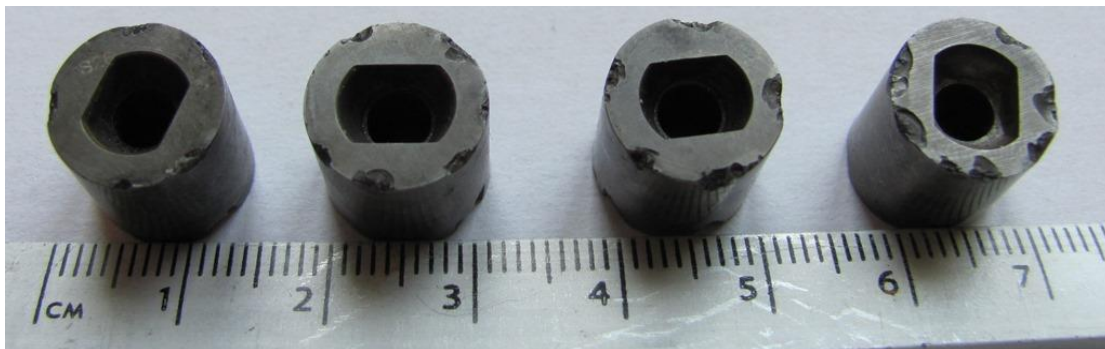
У класифікації відмов працездатності інструменту вирізняють дві основні групи – знос і руйнування. Руйнування, в свою чергу, прийнято розділяти на пластичне і крихке, а крихке руйнування – на викришування і відколи. Причиною появи викришування (відділення невеликих частинок у межах зони контакту) прийнято вважати циклічні термічні і силові напруження в ріжучому клині, які призводять до втомного руйнування матеріалу ріжучого інструменту.

Відколи – руйнування ріжучої частини, викликане виключно несприятливим силовим навантаженням з боку шару, що зрізується. Характер руйнувань – відколи великих частин леза, що розвиваються із зони передньої поверхні, розташованої за межами контакту інструменту зі стружкою – приводить до висновку про виникнення в цій зоні критичних напружень, що розтягують, що перевищують межу міцності інструментального матеріалу [11].

На рисунку 3, а представлено деякі дефекти твердосплавних ріжучих елементів для фасонних фрез, отримані під час відновлювального ремонту профілю робочої поверхні колісних пар. Відбракування проводилося візуально на ріжучих елементах, які не мають відколів та тріщин. Проводилося вимірювання робочих площадок ріжучих елементів, які не мали перевищувати в ширину більше за 1,5 мм. Ріжучі елементи, які можуть підлягати відновленню, наведено на рисунку 3, б.



а



б

Рис. 3. Дефекти твердосплавних ріжучих елементів:
а) різці для відновного ремонту не годяться;
б) різці можуть бути використані знову після відновлення

В області термомеханічних ушкоджень твердість колісної сталі біля поверхні досягає значень 950 HV і більш. Зміцнений шар колісної сталі йде вглиб колеса від поверхні кочення на 4–5 мм, а в окремих випадках на 6–8 мм. Таким чином, механічні властивості поверхневого шару металу колеса в експлуатації змінюються, оскільки після короткого пробігу на окремих ділянках колеса спостерігаються підвищення твердості.

На наш погляд, найбільш перспективним є відновлення ріжучих елементів по передній поверхні з від'ємним кутом фаски.

Метою статті є дослідження можливостей підвищення ефективності використання циліндричних твердосплавних ріжучих елементів завдяки відновленню ріжучих властивостей, за умови застосування зношених циліндричних твердосплавних ріжучих елементів для їх повторного використання.

Викладення основного матеріалу. Як геометричне тіло циліндричні твердосплавні ріжучі елементи цього типу представляють прямий круговий циліндр, (рис. 4) від'ємний передній і задній кути різця утворюються нахилом опорної поверхні гнізда під циліндричні твердосплавні ріжучі елементи в різцетримачі (ножі).

