

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ

¹Сумський національний аграрний університет

Висвітлено результати дослідження нової технології підвищення стійкості металорізальних інструментів (МІ), які працюють на підприємствах атомних електростанцій (АЕС), в умовах радіаційного опромінювання. Технологія полягає в нанесенні комбінованого електроіскрового покриття (КЕП) складу $E1LPb + E1L (1M + Mo + EG-4)$. Аналіз літературних джерел щодо цієї тематики, показав що для промисловості ЕС існує дефіцит двох життєво важливих інгредієнтів твердосплавних інструментів, а саме вольфраму і кобальту, які входять до переліку 14 найважливіших сировинних матеріалів (CRM). Також зазначено зростання в часовій перспективі використання МІ зі швидкорізальних сталей зі зносостійкими покриттями, вільними від CRM. Автори загострюють увагу, що використовуючи МІ в системі АЕС, варто уникати елементів, які у разі опромінення стають джерелом небезпечних ізотопів з тривалим терміном існування. Насамперед це стосується кобальту. Тому метою роботи є підвищення якості металорізальних інструментів (МІ) для роботи в умовах радіаційного опромінювання. Для досягнення цієї мети запропоновано використати нанесення на робочі поверхні МІ електроіскрових покриттів, що не мають в своєму складі небезпечних ізотопів з тривалим терміном існування.

Використовуючи запропоновану технологію нанесення захисних КЕП на робочі поверхні МІ, мікротвердість і суцільність, сформованого поверхневого шару, збільшуються, відповідно до 12100 МПа і 100 %, а шорсткість Ra зменшується до 0,6 мкм. Порівняльними випробуваннями встановлено, що в результаті нанесення на робочі поверхні МІ зі сталі Р6М5, КЕП складу $E1LPb + E1L (1M+Mo+ EG-4)$, коефіцієнт їхньої стійкості в порівнянні з незміцненими МІ, зростає для мітчиків $M12 \times 1,0$; кінцевих фрез $\varnothing 36$ і довбальних різців $S = 30$ мм, відповідно в 8,0; 6,6 і 3,5 рази.

Ключові слова: технологія, металорізальний інструмент, атомна електростанція, мікротвердість, шорсткість, суцільність, екологічна безпека.

Вступ

Процеси різання металу є основою обробки сировини. Кожна промисловість використовує металеві матеріали або металорізальні інструменти (МІ). Використання МІ на підприємствах АЕС має особливе значення. Вибір методу демонтажних робіт для різних компонентів атомної станції є однією з операційних потреб виведення її з експлуатації. Широкий спектр методів демонтажу, як механічних, так і термічних, розроблено та випробувано під час виведення установок з експлуатації [1], часто підтримується дослідницькими програмами Європейського співтовариства.

Таким чином, роботи, направлені на підвищення якості технології механічної обробки обладнання в умовах АЕС, є актуальними і своєчасними.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Демонтажні роботи на АЕС часто виконуються сторонніми підрядниками, які, імовірно, не мають досвіду роботи на об'єкті. Окрім бетону, метал становить більшу частину твердих матеріалів, які утворюються після виведення заводу з експлуатації. Долю такого матеріалу варто планувати з огляду на очищення, переробку та повторне використання всіх компонентів і відходів [2].

Необхідність зменшення зовнішньої дози опромінення під час недистанційного різання передбачає вибір високошвидкісних методів, щоб зменшити час опромінення працівників. З іншого боку, ці методи, як і плазмове різання, утворюють більше вторинних відходів, ніж інші методи. Утворюваний металевий радіаційний пил працівники вдихають, що саме по собі завдає шкоди, до того ж, він викликає такі патології, як респіраторний синдром або пошкодження хромосом [3]. На додаток до цих ризиків може виникнути внутрішнє опромінення через вдихання. Необхідно враховувати певний радіологічний ризик для працівників.

Існує велика різноманітність використовуваних найсучасніших технологій демонтажу. Їх можна згрупувати на механічні (пиляння, різання, фрезерування, пиляння алмазним дротом, різання труб та ін.), які зазвичай використовуються для активованого різання компонентів, термічні (різання паливом, різання списом, різання плазмовою дугою, різання лазерним променем та ін.) і гідравлічні (водоструменеве різання, абразивне водоструменеве різання) [4]. У разі застосування різання під водою захист від радіації підсилюється, а видимість на ділянці різання зменшується [5]. Розподіл частинок отриманого аерозолі за розміром і кількістю пилу, який може бути зібраний під час різання, залежать від різних факторів: технології різання, параметрів різання, точки вимірювання, аерації, типу матеріалу, умов навколишнього середовища. Зазвичай аерозолі, створені термічними інструментами, мають більший субмікронний компонент, ніж аерозолі, створені механічними інструментами, але умови різання можуть сильно впливати на результати [6].

