

С.О. Бахман, аспірант  
П.П. Мельничук, д.т.н., проф.  
Державний університет «Житомирська політехніка»

## Технології та технологічні процеси відновлення профілю кочення залізничних колісних пар, шляхи підвищення ефективності

*Одним з найбільш значущих питань для залізниці є питання забезпечення своєчасного та якісного відновлення профілю кочення колісних пар в експлуатації. В статті розглянуто питання актуальності підвищення ефективності технології відновлення колісних пар, виконано аналіз останніх досліджень та публікацій. Розглянуто дефекти, які виникають під час експлуатації колісних пар, та причини їх утворення. Виконано аналіз існуючих та перспективних технологічних процесів відновлення профілю кочення залізничних колісних пар, зокрема методами наплавлення та механічної обробки різанням на колесотокарних та колесофрезерних верстатах. Проаналізовано переваги та недоліки кожного з методів відновлення. Розглянуто використовуваний під час обробки на верстатах різальний інструмент, наведено переваги та недоліки кожного з видів інструменту та різцевих блоків.*

*Виконано аналіз фактичної стійкості твердосплавних пластин LNUX 301940SN-DM зі сплаву SH фірми «Pramet Tools» (Чехія) під час їх використання на колесотокарних верстатах на базі Покровського вагонного депо Донецької залізниці.*

*Зроблено висновки щодо перспектив подальших досліджень у напрямі можливого підвищення ефективності процесів відновлення профілю кочення залізничних колісних пар.*

**Ключові слова:** профіль кочення; відновлення залізничних колісних пар; наплавлення; різальний інструмент.

**Актуальність теми.** Залізничний транспорт України – розвинута галузь господарства з потужною інфраструктурою. В аспекті економіки сталого розвитку з впровадженням INDUSTRY 4.0 та 5.0 Україні потрібна стабільна та безпечна робота залізничного транспорту. Це особливо важливо під час війни, в якій опинилася наша держава [1].

В сучасних умовах експлуатації залізниці стикаються з новими викликами, такими як суміщений рух різних типів поїздів (пасажирських та вантажних) по одній магістралі та зростання вартості ремонту рухомого складу. Це відбувається через велику кількість в експлуатації гранично зношеного рухомого складу та збільшення вартості енергоносіїв та матеріалів. Процес відновлення профілю колісних пар є однією з найбільш витратних складових технологій ремонту рухомого складу. Він є складним і характеризується відносно невисокою продуктивністю та специфічними особливостями. До технологічних процесів відновлення профілю кочення залізничних колісних пар належать наплавлення, обточування або фрезерування, шліфування та зміцнення. Процес обточування колісних пар є технологічно складним і характеризується значними коливаннями в широкому діапазоні припуску та твердості поверхні. Глибина різання може сягати 14–16 мм, а твердість оброблюваної поверхні може перевищувати 900 HB [2]. Крім того, колеса мають складний фасонний профіль, що призводить до зміни кута контакту різального інструменту з деталлю від 0 до 105° [2]. Ці фактори, разом зі змінними умовами обробки, можуть спричинити значні коливання теплового та силового навантажень на інструмент. Це може викликати передчасний знос інструменту через його крихкість, а також пластичні деформації та руйнування елементів механічного кріплення. Тому розробка та реалізація методів і засобів підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого дасть можливість підвищити надійність роботи рухомого складу залізничного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останнім часом проблему відновлення залізничних колісних пар вивчали та розробляли багато українських та закордонних науковців та виробників.

Використання методу наплавлення при відновленні колісних пар більш детально розглянуто в роботах [3, 4], механічна обробка вивчена в працях [2, 5–8], а поверхневе зміцнення в [9].

Проблема вибору оптимального технологічного процесу відновлення профілю кочення залізничних колісних пар, підбору найкращого обладнання та інструменту для його виконання так остаточно і не вирішена дотепер.

**Метою статті** є дослідження, аналіз переваг та недоліків існуючих технологій, обладнання й інструментів для відновлення залізничних колісних пар. Постановка цілей та напрямів подальших досліджень для пошуку шляхів підвищення ефективності та вдосконалення технологічних процесів і методів відновлення поверхні кочення коліс з урахуванням проблематики екологічності, енергоефективності та автоматизації процесів.

**Викладення основного матеріалу.** Питання співвідношення твердості поверхні кочення колеса і рейки набуло останнім часом актуальності через те, що спеціалісти рухомого складу звернули увагу на те, що в колію почали вкладатися термічно зміцнені рейки з твердістю 341–388 од. НВ [2]. В такому випадку логічно було б збільшувати і твердість колісних пар, але при цьому потрібно витримувати встановлене раніше раціональне співвідношення між твердістю рейки та колеса  $1,1-1,2 / 1,0$  на користь рейки. Результати виміру зносу гребенів і поверхні кочення бандажа (прокат) показали, що зі зменшенням товщини гребеня в результаті його фізичного зносу до товщини 30–29 мм [2] подальша інтенсивність його зносу значно знижується. Це свідчить про те, що передача сили тяги через гребінь зменшується. Через особливості роботи пари тертя – кочення «колесо – рейка» більш всього схильна до зносу робоча поверхня гребеня колеса. Цей знос пов'язаний з механічним тертям контактного металу. Величина зносу залежить від багатьох факторів, пов'язаних з умовами навантаження колісних пар під час експлуатації, станом контактних поверхонь і геометричних параметрів профілю колеса та рейки, співвідношення їх твердості та ін. На поверхні кочення коліс виникають також дефекти, які мають назву «вищербини». Ці дефекти мають термомеханічний характер, які утворюються під час проковзування коліс по рейках з формуванням гартівних структур у приповерхневому шарі металу, що в подальшому призводить до його відшарування [7, 8]. Зі збільшенням вмісту вуглецю в колісній сталі вірогідність утворення «вищербин» різко зростає.

В результаті виконаного аналізу можна зробити такі висновки щодо причин збільшення зносу:

- по рухомому складу: суттєво збільшилася потужність локомотивів; зросли навантаження від коліс на рейки у локомотивів і вагонів; з переходом на іншу ширину колії залишилася незмінною відстань між внутрішніми гранями бандажів колісних пар, змінився коефіцієнт тертя в контактній парі рейки та колеса; мають місце відхилення від нормативних вимог у бік збільшення різниці діаметрів колісних пар при виготовленні та в експлуатації; змінилося співвідношення якості і твердості металу колісних пар та рейок; використовуються різні методи зміцнення коліс і рейок, їх хімічний склад, мікроструктура;
- по конструкції верхньої будови колії: збільшилася потужність і маса конструкцій колії, що бере участь при взаємодії пари колесо – рейка; збільшилася жорсткість підрейкової основи за рахунок впровадження залізобетонних шпал; збільшилася твердість поверхні кочення рейок, що взаємодіють з колесами, за рахунок широкого впровадження термоміцних рейок.

З урахуванням зростання вертикальних навантажень та збільшення потужності тягових двигунів у кожному колісно-моторному блоку локомотивів, спостерігається збільшення рівня контактних дотичних напружень. Це призводить до збільшення інтенсивності накопичення контактно-втомних дефектів та зносу верхніх шарів поверхні кочення. Згідно з експлуатаційним процесом, колісна пара піддається впливу вертикальних, горизонтальних та бокових сил, що викликає пластичні деформації поверхневих шарів бандажів та коліс.