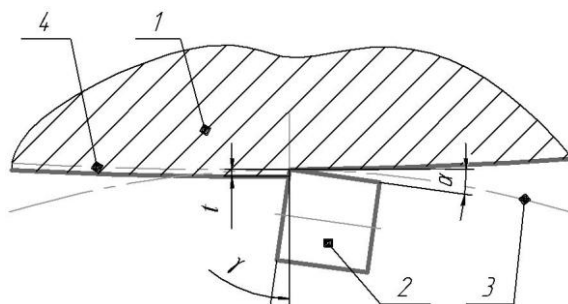


Рис. 4. Схема різання:
1 – оброблювальна поверхня колеса, 2 – ріжучий елемент,
3 – траєкторія руху різальної кромки, 4 – шар металу, що зрізається за один оборот колеса,
 γ – передній кут, α – задній кут, t – глибина різання

Відновлення працездатності циліндричного твердосплавного ріжучого елемента здійснюється шляхом повороту в ножі на кут Δ .

В [12] при визначенні діаметра круглих поворотних пластин визначається центральний кут Δ дуги окружності, при роботі одним різцем, за формулою (1):

$$\Delta = \sqrt{6 - \frac{\sqrt{12R \cdot (3R - 2t)}}{2 \cdot R}}, \quad (1)$$

де R – радіус окружності ріжучого елемента, мм;

t – глибина різання, мм.

У спеціальній фасонній фрезі [13], для відновлення робочого профілю колісних пар машин рейкового транспорту, ріжучі елементи встановлено в різцетримачах (ножах) з міжосьовою відстанню l між послідовно працюючими ріжучими елементами. Для визначення кута повороту ріжучого елемента застосована методика, яка використовується авторами в статті [14], кут на який повертається ріжучий елемент визначається за залежністю:

$$\Delta = \arccos\left(1 - \frac{t}{R}\right) + \arcsin\left(\frac{l}{2R}\right), \quad (2)$$

де t – глибина різання, мм;

R – радіус окружності ріжучого елемента, мм;

l – відстань між послідовно працюючими різцями, мм.

При зносі активної частини різальної кромки A_1C_1 циліндричний твердосплавний ріжучий елемент повертається навколо точки O_1 – її центру на деякий кут Δ .

При повороті циліндричного твердосплавного ріжучого елемента активна частина ріжучої кромки займає положення дуги окружності A_1C_1 , тобто її незношеної ділянки. Такий поворот здійснюється навколо точки O_1 центру циліндричного твердосплавного ріжучого елемента. Точка O_1 одночасно є і центром дуги A_1C_1 (рис. 5).

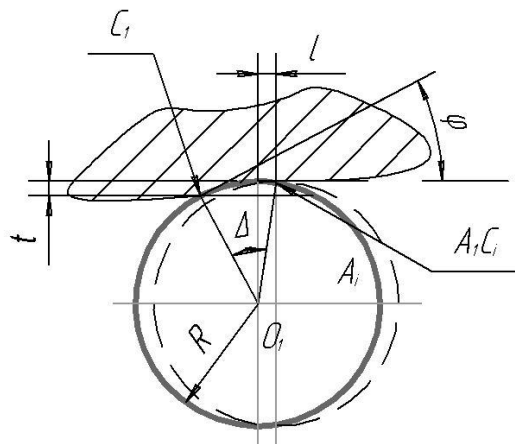


Рис. 5. До визначення кута повороту

Кількість допустимих поворотів n циліндричного твердосплавного ріжучого елемента розраховується за формулою:

$$n = \frac{2\pi}{\Delta} - 1. \quad (3)$$

При двосторонньому використанні циліндричних твердосплавних ріжучих елементів ефективність використання різальних елементів збільшується в два рази.

У формулі (3) кількість допустимих поворотів зменшено на один з урахуванням похибок установки.

Для отримання необхідної шорсткості профілю робочої поверхні колісних пар Rz80 мкм [15] автори [16] зауважують, що гнізда під циліндричні твердосплавні ріжучі елементи у всіх ножах зміщені щодо попередніх на 1,8 мм, а зношені циліндричні твердосплавні ріжучі елементи повертають приблизно на 0,1 частини окружності, а гальтельні на 0,2 частини.