Можна зазначити, що найзручнішими для сегментації першого контуру АЕС за своїми технологічними та вартісними характеристиками є: механічне різання, плазмове різання, кисневе різання. При цьому робоча зона повинна бути організована таким чином, щоб забезпечити легке переміщення вантажів і забезпечити працівникам захист від звичайних небезпек і впливу радіації. Одним з основних компонентів ризику для працівників, які працюють із забрудненим металом, є дихання [3].

На сьогоднішній день основна увага в виробничих дослідженнях зосереджена на підвищенні продуктивності, на розробці матеріалів (особливо для МІ), які можуть витримувати вищі навантаження під час різання, ніж поточні досяжні межі обробки.

Аналіз оснащення для механічної обробки показує, що твердий сплав є одним з найуживаніших матеріалів для різальних інструментів. Зазвичай твердосплавні різальні інструменти виготовляються із суміші карбіду вольфраму та кобальту (сполучної речовини, яка зв'язує карбід вольфраму). Щодо матеріалу різальної частини, то тверді сплави складають близько половини ринку. Швидкорізальна сталь, кераміка, металокераміка та надтверді матеріали, такі як полікристалічний алмаз (PCD) і полікристалічний кубічний нітрид бору (PCBN), складають решту ринку інструментальних матеріалів.

Два важливих інгредієнта твердосплавних інструментів, згаданих вище, а саме вольфрам і кобальт, визначено у 2011 році як одні зі списку 14 найважливіших сировинних матеріалів (CRM), для промисловості ЄС. Нещодавно, у 2014 і 2017 роках, вони продовжували залишатися в цьому списку через їхню економічну важливість і ризик припинення постачання [7].

Ще один дієвий фактор для заміщення Со полягає в його добре відомій генотоксичній та канцерогенній активності. Таким чином, для ЄС виникла нагальна потреба розробити альтернативні рішення для наявних матеріалів для МІ, щоб уникнути повного закриття підприємств, які здійснюють механічну обробку, через відсутність сировини.

Резервом зменшення CRM є різноманітні покриття, які захищають різальні інструменти, що працюють в екстремальних умовах. Більшість широко використовуваних покриттів не містять CRM, але багатоелементні та високоентропійні, розроблені для конкретних екстремальних умов, можуть їх включати [8]. Перехідні метали є однією з найбільших груп хімічних елементів у періодичній таблиці, і половина групи тугоплавких металів позначена як CRM.

Варто зазначити, що за використання МІ в системі АЕС варто уникнути елементів як в самому інструменті, так і в його покритті, які у разі опромінення стають джерелом небезпечних ізотопів з тривалим терміном існування [9]. На підприємствах, обладнання яких працює в умовах радіаційного опромінювання, під час виготовлення і відновленні деталей виробів не допускається використання кобальту [10].

Прикладом, який відповідає ідеї скорочення використання критичних матеріалів у цементованих карбідах, є безкобальтовий карбід. Перші безкобальтові карбіди отримані звичайними методами з мікропорошків [11]. Ці матеріали характеризуються високою твердістю та стійкістю до стирання, але демонструють більшу крихкість порівняно з цементованим карбідом WC-Co. Для

карбіду вольфраму без сполучної речовини, коли спікання відбувалося у твердій фазі, відбувається ріст зерен у полікристалічному матеріалі. Застосування нанопорошків і методів спікання під тиском (іскрове плазмове спікання, гаряче пресування) покращило властивості безкобальтових цементованих карбідів [12].

На рис. 1 показано розподіл різальних інструментів з твердого сплаву та з покриттям, де зростання останнього чітко видно в часовій перспективі.

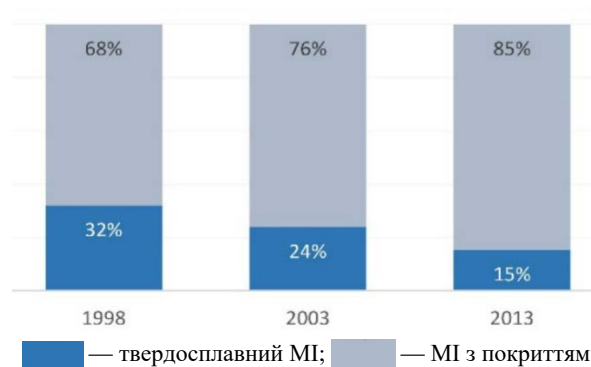


Рис. 1. Світовий ринок твердосплавного різального інструмента. Дані взяті з [7], [13]

Захисні покриття можуть значно збільшити термін служби інструментів і, таким чином, зменшити споживання вмісту CRM у сипких матеріалах. До того ж, більшість сучасних покриттів не містять CRM. Еволюція захисного ефекту покриттів шляхом подовження терміну служби інструментів і порівняння покриттів з доступними даними з вибраних опублікованих робіт показано на рис. 2.