Основними несправностями колісних пар, які виникають під час експлуатації, є: прокат ободів коліс, а також вертикальний підріз гребенів, повзуни, щербини та раковини на поверхні кочення, знос та пошкодження шийок осей, тріщини в осях, протертість та вигин осі, послаблення та зсув колеса на осі, тріщини у колесах.

Знос ободів коліс спостерігається після тривалої експлуатації та численних обточок на верстаті.

Зношування гребеня виникає внаслідок контакту з рейкою під час руху колісної пари по прямих та при проходженні через криві ділянки колії.

Вертикальний підріз гребеня виникає внаслідок порушення нормальних умов роботи колісних пар, особливо у випадку чотиривісних вагонів з великою різницею баз бічних рам, великою різницею діаметрів коліс на одній вісі, а також при великих зазорах між буксами та щелепами.

Зношений гребінь колеса може призвести до відхилення вагона від рейок, особливо на протишерстних стрічках.

Повзуни утворюються на поверхні кочення коліс при ковзанні по рейках під час заклинювання колісних пар.

Вищербини – це місцеві поглиблення на поверхні обода колеса, що виникають внаслідок відшарування або зносу металу. Вони найчастіше з'являються на місцях повзунів, розташовуючись симетрично на обох колесах однієї колісної пари, а також можуть утворюватися внаслідок прослизання колеса під час руху вагона на черевіку.

Раковини в колесах є результатом наявності неметалевих включень всередині металу, які виявляються на поверхні кочення коліс після стирання або обточування.

Станом на сьогоднішній день в Україні в виробництві коліс локомотивів та пасажирських вагонів використовується колісна сталь марки 1 з вмістом вуглецю від 0,44 до 0,52 %, а вантажних вагонів – колісна сталь марки 2 з вмістом вуглецю від 0,55 до 0,65 % [2, 5]. Колеса з такої сталі мають високу надійність під час експлуатації (табл. 1–3). Рівень навантаження на вісь колісної пари вантажних вагонів при експлуатації на залізничних коліях становить до 23,5 т.

В Україні наразі розглядаються кілька напрямів для підвищення експлуатаційної міцності та зменшення зносу залізничних коліс. Перший напрям – це збільшення вмісту вуглецю в сталі до 0,75 %, як

це робиться в ЄС, США та Японії [3]. Це є найбільш простим шляхом, який не потребує значних додаткових витрат та змін у технологічному процесі виробництва залізничних коліс. Другий напрям – мікролегування існуючої колісної сталі карбо- і нітридоутворюючими елементами для забезпечення диспергування структури металу, що дозволить підвищити пластичність при збереженні міцності.

Третім напрямом є отримання бейнітної структури металу для підвищення міцності виробів та зниження ймовірності утворення дефектів на поверхні кочення. Проте для цього необхідно внести зміни у технологічний процес виготовлення залізничних коліс, що може бути складним при існуючому вмісті вуглецю в колісній сталі марки 2. За кордоном також розглядається можливість застосування коліс, виготовлених зі сталі з низьким вмістом вуглецю ( $C \leq 0,30\%$ ) [3], з подальшим легуванням нікелем, хромом, молібденом та іншими елементами для формування бейнітної структури металу. Всі ці напрями розробки нових колісних сталей активно вивчаються наразі. Проте, крім підвищення міцності, важливо також передбачити можливість відновлення коліс після зносу.

Таблиця 1

Хімічний склад сталі для виготовлення колісних пар

Марка сталі	Вміст в %, не більше					
	C	Mn	Si	V	S	P
Колеса цільнокатані						
Сталь 1	0,44...0,52	0,8...1,2	0,4...0,6	0,08...0,15	-	-
Сталь 2	0,55...0,65	0,5...0,9	0,22...0,45	-	0,04	0,035
Колеса цільнокатані з підвищеною твердістю обода						
Сталь 2	0,65	0,65	0,22...0,45	-	0,04	0,035
Бандажі з вуглецевої сталі						
Сталь 2	0,55...0,65	0,6...0,9	0,2...0,42	-	0,04	0,035

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості колісних пар

Марка сталі	Тимчасовий опір, $\sigma_b$ , МПа	Відносне подовження, $\delta$ , %	Відносне звуження, $\psi$ , %	Пит. в'язкість при $20 \pm 10$ °C, МДж/м <sup>2</sup>	Сходження ободу, мм
Колеса цільнокатані					
Сталь 1	882..1078	12 min	21 min	0,2 min	1,0 min
Сталь 2	911...1107	8 min	14 min	0,2 min	1,0 min
Колеса цільнокатані з підвищеною твердістю обода					
Сталь 2	1118	11,5	23,5	0,22	3,4

Таблиця 3

Твердість HB по перерізу колеса

Вид колеса	Твердість HB на глибині від поверхні кочення, мм				
	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0
Цільнокатані	300	280	260	255	240
Цільнокатані з підвищеною твердістю обода	380...400	350	340	330	310...320

Застосування технології наплавлення під час відновлення коліс є економічно доцільним варіантом, що дозволяє зменшити відходи металу та підвищити зносостійкість. Проте існуючі технології наплавлення не завжди враховують всі фактори, які впливають на надійність відновлених виробів, що може призвести до утворення тріщин та подальших проблем у експлуатації.

Дослідження зварюваності високоміцних вуглецевих сталей, зокрема колісних, до цього часу практично не проводилися, що свідчить про важливість подальших наукових досліджень у цій області. Розробка науково обґрунтованих технологій наплавлення залізничних коліс, які базуються на глибоких дослідженнях, дозволить підвищити безпеку руху на залізничному транспорті та забезпечити оптимальний рівень експлуатації.

Слід також зазначити, що відновлення наплавленням сьогодні дозволено галузевими нормативними документами та застосовується при ремонтах залізничних коліс вантажних вагонів магістрального транспорту, коліс та бандажів транспорту гірничо-збагачувальних та металургійних підприємств, кранових коліс, бандажів трамвайних коліс міського транспорту.

Одна з технологій та обладнання для відновлення профілю кочення залізничних колісних пар розглянута в роботах О.А. Гайворонського, співробітника Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.

Під час проведення досліджень автором робіт виявлено зазначене далі.

Метал колеса на ділянці переходу від поверхні кочення до гребеня при експлуатації зазнає найбільших деформацій і зміцнення, а в приповерхневому шарі утворюються мікротріщини довжиною до 350 мкм [3, 4]. Тому перед наплавленням необхідно механічно видаляти метал на глибину не менше ніж 1,0 мм. А при відновленні коліс необхідно забезпечити підвищену опірність крихкому руйнуванню наплавлень, особливо в цій зоні.

При наплавленні (рис. 1) в металі зони термічного впливу колеса утворюються гартівні бейнітно-мартенситні структури. Мінімальна швидкість охолодження металу, за якої починається формування мартенситу, становить 8 °C/c (в інтервалі 600–500 °C) при вмісті вуглецю в сталі з 0,58 % та 2 °C/c при 0,65 % вуглецю.