Оскільки циліндричні твердосплавні ріжучі елементи в кожному ножі розташовуються з міжосьовою відстанню на 18–20 мм, то для отримання необхідної шорсткості гнізда під циліндричні твердосплавні ріжучі елементи у всіх попередніх і наступних ножах фасонної фрези зміщені щодо попередніх на 1,5–2 мм. Сумарна стійкість спеціальної фасонної фрези $T_{\text{сум}} > 100$ годин. Після зносу окремої ділянки ріжучої кромки циліндричних твердосплавних різців повертаються до 10 разів (всього 20 разів при використанні пластинок з двох сторін) [17]. Для спеціальної фрези [18] $T_{\text{сум}}$ на 30 % вища, завдяки збільшенню кількості ножів і різальних елементів.

Одним із напрямів удосконалення технологічного процесу відновлення робочого профілю колісних пар є забезпечення надійності та економії ресурсу твердосплавного інструменту.

Збірні інструменти зі змінними циліндричними твердосплавними ріжучими елементами займають більшу частину всього інструментарію, що дозволяє здійснювати заміну зношеного на новий.

Основна проблема застосування такого інструменту пов'язана зі зносом змінних твердосплавних ріжучих елементів. Інтенсивність зношування залежить від безлічі факторів: властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів, режимів різання, геометричних параметрів інструменту, застосування мастильно-охолоджуючих рідин [19].

Практика експлуатації ріжучого інструменту показує, що нерідко інструмент виходить з ладу за порівняно невеликих навантажень, що виникають у процесі відновлення робочого профілю поверхні колісних пар. Зазвичай, це пов'язують з крихким руйнуванням твердого сплаву і з його зносом, проте в багатьох випадках, крім крихкого руйнування, саме теплові навантаження визначають його міцність і зносостійкість [20].

Для збільшення теплостійкості і механічної міцності циліндричного твердосплавного ріжучого елемента застосовують фаску. При наявності фаски вершина різця працює на стиск, теплостійкість підвищується за рахунок збільшення кута загострення. Зазвичай, ширина фаски коливається в межах 0,2–1,0 мм. Чим більше товщина зрізу, тим ширше може бути фаска. Ширину фаски визначимо за формулою [21]:

$$f_y = (1,0 \div 2,0) \cdot t, \quad (4)$$

де t – глибина різання, мм.

Пропонується для підвищення стійкості циліндричного твердосплавного ріжучого елемента вносити зміни в його геометричні параметри, фаска різальної кромки шириною $f_y = 1,0$ мм під кутом $\gamma = -5^\circ$, що наведено на рисунку 6.

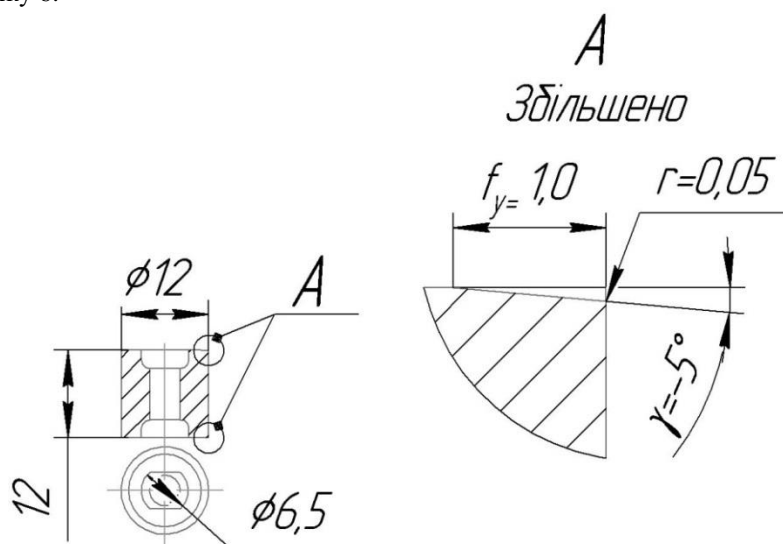


Рис. 6. Геометричні параметри циліндричного твердосплавного ріжучого елемента

Застосування зміцнюючої фаски на різальній кромці знизить вірогідність появи передчасних сколів.

Реалізація запропонованих змін до нового, а також відновлення робочого стану старопридатних циліндричних твердосплавних ріжучих елементів можлива за допомогою електроерозійної обробки.

ЕЕО (електроерозійна обробка) – обробка, яка полягає в зміні форми, розмірів, шорсткості і властивостей поверхні електропровідною заготовки під дією електричних розрядів, що виникають між заготовкою і електродом-інструментом [22–24].