Для підвищення опірності утворенню тріщин необхідно обмежувати швидкість охолодження до 16,0 °C/c при вмісті вуглецю  $C < 0,60$  % та до 8,0 °C/c при  $C = 0,60$ –0,65 % [3, 4].

За таких умов метал має достатньо високу здатність до мікропластичного деформування без утворення тріщин.

Для упередження крихкого руйнування металу ЗТВ необхідно забезпечити умови, коли в процесі наплавлення буде сформована структура, яка не містить верхній бейніт, а частка мартенситу не перевищує кількості нижнього бейніту (співвідношення М/Бн < 1).

Суттєвому підвищенню опірності крихкому руйнуванню металу ЗТВ сприяє уповільнення охолодження коліс після наплавлення, коли відбувається витримка колеса за температури 250–100 °C протягом 3–5 годин. При цьому швидкість охолодження має бути не більше ніж 35–40 °C за годину [3, 4]. Досягти таких умов можливо в спеціальних термокамерах, виготовлених із застосуванням теплоізолюючих матеріалів (рис. 2).

Призначення обладнання та технології: відновлення товщини гребеня після зносу та ремонту «вищербин» на поверхні кочення суцільнокатаних коліс вантажних вагонів та бандажних коліс локомотивів магістрального залізничного транспорту, залізничного транспорту промислових підприємств, коліс трамвайних вагонів міського пасажирського транспорту, ходових коліс баштових кранів тощо, які виготовлені з колісних сталей із вмістом вуглецю до 0,70 %.

Опірність крихкому руйнуванню наплавненого металу та металу залізничного колеса в зоні термічного впливу за показником критичного коефіцієнта інтенсивності напружень  $K1C \geq 40$  МПа $\sqrt{м}$ .

Переваги цього методу полягають у збільшенні в 2,5 раза опору наплавненого металу та металу залізничного колеса у зоні термічного впливу під час циклічних та ударних навантажень утворенню тріщин, а також у зниженні в 1,5–2 рази зносу наплавненого металу [3, 4].

Згідно з літературою [2, 5], що досліджує класифікацію верстатного обладнання для обробки колісних пар, на підприємствах залізниці використовується дві основні категорії:

- верстати для обробки колісних пар без викочування, які застосовуються у локомотивному господарстві та метрополітені для ремонту рухомого складу без викочування колісних пар з-під рухомого складу;

- верстати для обробки колісних пар з викочуванням, які використовуються як у вагонних, так і у локомотивних депо, а також на заводах з виготовлення та ремонту рухомого складу.

Згідно з «Положенням про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу», передбачено проведення технічного обслуговування ТО- 4 [10], суть якого в обточуванні бандажів та суцільнокатаних коліс без викочування їх з-під локомотиву або моторвагонного рухомого складу.



Рис. 1. Установка по наплавленню профілю кочення коліс

Механічні властивості наплавленого металу:  $HV = 2800-3200$  МПа,  $\delta_B \geq 730$  МПа,  $\delta_5 \geq 16\%$ ,  $\psi \geq 50\%$ ,  $KCU_{+20} \geq 80$  Дж/см<sup>2</sup>,  $KCU_{-40} \geq 40$  Дж/см<sup>2</sup>.

Механічні властивості металу залізничного колеса в зоні термічного впливу:  $HV \leq 3200$  МПа,  $\delta_B = 940-1100$  МПа,  $\delta_5 \geq 8\%$ ,  $\psi \geq 25\%$ ,  $KCU_{+20} \geq 24$  Дж/см<sup>2</sup>.

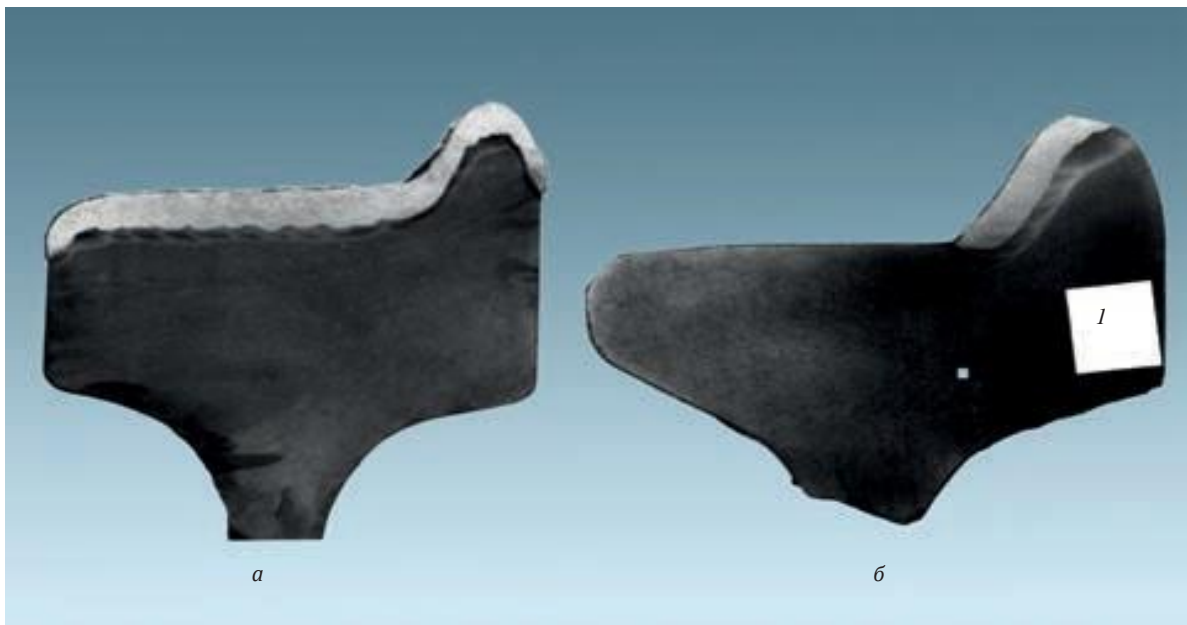


Рис. 2. Макрошліфи суцільнокатаних залізничних коліс (дводугове наплавлення під шаром флюсу):  
а – профіль кочення, б – робоча поверхня гребеня

Технічні характеристики основних типів колесотокарних верстатів, які використовуються для відновлення профілю колісних пар, наведено в таблиці 4 [2, 5].

З погляду підвищення ефективності вагоноремонтних підприємств та залізничних депо, найбільш вигідним є використання підпільних верстатів. Головна перевага цих верстатів полягає в можливості швидкого обточування колісних пар без їх викочування з-під рухомого складу.

Колесотокарні верстати (табл. 4) використовуються для обробки поверхні кочення коліс в ході планових ремонтів для підтримки нормованого профілю колеса протягом його експлуатаційного періоду, а також для усунення дефектів. Типовий час обробки однієї колісної пари становить приблизно 20 хвилин.

Методи колесотокарної обробки мають низьку продуктивність через деякі обмеження:

- висока нестійкість процесу різання, що призводить до значних коливань у формуванні профілю колеса та динамічних ударних навантажень від поверхневих дефектів під час відновлення профілю колісної пари;
- загальна динамічна незбалансованість більшості вітчизняних колісних пар, що обмежує можливість збільшення швидкості різання.

Зношене обладнання та низька якість різальних інструментів знижують допустимі швидкості різання до 45...50 м/хв. Це обмежує можливість збільшення робочих подач, що змушує дотримуватися певної шорсткості обробленої поверхні та має конструктивні обмеження.

Для ремонту колісних пар локомотивів також використовуються колесофрезерні верстати без викочування їх з-під рухомого складу, наприклад, КЖ20 [11]. Такий метод ремонту менш трудомісткий порівняно з традиційним, але точність та якість обробки може не повністю відповідати вимогам виробництва.

Враховуючи все це, перспективним напрямом є використання колесотокарних верстатів з ЧПК для обробки колісних пар без викочування. Такі верстати забезпечують незалежність від конструкції букс, високу продуктивність через автоматизацію та неперервність процесу різання. Ця технологія вже впроваджена у філії «Українська залізнична швидкісна компанія», де обточування виконується на підрейкових верстатах (Hegenscheidt U2000-400) [12].

Таблиця 4

Технічні характеристики типів колесотокарних верстатів для механічної обробки колісних пар

№ з/п	Технічна характеристика	Модель колесотокарного верстата						
		УВВ 112	УСВ 125	УВС 150	УДА 112	1836 М10	РТ 905	165HP
1	Виробник верстата	RAFAMET				КЗТС	РСЗ	Хегеншайдт
2	Компоновка верстата	Верт.	Прохід.	Тулик.	Портал.	Верт.	Портал.	Портал.
3	Діапазон частоти обертання планшайб, об/хв	2,93...31,67	9,0...27,0	9,0...35,5	2,5...31,0	3,15...25,0	5,0...26,0	5,9...21,9
4	Принцип регулювання частоти обертання планшайб	Ступінчасте			Безступінчасте			Ступінчасте
5	Діаметр шийки шпинделя в передній опорі, мм	360	440	440	360	460	360	360
6	Число супортів верстата, шт.	4	2	2	2	2	2	2
7	Діапазони робочих подач супортів верстата	0,45...4,50 мм/об	1,6...50,0 мм/хв	1,6...50,0 мм/хв	1,6...50,0 мм/хв	6,0...80,0 мм/хв	6,0...80,0 мм/хв	0,4...3,6 мм/об
8	Найбільша глибина різання, мм	8	10	10	10	10	10	18
9	Потужність головного привода, кВт	1×60	2×55	2×65	2×51	1×75	2×55	2×63

Умовні позначення:

- верт. – колесотокарні верстати, завантаження та вивантаження яких здійснюється у вертикальній площині;
- прохід. – колесотокарні верстати, які дозволяють прокочувати колісну пару через верстат;
- тулик. – колесотокарні верстати, завантаження та вивантаження яких відбувається з одного робочого боку;
- портал. – колесотокарні верстати, що працюють як індивідуально, так і вбудовуються в потокову лінію з ремонту колісних пар.

Ці верстати (рис. 3) є універсальними, динамічно жорсткими, зручними у керуванні та обслуговуванні, і відповідають сучасним вимогам обробки колісних пар завдяки високій точності та якості обточування. Вони можуть обробляти колісні пари з будь-якими профілями, а також гальмівні диски, що розміщені на середній частині осі або диску суцільнокатаного колеса.

Перед початком автоматичної обробки вимірюються параметри колісної пари, такі як відстань між внутрішніми гранями, діаметр, радіальне та осьове биття, товщина гребеня. Вимірювання здійснюється за допомогою двох коліс «Пейслера» – вимірювальних супортів верстата, методом обкатки профілю, починаючи від вершини гребеня в напрямку зовнішньої грані колеса (рис. 5).

Отримані після вимірювання значення порівнюються з еталонним профілем у системі числового програмного керування (ЧПК) для визначення діаметра при переточуванні, при цьому враховуються радіальні та осеві биття коліс, діаметри та дефекти профілю. На основі аналізу цих даних в автоматичному режимі виконується розбивання різку та подачі інструменту. Графік існуючого (фактичного) профілю і того, що буде отримано після обробки, виводиться на екран.

Колісна пара обертається за допомогою чотирьох привідних роликів (2×2) по два на кожне колесо (рис. 4). Необхідна для максимально точної обробки висока динамічна жорсткість досягається радіальним центруванням букси колісної пари та використанням осевих направляючих роликів (рис. 5).

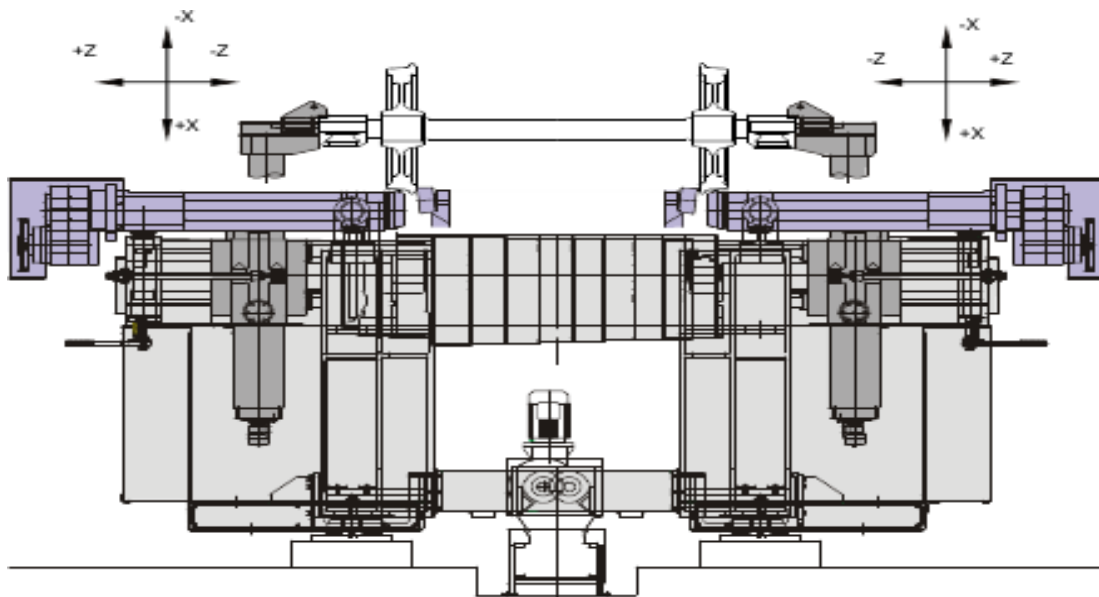


Рис. 3. Загальний вид верстата U2000-400 Hegenscheidt

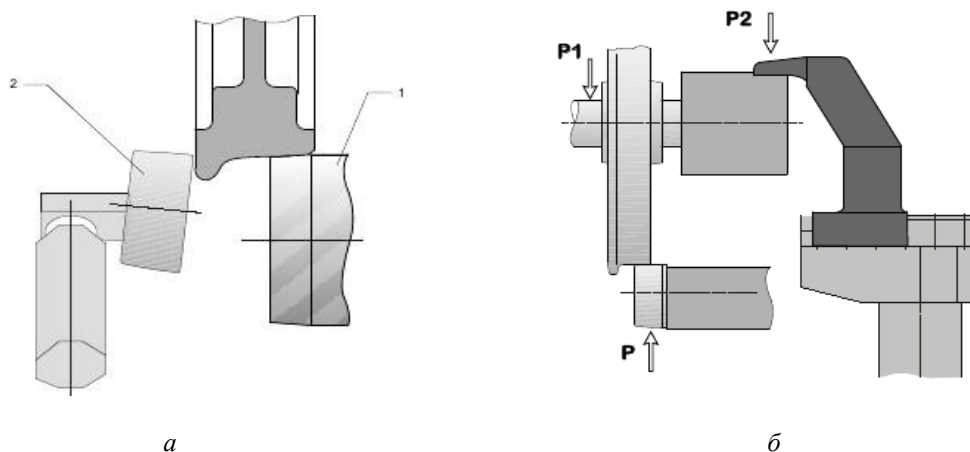


Рис. 4. Закріплення колісної пари на верстаті (1 – привідний ролик, 2 – фіксуючий ролик):  
а – фіксація в осьовому напрямку; б – фіксація в радіальному напрямку