Один з електродів є оброблюваною заготовкою, інший – електрод-інструментом. Розряди проводяться періодично, імпульсно, так, щоб середовище між електродами відновило свою електричну міцність [25].

Електроерозійні технології застосовні в усіх галузях промисловості. При цьому прогрес деяких галузей безпосередньо пов'язаний з активним застосуванням електроерозійних процесів на етапах не тільки технологічної підготовки виробництва, а й при серійному виробництві різних деталей. Але особливо ефективні технології електроерозійної обробки в інструментальному виробництві, оскільки для виробництва будь-якого виробу необхідне технологічне оснащення: штампи, прес-форми, форми для лиття, спеціальний інструмент. Виготовлення такого оснащення на звичайному металорізальному

обладнанні надзвичайно трудомістке і пов'язане з додатковим використанням дорогих ручних слюсарно-доводочних робіт [26, 27].

Після обробки якість поверхні визначається макро- і мікрогеометрією, структурою, зміцненням і залишковими напруженнями. Висота мікронерівностей R_z переважно визначається енергією імпульсів, за формулою (5):

$$R_z = \beta^2 \cdot k_M \cdot \sqrt[3]{W_i}, \quad (5)$$

де β – коефіцієнт перекриття елементарних лунок, чисельно дорівнює відношенню відстаней між центрами лунок електроерозії ($2 \geq \beta \geq 1$);

k_M – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу;

W_i – енергія імпульсу, Дж.

Параметр R_z зростає зі збільшенням тривалості імпульсу, амплітуди струму і знижується зі збільшенням частоти і скважності та не залежить від паузи між групами імпульсів. На чорнових режимах обробки R_z становить 10...40 мкм. На чистових і обробних режимах параметр R_a залежить від виду матеріалу і може змінюватися в межах 0,3–0,6 мкм. Досяжна шорсткість $R_a = 0,03$ мкм [28].

Для проведення досліджень використовувався верстат 4Г721М [29, 30] з генератором імпульсів ШГИ-40-440 [31], з номінальними значеннями частот, що генеруються, кГц: 8, 22, 44, 66, 88, 200, 440; номінальний струм 40А, який призначений для перетворення трифазного струму промислової частоти і напруги в уніполярний імпульсний струм, регульованих амплітуди і частоти. На стіл і шпиндель головки можуть бути встановлені спеціальні прилади для розширювання можливостей використання верстата. Залежно від виду роботи на каретці головки кріпляться прилади: вібратор, обертальний шпиндель або механізм дротової різки, для кріплення електрод-інструменту застосовують прилади, що входять в комплект приладдя й інструменту.

Автори спираються на модель натурального зразка, яка належить до електроерозійної обробки і може бути використана при відновленні і виготовленні твердосплавних ріжучих елементів циліндричної форми RNUX MO NT 1212 спеціальних фасонних фрез до верстата КЖ20.

Пристрій для відновлення твердосплавних ріжучих елементів циліндричної форми складається з виконавчих і допоміжних елементів.

Як показано на рисунку 7 сутність способу полягає в тому, що твердосплавний циліндричний ріжучий елемент 1 призначений для відновлення, встановлюється в електрод-тримач 2, до поверхні для обробки підводиться електрод-інструмент 3, геометрія внутрішньої поверхні якого відповідає кресленням заготовки; за допомогою штовхача 4 переміщається в безпосередню близькість до заготовки. Штовхач 4 переміщається паралельно двох напрямних 5, встановлених в пластині-ізоляторі 6, паралельно підставі 7. У свою чергу, підстава має різьбові отвори для перпендикулярного закріплення електрода-тримача і двох паралельних напрямних. Для виготовлення елементів пристрою використовувалися матеріали: електрод-тримач 2 і електрод-інструмент 3 виготовлені з латуні; штовхач, напрямні і підстава – зі сталі; ізолятор – з текстоліту.