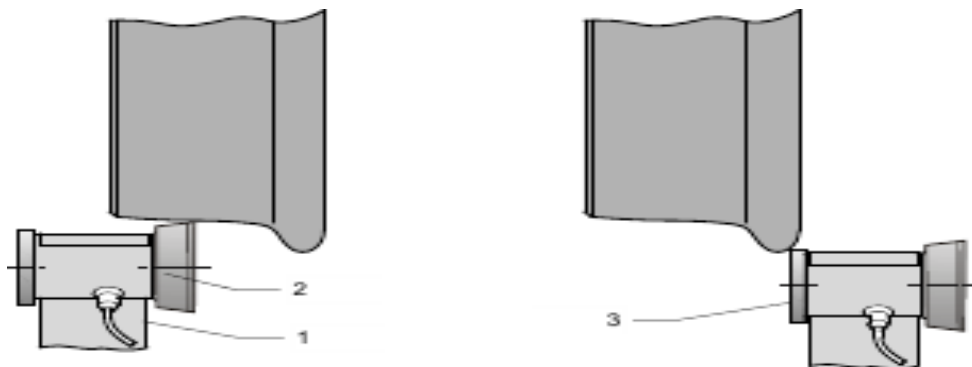


Рис. 5. Вимірювання параметрів коліс колісної пари  
(1 – вимірювальний супорт; 2 – колесо «Пейслера» для вимірювання параметрів колісної пари;  
3 – колесо «Пейслера» для вимірювання відстані між внутрішніми гранями)

Обробка проводиться одночасно двох коліс колісної пари в напрямку від зовнішньої до внутрішньої грані. На кожному різцетримачі закріплено по дві твердосплавні пластини, які використовуються залежно від зони обробки профілю. Рух різального інструменту здійснюється по двох координатах, які задаються відповідно до записаного у програмі ЧПК профілю поверхні (рис. 6).

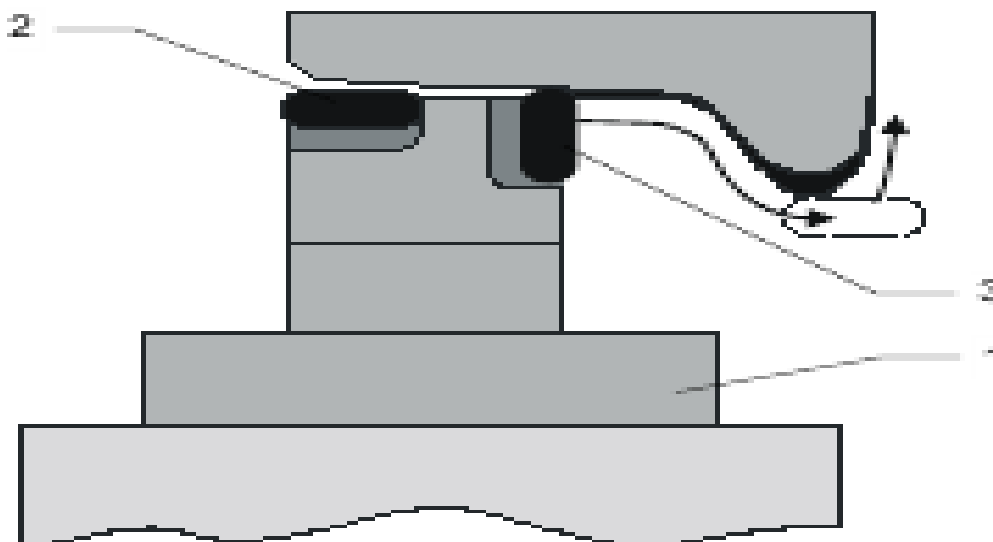


Рис. 6. Обробка профілю кочення (1 – різцетримач; 2 – пластина для обробки внутрішньої сторони гребеня; 3 – пластина для обробки зони кочення та робочої сторони гребеня)

Обробка виконується одночасно обох коліс колісної пари від зовнішньої до внутрішньої грані. На кожному тримачі різця розміщено по дві твердосплавні пластини, що використовуються залежно від зони обробки профілю. Різці переміщуються по двох координатах, які визначаються відповідно до записаного у програмі ЧПК профілю поверхні.

Перевагами цього верстата є відсутність копіра, заміненого еталонним профілем у програмі ЧПК, висока точність і якість обробки, видалення мінімального шару металу (до 2 мм) з обода колеса, формування дрібної стружки та висока продуктивність.

Різальні інструменти для механічної обробки профілю поверхні кочення колісних пар поділяються на три основні види: однолезові різці, що мають одну різальну кромку певної геометрії і виготовлені з інструментального твердого сплаву або швидкорізальної сталі; багатолезові різці з двома або більше різальними кромками та абразивні різці з певним профілем, але невизначеною геометрією різальної кромки.

Найпоширеніші виробники різального інструменту для обробки профілю кочення колісних пар: Sandvik Coromant (Швеція, м. Гімо), Pramet Tools (Чехія, м. Шумперк), Ceratizit S.A. (Австрія, м. Люксембург), ARNO-Werkzeuge (Німеччина, м. Остфільдерн), Walter A.G. (Німеччина), ZCC-CT (Китай, м. Чжучжоу), ISKAR (Ізраїль) [2, 5] та інші.



Для обробки профілю колісних пар використовуються змінні різальні пластини, які виготовлені з твердих сплавів і призначені для важких умов обробки. Металокерамічні тверді сплави широко застосовуються як матеріал для цих пластин, оскільки вони вирізняються високою твердістю та стійкістю до зношування. У таблиці 5 представлено характеристики хімічного складу та механічних властивостей найбільш поширених марок твердих сплавів згідно з ГОСТ 3882-74 та їх аналогів з серії MC за ТУ 48-19-308–80, які використовуються в ремонтних депо.

Металокерамічні тверді сплави (табл. 5) містять карбіди тугоплавких металів, таких як вольфрам (W), титан (Ti) і тантал (Ta). За структурою вони поділяються на три групи: вольфрамові (W, група ВК), титановольфрамові (Ti-W, група ТК) і титано-тантало-вольфрамові (Ti-Ta-W, група ТТК).

На сьогодні на ремонтних підприємствах рекомендації щодо режимів різання під час відновлення профілю колісних пар отримують від виробників твердосплавного інструменту та верстатобудівних заводів [2, 5]. У таблиці 6 наведено рекомендовані режими різання при обробці колісних пар різними типами лезового інструменту.