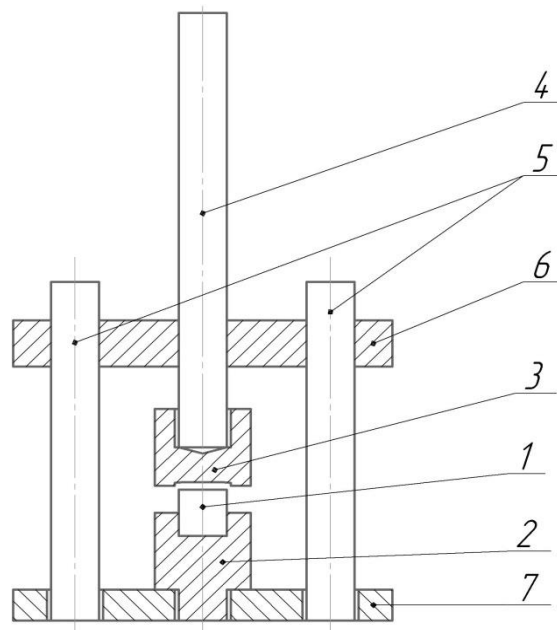


Рис. 7. Схема пристрою для відновлення циліндричних різальних елементів:

1 – циліндричний різець для обробки; 2 – електрод-тримач; 3 – електрод-інструмент; 4 – штовхач електрода-інструмента; 5 – напрямні; 6 – ізолятор; 7 – підстава

Електрод-інструмент, форма поверхні якого є дзеркальним відображенням заготовки, за допомогою штовхача переміщують у безпосередню близькість до заготовки, а потім в зазорі між зазначеним електродом і заготовкою створюють періодично повторювані електричні імпульси, що призводять до утворення електричних розрядів і видалення матеріалу з заготовки.

При обробці різального елемента латунним електрод-інструментом, з частотою імпульсів 22–88 кГц, струм змінюється від 20–30 А, але параметр шорсткості зменшується. З підвищенням частоти імпульсів 200–440 кГц, сила струму 4–10 А, шорсткість $R_a = 1$ мкм. Однак спостерігається відносний знос електрод-інструменту, що підтверджується в [32, 33].

Висновки та перспективи подальших досліджень. У процесі дослідження було розроблено і запропоновано методи, визначення величини оптимального кута повороту різального елемента, застосування електроерозійної обробки для відновлення різальних властивостей.

Авторами розроблено і запропоновано технологію відновлення ріжучої здатності ріжучих елементів, що відпрацювали свій ресурс.

Авторами розроблено і запропоновано технологію, що дозволяє ефективно використати придатних до відновлення ріжучої здатності ріжучих елементів, після відбракування з експлуатації змінних твердосплавних циліндричних ріжучих елементів, щодо економічної і раціональної експлуатації відпрацьованого збірного твердосплавного ріжучого інструменту, при відновлювальному ремонті робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20.

Перспективою подальших досліджень є визначення більш широких методів щодо зменшення відносного зносу електрод-інструмента для електроерозійної обробки та вироблення на їх основі науково-обґрунтованих рекомендацій для практичного застосування в локомотивних депо.

Список використаної літератури:

1. Балакиров С.Н. Разработка технологии восстановления сменных твердосплавных пластин / С.Н. Балакиров, Н.В. Носов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 4 (2). – С. 165–169.
2. Попов А.Ю. Повышение эффективности использования современных инструментов со сменными твердосплавными пластинами за счет их вторичного ресурса / А.Ю. Попов, Д.С. Реченко, Е.В. Васильев // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, № 4 (49). – С. 46–51.
3. Четвериков С.С. Металлорежущие инструменты : учебник для вузов / С.С. Четвериков. – М. : Высшая школа, 1965. – 731 с.
4. Металлорежущие инструменты : учебник для вузов / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.
5. Главный угол в плане и толщина стружки при фрезеровании [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/pages/entering-angle-and-chip-thickness.aspx>.
6. Проволоцкий А.Е. Определение эффективной длины режущей кромки резцов с пластинами круглой формы / А.Е. Проволоцкий, А.И. Леценко // Прогресивні технології і системи машинобудування. – ДонНТУ. – 2009. – № 1 (37). – С. 194–198 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ptsm.donntu.org/arhiv%20nambe/37%20pdf/194-198.pdf>.
7. KZTS. Railway Transport [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kzts.com/en/products.html#product4>.
8. Ремонт колесных пар [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dieselloc.ru/remont-eps/remont-kolesnykh-par.html>.
9. Станок колесофрезерный специальный модель КЖ20ТФ1 : Руководство по эксплуатации КЖ20ТФ1 000 000 РЭ2. – 1989.
10. Основы теории резания материалов : учебник для высш. учебн. заведений / Н.П. Мазур, Ю.Н. Внуков, А.И. Грабченко и др. ; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
11. Хандожко А.В. Анализ факторов, вызывающих хрупкое разрушение твердосплавного режущего инструмента / А.В. Хандожко, А.А. Тимошенко, Л.А. Петрусенко // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сборник научных трудов. – Краматорск, 2016. – Вып. 38. – С. 175–184.
12. Мартыненко В.А. Выбор диаметра круглых поворотных режущих пластин для сборного инструмента / В.А. Мартыненко, И.И. Шпирка, В.А. Доморацкий // Прогресивные технологии и системы машиностроения. – ДонНТУ. – 1998. – № 6. – С. 199–200.
13. Stadkowski A. Increasing the resource of milling cutters used to process the locomotive wheelsets. Part 1: Determination of cutting forces / A.Stadkowski, Yu.Proydak, V.Ruban // Transport Problems. – 2018. – Vol. 13. – No. 3. – P. 119–130.
14. Борискина М.О. Влияние режимов резания на размеры, форму и положение активной части режущей кромки СМП / М.О. Борискина, С.Я. Хлудов, А.В. Хоменко // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 8, Ч. 1. – С. 322–327.
15. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм. ВНД 32.0.07.001-2001 ; затв. Наказом Укрзалізниці від 29.05.2001 № 305-Ц з змінами та доповненнями затвердженими наказами Укрзалізниці від 16.11.2004 № 863-ЦЭ, від 18.12.2007 № 598-Ц та від 20.04.2010 № 046-ЦЗ / Мінтранс України. Укрзалізниця. Гол. локомотив. госп. – К., 2004. – 170 с.

16. Шишкин А.А. Исследование фрезерования бандажей по профилю : труды Р-на-ДИИЖТ / А.А. Шишкин. – М. : Транспорт, 1967. – Вып. 58. – С. 4–17.
17. Ларин М.Н. Высокопроизводительные конструкции фасонных фрез и их рациональная эксплуатация / М.Н. Ларин. – Машгиз, 1961. – 175 с.
18. UA 119973. B23C5/12, B23C5/14. Збірна фасонна фреза для ремонтного відновлення профілю поверхні кочення колеса рухомого складу машин рейкового транспорту / А.Сладковскі, В.С. Хміленко, В.М. Рубан // Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ. – № а 2015 07376 ; заявл. 22.07.2015 ; опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20. – 5 с.
19. Обеспечение вторичного ресурса многогранным твердосплавным пластинам. / А.Ю. Попов, И.А. Бугай, А.А. Ежов и др. // Омский научный вестник. – ОмГТУ. – 2016. – № 2 (146). – С. 21–24.
20. Воробьев А.А. К вопросу о повторном использовании отработанного режущего инструмента для обработки железнодорожных колесных пар / А.А. Воробьев // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – № 4. – С. 223–237.
21. Девин Л.Н. Особенности расчета вероятности разрушения резца с круглой пластиной / Л.Н. Девин, А.Г. Сулима // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применение : сборник научных трудов. – К., 2008. – Вып. 11, № 11. – С. 458–463.
22. Филоненко С.М. Резание металлов / С.М. Филоненко. – К. : Вища школа, 1969. – 260 с.
23. Обработка деталей электроэрозионным способом / Е.А. Перевертень Д.П. Коновалов В.А. Терниченко, А.В. Савченко // Политехнический молодежный журнал. – 2017. – № 5. – С. 1–14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ptsj.ru/articles/96/96.pdf>.
24. Электроэрозионное легирование – метод восстановления деталей роторных машин / В.Б. Тарельник, Н.В. Захаров, В.С. Марцинковский, Б.Антошевский // Вісник СумДУ. – 2005. – № 1 (73). – С. 25–31 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/11510/1/Tarelnyk.pdf>.
25. Саушкин Б.П. Электрический разряд в жидких и газовых средах – основа нового поколения методов и технологий машиностроительного производства / Б.П. Саушкин // Электронная обработка материалов. – 2004. – № 1. – С. 4–17.
26. Григорошенко М.В. Исследование электроэрозионных методов прошивания отверстий / М.В. Григорошенко [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-5-1\(40\)/80.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-5-1(40)/80.pdf).
27. Оглезнев Н.Д. Современное состояние и перспективы развития электроэрозионной обработки / Н.Д. Оглезнев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1 (2). – С. 490–494 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_1_490_494.pdf.
28. Артамонов Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : учеб. пособие (в 2-х томах). Т. 1: Обработка материалов с применением инструмента. / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др. ; под ред. В.П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – 247 с.
29. Станок электроэрозионный копировально-прошивочный : руководство по эксплуатации 4Г721М 00.000РЭ.
30. Участки для электроэрозионной обработки рабочих деталей, вырубных штампов и пресс-форм. – М. : ЭНИМС, 1983. – 223 с.
31. Немилев Е.Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов / Е.Ф. Немилев. – Л. : Машиностроение, 1989. – 164 с.
32. Фатеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки / Н.К. Фатеев. – М. : Машиностроение. 1980. – 184 с.
33. Электроэрозионная обработка материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://extxe.com/2096/jelektroerozionnaja-obrabotka-materialov/>.