Таблиця 5

Хімічний склад та механічні властивості твердих сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Міцність при згибі, ГПа	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Твердість HRA, не менше	Твердість HV, ГПа
	WC	TiC	TaC	Co				
T5K10	85	5	-	10	1,42	12,40...13,10	88,5	-
MC131	-	-	-	-	1,40	11,40...11,50	91,5	14,3...15,7
T14K8	78	14	-	8	1,27	11,20...11,60	89,5	-
MC121	-	-	-	-	1,20	11,60...11,79	91,5	14,7...16,0
TT10K8Б	82	3	7	8	1,62	13,50...13,80	89,0	-
MC221	-	-	-	-	1,40	13,81...13,97	92,0	15,3...16,3

Таблиця 6

Режими різання під час обробки колісних пар

Група оброблюваної колісної пари				
Позначення	1 група	2 група	3 група	4 група
Точення пластинами RPUX				
<i>t</i> , мм	1...3	2...4	3...5	3...5
<i>s</i> , мм/об	1,0...1,5	0,4...0,6	0,4...0,6	0,4...0,6
<i>v</i> , м/хв	28...55	12...28	6...12	4...9
<i>n</i> , об/хв	9...18	4...9	2...4	1,5...3
Точення пластинами BNUX, LNUX, LNMX				
<i>t</i> , мм	2...5	3...12	3...12	3...12
<i>s</i> , мм/об	1,2...1,8	0,8...1,2	0,6...1,2	0,6...1,0
<i>v</i> , м/хв	47...70	35...47	18...35	18...30
<i>n</i> , об/хв	15...22	11...15	6...11	6...9,5

На ремонтних підприємствах вибір оптимальних режимів різання зазвичай не проводиться безпосередньо (табл. 6). Замість цього досвідчені токарі коригують режими різання, враховуючи різні фактори, такі як категорія оброблюваної колісної пари, технічні можливості та ступінь зношеності обладнання, а також характеристики різальної здатності пластини з твердого сплаву (марка сплаву, форма пластини, геометрія передньої поверхні, надійність механізму кріплення пластини).

Аналіз методів відновлення профілю обода колісних пар показав, що найбільшу перевагу має лезова обробка, зокрема точення на колесотокарних верстатах (А-41, КЗТС, РАФАМЕТ) та фрезоточення на верстатах КЖ20 збірними фасонними фрезами [11–13].

Для механічної обробки різанням за копіром (програмою) характерним є задання необхідної траєкторії руху інструменту за допомогою систем механічного, гідравлічного або електричного копіювання, або програмного керування.

Механічна обробка профільним інструментом містить обробку фасонним різальним інструментом з профілем, який відповідає зворотному профілю обода колеса.

При комбінованій обробці можливе поєднання методів обробки різанням за копіюванням та фасонним інструментом.

Рисунок 7 демонструє приклади обробки колісних пар.

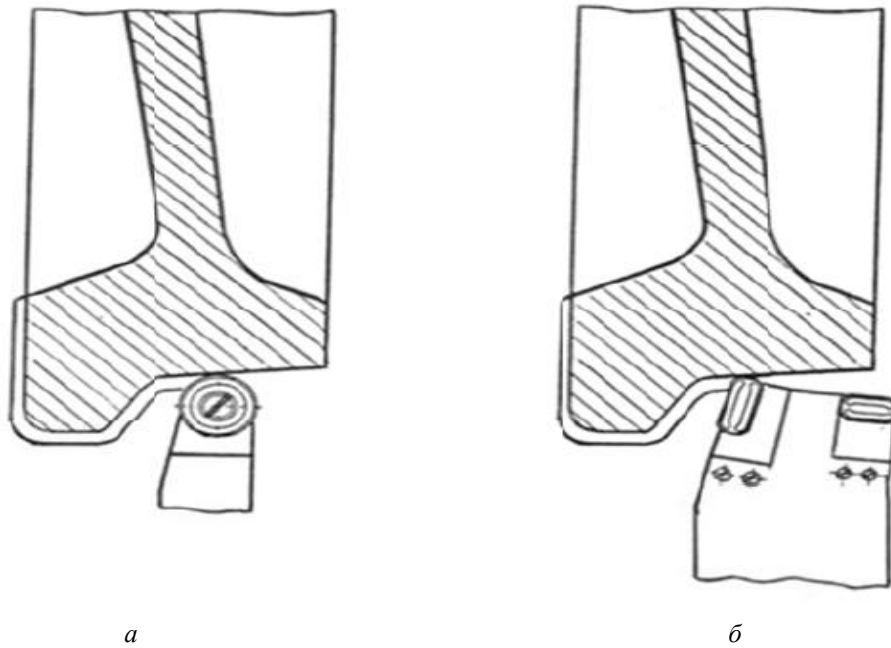


Рис. 7. Приклади обробки колісної пари збірними інструментами:  
а – чашковий різець; б – різець з призматичною пластиною

Фірма Ceratizit S.A. (Австрія), а також ZCC-CT (Китай) [2] випускають різцеві блоки збірних чашкових різців, що різняться способом кріплення пластини. В цьому випадку різальна пластина кріпиться прихватом зверху, як показано на рисунку 8.



Рис. 8. Різцеві блоки збірних чашкових різців, що випускаються фірмами Ceratizit S.A. (Австрія) та ZCC-CT (Китай): а – Ceratizit S.A. (Австрія); б – ZCC-CT (Китай)

При використанні різців з механічним кріпленням пластин, порівняно з напайними різцями, відбувається зменшення витрати державок і різальних пластин, підвищується стійкість пластин в 1,5–2 рази, а також забезпечується дроблення стружки.

Аналіз конструкцій збірних чашкових різців показує, що найбільшою проблемою є спосіб кріплення пластини. На колесотокарних верстатах моделей UBC150 та UCB125 для обробки профілю поверхні обода колісних пар використовуються різці з трикутними пластинами з твердого сплаву марок T5K10 та T14K8 [2]. Ці пластини товщиною 10 мм та радіусами при вершинах 5 мм встановлюються у виїмки державок та притискаються болтами через притиски та стружколоми. Для обробки гребеня використовують різці з двома трикутними пластинами, а для обробки фаски і поверхні кочення колес – різці з однією пластиною.

Для обробки колісних пар з викаткою на колесотокарних верстатах використовуються різцеві блоки з тангенційними подовженими пластинами. Призматичні пластини для обробки колісних пар фірма «Sandvik Coromat» виготовляє спіканням з трикарбідного металокерамічного сплаву SH, призначеного для важкого різання. По складу сплав марки SH ідентичний твердому сплаву марки TT10K8Б. Тангенційна подовжена та нормальна пластини конструктивно схожі, але різняться розмірами. Чотири різальні кромки дають можливість використовувати пластину багатократно шляхом її розвороту та перевертання.

Для закріплення в різцевих блоках горизонтальних та вертикальних пластин використовуються універсальні способи кріплення за допомогою Г-подібних ричагів (рис. 9) [2].

Таке вертикальне розміщення тангенційних пластин дозволяє забезпечити стійку роботу різального інструменту при високих температурах, ударних навантаженнях та значних силах різання.