References:

1. Balakirov, S.N. and Noses, N.V. (2018), «Development of technology for the restoration of replaceable carbide inserts», *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 20, No. 4 (2), pp. 165–169.
2. Popov, A.Yu., Rechenko, D.S. and Vasiliev, E.V. (2012), «Improving the efficiency of using modern tools with replaceable carbide inserts due to their secondary resource», *Vesnik USATU*, Vol. 16, No. 4 (49), pp. 46–51.
3. Chetverikov, S.S. (1965), *Metal cutting tools*, textbook for high schools, Higher school, M., 731 p.
4. Sakharov, G.N., Arbuzov, O.B., Borovoy Yu.L. and others (1989), *Metal cutting tools*, textbook for high schools, Mechanical Engineering, M., 328 p.
5. The main angle in the plan and the thickness of the chips during milling, [Online], available at: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/pages/entering-angle-and-chip-thickness.aspx>
6. Provolotsky, A.E. and Leschenko, A.I. (2009), «Determination of the effective length of the cutting edge of cutters with round plates», *Progressive technology and machine blowing systems*, DonNTU, No. 1 (37), pp. 194–198, [Online], available at: <http://ptsm.donntu.org/arhiv%20nambe/37%20pdf/194-198.pdf>
7. *KZTS. Railway Transport*, [Online], available at: <http://www.kzts.com/en/products.html#product4>
8. *Repair of wheelsets*, [Online], available at: <http://dieselloc.ru/remont-eps/remont-kolesnykh-par.html>
9. Wheel milling machine special model КЖ20ТФ1. Operation manual КЖ20ТФ1 000 000 РЭ2 (1989).
10. Mazur, N.P., Vnukov, Yu.N., Grabchenko, A.I. and others (2013), *Fundamentals of the theory of cutting materials*, textbook for higher education, in Mazur, N.P. and Grabchenko, A.I. (ed.), 2nd ed., revised. and add, NTU «KhPI», Kharkov, 534 p.

11. Khandozhko, A.V., Timoshchenko, A.A. and Petrusenko, L.A. (2016), «Analysis of factors causing brittle fracture of carbide cutting tools», *Tool reliability and technological system optimization*, collection of scientific papers, Kramatorsk, No. 38, pp. 175–184.
12. Martynenko, V.A., Shpirka, I.I. and Domoratsky, V.A (1998), «The choice of the diameter of circular rotary cutting inserts for a prefabricated tool», *Progressive technologies and engineering systems*, DonNTU, No. 6, pp. 199–200.
13. Śladkowski, A., Proydak, Yu. and Ruban, V. (2018), «Increasing the resource of milling cutters used to process the locomotive wheelsets», Part 1: «Determination of cutting forces», *Transport Problems*, Vol. 13, No. 3, pp. 119–130.
14. Boriskina, M.O., Khludov, S.Ya. and Khomenko, A.V (2016), «The influence of cutting conditions on the size, shape and position of the active part of the cutting edge of the NSR», *Bulletin of the TulSU. Technical science*, No. 8. Part 1, pp. 322–327.
15. Ministry of Transport of Ukraine (2004), *Instruction on the formation, repair and maintenance of wheeled pairs of traction rolling stock of railways of Ukraine 1520 mm*. VHD 32.0.07.001-2001: shut. order. Ukrzaliznytsya, No. 863-CZ dated 16.11.04, Ukrzaliznytsya Goal. locomotive. Household, Kiev.
16. Shishkin, A.A. (1967), *The study of bandage milling by profile*, proceedings of R-na-DIIZhT, Transport, M., No. 58, pp. 4–7.
17. Larin, M.N. (1961), *High-performance designs of shaped mills and their rational operation*, Mashgiz, 175 p.
18. Śladkovsky, A., Khmilenko, V.S. and Ruban, V.M. (2015), *UA 119973. B23C5/12, B23C5 / 14 Prefabricated shaped mill for repair restoration of a profile of a surface of rolling of a wheel of a rolling stock of cars of rail transport*, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, No. a 2015 07376 application. 07/22/2015 publ. 10/25/2017, Bull. No. 20, 5 p.
19. Popov, A.Yu., Bugai, I.A., Ezhov, A.A., Titov, Yu.V., Peskov, M.A. and Eliseeva, A.V. (2016), «Provision of a secondary resource to polyhedral carbide inserts», *Omsk Scientific Herald*, Omsk State Technical University, No. 2 (146), pp. 21–24.
20. Vorobyov, A.A. (2017), «To the question of the reuse of spent cutting tools for processing railway wheelsets», *Bulletin of research results*, No. 4, pp. 223–237.
21. Devin, L.N. and Sulima, A.G. (2008), «Features of calculating the probability of destruction of a cutter with a round plate», *Rock-cutting and metal-working tools – equipment and technology for its manufacture and application*, collection of scientific papers, Kiev, Issue 11, pp. 458–463.
22. Filonenko, S.M. (1969), *Metal cutting*, Higher school, K., 260 p.
23. Pereverten, E.A., Konovalov, D.P., Ternichenko, V.A. and Savchenko, A.V. (2017), «Processing of parts by electroerosion method», *Polytechnic youth magazine*, No. 5, pp. 1–14, [Online], available at: <http://ptsj.ru/articles/96/96.pdf>
24. Tarelnik, V.B., Zakharov, N.V., Martsinkovsky, V.S., Antoshevsky, B. (2005), «Electroerosive alloying – a method for the restoration of parts of rotor machines», *News of SumU*, No. 1 (73), pp. 25–31, [Online], available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/11510/1/Tarelnyk.pdf>
25. Saushkin, B.P. (2004), «Electric discharge in liquid and gas environments – the basis of a new generation of methods and technologies of machine-building production», *Electronic processing of materials*, No. 1, pp. 4–17.
26. Grigoroshenko, M.V., *Research of electroerosive methods of hole piercing*, [Online], available at: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-5-1\(40\)/80.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-5-1(40)/80.pdf)
27. Ogleznev, N.D. (2014), «Current state and prospects for the development of electrical discharge machining», *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 16, No. 1 (2), pp. 490–494, [Online], available at: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_1_490_494.pdf
28. Artamonov, B.A., Volkov, Yu.S., Drozhalova, V.I. et al. (1983), *Electrophysical and electrochemical methods of processing materials*, Textbook. allowance (in 2 volumes). T. 1: Processing materials using tools, in Smolentseva, V.P. (ed.), Higher School, M., 247 p.
29. Machine EDM copy-firmware. Operation manual 4G721M 00.000RE.
30. Sites for electrical discharge machining of work parts, die cutting dies and molds (1983), ENIMS, M., 223 p.
31. Nemiлов, E.F. (1989), *Handbook of EDM materials*, Mechanical Engineering, L., 164 p.
32. Fateev, N.K. (1980), *Technology of EDM*, Engineering, M., 184 p.
33. Electroerosive processing of materials, [Online], available at: <https://extxe.com/2096/jelektrojerozionnaja-obrabotka-materialov/>

Śladkowski Aleksander – professor, doctor of technical sciences, Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Technologies, Katowice, Poland.

Рубан Владислав Миколайович – старший викладач Національної металургійної академії України.

Наукові інтереси:

– колесофрезерна обробка колісних пар машин рейкового транспорту.

Стаття надійшла до редакції 27.02.2020.