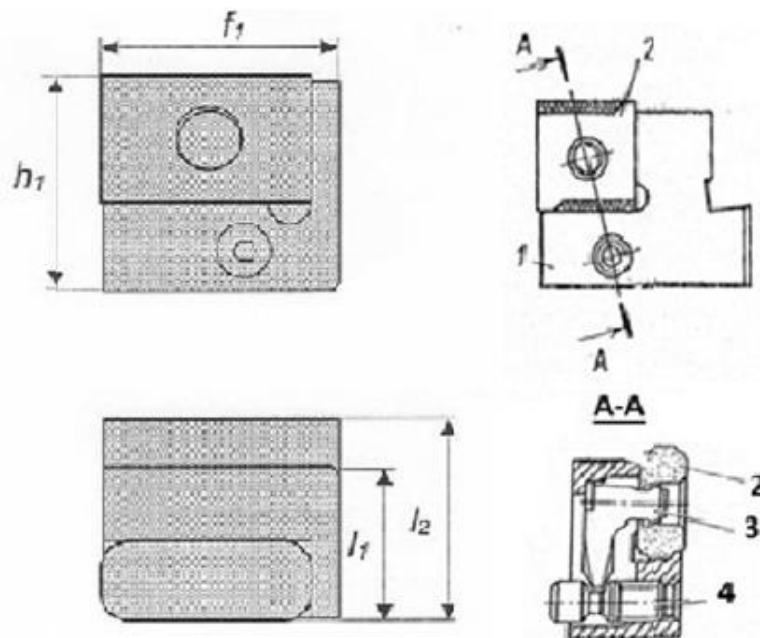


Рис. 9. Кріплення пластин у різцевих блоках фірми Sandvik Coromat

Г-подібний ричаг 3 вставлений в отвір пластини 2 і закріплений гвинтом 4, що забезпечує закріплення пластини 2 поворотом ричага 3. Розміри, вказані на рисунку:  $h_1 = 32$  мм,  $l_2 = 30$  мм,  $l_1 = 30$  мм,  $f_1 = 25$  мм, різальна пластинка – LNMX301940-22.

Для забезпечення більш жорсткого кріплення різальної призматичної пластини до опорної поверхні 1 фірма «Sandvik Coromat» виготовляє також різцеві блоки з боковими вижолобками (рис. 10).

Фірмою «Pramet Tools» (Чехія) виготовляються різцеві блоки з тангенційними пластинами, подібні до продукції від «Sandvik Coromat». Однак є відмінність: під різальну пластину на опорну поверхню різцевого блоку підкладається проміжна пластинка підвищеної твердості (рис. 11) [2].

Фактична стійкість твердосплавних пластин LNUX 301940SN-DM зі сплаву SH фірми «Pramet Tools» (Чехія), проаналізована за 1-й квартал 2024 р. на прикладі Покровського вагонного депо Донецької залізниці, склала 1 пластинка / 6 колісних пар (рис. 12). Обточка виконувалася на колесотокарних верстатах фірм «Рафамет» (Польща) та КЗВВ (Україна) з викаткою колісних пар з-під вагонів. За контрольний період обточці було піддано 592 колісні пари з обох сторін. Загальна витрата твердосплавних пластин склала 99 шт.

Використання різців з постійною державкою та швидкозмінними різцевими блоками і пластинами є ефективним для забезпечення економії часу на заміну та переналаштування різального інструменту і

збільшення продуктивності праці. Проте такі різці мають певні недоліки, зокрема, недостатньо надійне базування різальної пластини до опорної поверхні.

Під впливом сил різання та температурних факторів під час обробки залізничних колісних пар збірним різальним інструментом може відбуватися суттєва деформація опорної зони гнізда корпусу під пластиною. Це може призводити до опускання опорної зони, що утворює зазор між різальною пластиною та корпусом.

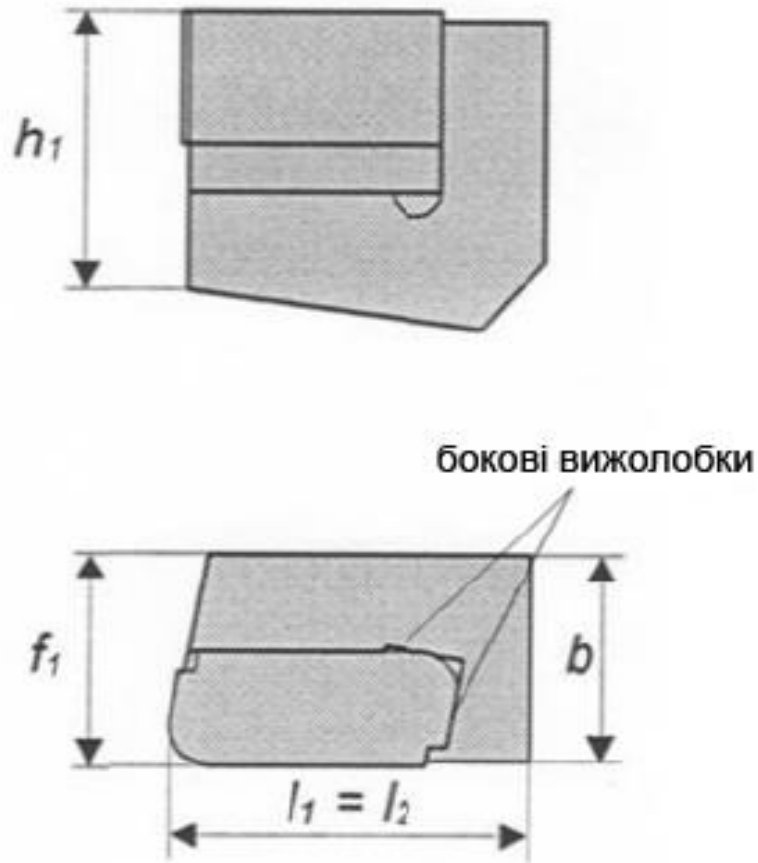


Рис. 10. Різцеві блоки фірми «Sandvik Coromat» з боковими вижолобками для кріплення тангенційних пластин



Рис. 11. Різцеві блоки з тангенційними пластинами «Pramet Tools» (Чехія)



Рис. 12. Твердосплавні пластини фірми «Pramet Tools» (Чехія)

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** З метою підвищення ефективності є доцільним та перспективним вивчення та вдосконалення технологій та технологічних процесів відновлення профілів кочення залізничних колісних пар. Це питання є важливим для України в аспекті економіки сталого розвитку, з впровадженням INDUSTRY 4.0 та 5.0, особливо в умовах воєнного стану. Перспективними напрямками досліджень є наплавка колісних пар та вдосконалення різального інструменту, що використовується при механічній обробці. Для більш якісного вивчення процесів механічної обробки колісних пар є сенс також додаткового застосування діагностичного обладнання.

**Список використаної літератури:**

1. *Бахман С.О.* Щодо дослідження ефективності процесів відновлення залізничних колісних пар / *С.О. Бахман, П.П. Мельничук* // Збірник наукових праць 12 Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – 2023. – С. 66–68.
2. *Полупан І.І.* Підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями : дис. ... на здобуття наукового ступеня к.т.н. / *І.І. Полупан.* – 2016. – 213 с.
3. *Гайворонський О.А.* Умови забезпечення якості відновлених наплавленням залізничних коліс / *О.А. Гайворонський* // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 5 (65). – С. 136–151.
4. *Гайворонський О.А.* Технологія відновлення залізничних коліс дуговим наплавленням / *О.А. Гайворонський* // Технологія конструкційних та функціональних матеріалів. – 2019. – 147 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/2019/0919.pdf>.
5. *Рубан В.М.* Підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ 20 : дис. ... на здобуття наукового ступеня к.т.н. / *В.М. Рубан.* – Дніпро, 2021. – 196 с.
6. *Тихенко В.М.* Підвищення ефективності обробки на колесо-токарих верстатах / *В.М. Тихенко, С.В. Пчелінський* // Праці Одеського політехнічного університету. Сер. : Машинобудування. Технологія металів. Матеріалознавство. – 2012. – Вип. 1 (38). – С. 84–87.
7. *Андрійко І.* Дослідження пошкоджуваності поверхні кочення залізничних коліс / *І.Андрійко, В.Кулик, В.Прокопець* // Машинознавство. – 2011. – № 1–2. – С. 32–36.
8. Дослідження динамічної стійкості процесу механообробки колісних пар / *В.С. Гузенко, С.Л. Миранцов, І.І. Полупан, О.О. Шульга* // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2009. – Вип. 25. – С. 22–27.
9. *Демченко В.* Аналіз досліджень впливу параметрів поверхні колеса та значення твердості на взаємодію з колією / *В.Демченко, О.Демченко* // Збірник наукових праць ДУІТ. Сер. : Транспортні системи і технології. – 2022. – Вип. 40. – С. 121–130.
10. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу : Наказ N-429 – Ц/Од від 15.10.2015 р / АТ «Укрзалізниця». – 2015. – 23 с.
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kzts.com/products.html#product4>.
12. *Данилевський В.І.* Відновлення профілю кочення колісних пар без викочування під час експлуатації рухомого складу. Техніка і технології / *В.І. Данилевський, С.В. Остапець, В.М. Тарасюк* // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Сер. : Транспортні системи. – 2017. – Вип. 30. – С. 10–15.

13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.rafamet.com/en/products/machines-for-railways/underfloor-wheel-lathes/uge-300-400-n-axle-load-up-to-30-40-ton>.

#### References:

- Bakhman, S.O. and Melnychuk, P.P. (2023), «Shchodo doslidzhennia efektyvnosti protsesiv vidnovlennia zaliznychnykh kolisnykh par», *Zbirnyk naukovykh prats 12 Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu*, pp. 66–68.
- Polupan, I.I. (2016), *Pidvyshchennia efektyvnosti protsesu vidnovlennia profilu kolisnykh par zbirnymy riztsiamy*, Ph.D. Thesis of dissertation, 213 p.
- Haivoronskyi, O.A. (2016), «Umovy zabezpechennia yakosti vidnovlennykh naplavlenniam zaliznychnykh kolis», *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu. Nauka ta prohres transportu*, No. 5 (65), pp. 136–151.
- Haivoronskyi, O.A. (2019), «Tekhnolohiia vidnovlennia zaliznychnykh kolis duhovym naplavlenniam», *Tekhnolohiia konstruktivnykh ta funktsionalnykh materialiv*, 147 p., [Online], available at: <https://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/2019/0919.pdf>
- Ruban, V.M. (2021), *Pidvyshchennia efektyvnosti vidnovlennia kolisnykh par frezeruvanniam robochykh poverkhon na verstatak KZh 20*, Ph.D. Thesis of dissertation, Dnipro, 196 p.
- Tykhenko, V.M. and Pchelinskyi, S.V. (2012), «Pidvyshchennia efektyvnosti obrobky na koleso-tokarnykh verstatak», *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu. Serii. Mashynobuduvannia. Tekhnolohiia metaliv. Materialoznavstvo*, Issue 1 (38), pp. 84–87.
- Andriiko, I., Kulyk, V. and Prokopets, V. (2011), «Doslidzhennia poshkodzhuvanosti poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis», *Mashynoznavstvo*, No. 1–2, pp. 32–36.
- Huzenko, V.S., Myrantsov, S.L., Polupan, I.I. and Shulha, O.O. (2009), «Doslidzhennia dynamichnoi stiikosti protsesu mekhanoobrobky kolisnykh par», *Nadiinist instrumentu ta optymizatsiia tekhnolohichnykh system*, zb. nauk. prats, DDMA, Kramatorsk, Issue 25, pp. 22–27.
- Demchenko, V. and Demchenko, O. (2022), «Analiz doslidzen vplyvu parametriv poverkhni kolesa ta znachennia tverdosti na vzaiemodiiu z kolieiu», *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii. Transportni systemy i tekhnolohii*, Issue 40, pp. 121–130.
- Polozhennia pro planovo-poperedzhuvalnu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannia tiahovoho rukhomoho skladu* (2015), Nakaz N-429 – Ts/Od vid 15.10.2015 r., AT «Ukrzaliznytsia», 23 p.
- [Online], available at: <http://www.kzts.com/products.html#product4>
- Danylevskiy, V.I., Ostapets, S.V. and Tarasiuk, V.M. (2017), «Vidnovlennia profilu kochennia kolisnykh par bez vykochuvannia pid chas ekspluatatsii rukhomoho skladu. Tekhnika i tekhnolohii», *Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Serii. Transportni systemy*, Issue 30, pp. 10–15.
- [Online], available at: <https://www.rafamet.com/en/products/machines-for-railways/underfloor-wheel-lathes/uge-300-400-n-axle-load-up-to-30-40-ton>

**Бахман** Сергій Олександрович – аспірант Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки;
- реновація поверхні.

**Мельничук** Петро Петрович – доктор технічних наук, професор Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0003-0361-756X>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

E-mail: [melnichukpp1952@ztu.edu.ua](mailto:melnichukpp1952@ztu.edu.ua).

**Bakhman S.O., Melnychuk P.P.**

#### **Technologies and technological processes of restoring the rolling profile of railway wheelsets, ways to improve efficiency**

One of the most significant issues for the railway is the issue of ensuring timely and high-quality restoration of the rolling profile of wheelsets in operation. The article discusses the relevance of improving the efficiency of wheelset restoration technology, analyzes the latest research and publications on the issue. Defects that occur during the operation of wheelsets and the causes of their formation are considered. The analysis of existing and promising technological processes for restoring the rolling profile of railway wheelsets, in particular by surfacing and mechanical processing by cutting on wheel lathes and wheel milling machines, is carried out. The advantages and disadvantages of each of the recovery methods are considered. The cutting tool used for processing on machine tools is considered, the advantages and disadvantages of each type of tool and cutting blocks are given.

The analysis of the actual stability of LNUX 301940sn-DM carbide plates made of SH alloy by Pramet Tools (Czech Republic) when they are used on wheel lathes based on the Pokrovsk car depot of the Donetsk railway is performed.

Conclusions are drawn about the prospects for further research in the direction of possible improvement of the efficiency of processes for restoring the rolling profile of iron wheelsets.

**Keywords:** rolling profile; restoration of railway wheelsets; surfacing, cutting tools.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2024.