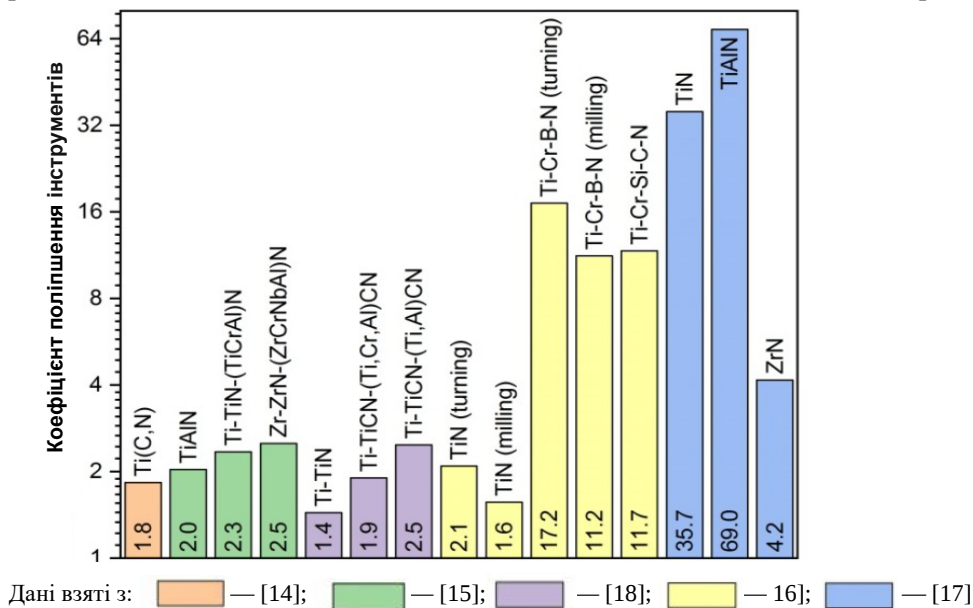


Рис. 2. Порівняння коефіцієнтів поліпшення інструментів з покриттям порівняно з інструментами без покриття (на основі терміну служби). Аналізовані дані взяті з робіт [7], [14]–[18]

З рис. 2 видно, що різальні МІ з покриттям можуть мати додатковий термін служби на 200...500 % або більше за тих самих швидкостей різання. Це також може призвести до збільшення робочих швидкостей (на 50 % до 150 %) при тому ж терміні служби МІ [19].

Як для зміцнення, так і для нанесення захисних покриттів, особливе значення має метод електроіскрового легування (ЕІЛ), який дуже широко використовується для підвищення стійкості МІ. Специфічними особливостями ЕІЛ є: міцне зчеплення нанесеного матеріалу з основою, локальність оброблення, можливість нанесення чистих металів, різноманітних сплавів, дифузійне насичення поверхневого шару без зміни геометричних розмірів тощо [20].

Авторами в [2], [22] до практичної реалізації запропоновано новий метод зміцнення МІ пучком електродів, який виконується методом ЕІЛ. При цьому один з електродів, складу (90 % ВК6 + 10 % 1М), де 1М: 70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % В, виконаний з композиційного матеріалу, виготовленого методом ПМ, другий — виконаний з молібдену і третій — з графіту марки ЕГ-4. Покриття

наносять на робочі поверхні МІ на установках ЕІЛ за енергії розряду $W_p = 0,08 \dots 0,4$ Дж і продуктивності, $Q = 0,5 \dots 0,9$ см²/хв. В результаті апробації нового методу встановлено збільшення зносостійкості МІ (до 7,8 раз), в порівнянні з незміцненими. Нажаль ця технологія не може бути використаною через наявність кобальту в покритті для МІ, що працюють в умовах радіаційного опромінювання.

Таким чином, *метою роботи* є підвищення якості металорізального інструмента для роботи в умовах радіаційного опромінення, шляхом використання технології нанесення електроіскрових покриттів, що не мають в своєму складі небезпечних ізотопів з тривалим терміном існування.

Методика досліджень

Як МІ використовували мітчики М12×1,0; кінцеві фрези $\varnothing 36$ і різці довбальні $S = 30$ мм з матеріалу Р6М5. На робочу поверхню зразків з матеріалу Р6М5, розміром 15×15×8 мм і МІ наносили зміцнювальні покриття на установці ЕІЛ моделі «Елітрон-22А» (рис. 3а). Швидкорізальна сталь Р6М5 — це високо і складно легована сталь, де сума легувальних елементів сягає 16...18 %. Вона містить у собі такі легувальні елементи, як вольфрам, молібден, хром, ванадій. Твердість після остаточної термообробки становить до 64 HRC. Шорсткість поверхонь зразків з покриттями і без покриття оцінювали за допомогою профілографа-профілометра заводу Калібр (рис. 3б). Металографічні дослідження структури суцільності покриття, а також оцінка мікротвердості покриття проводили за стандартними методиками і на відповідному обладнанні.

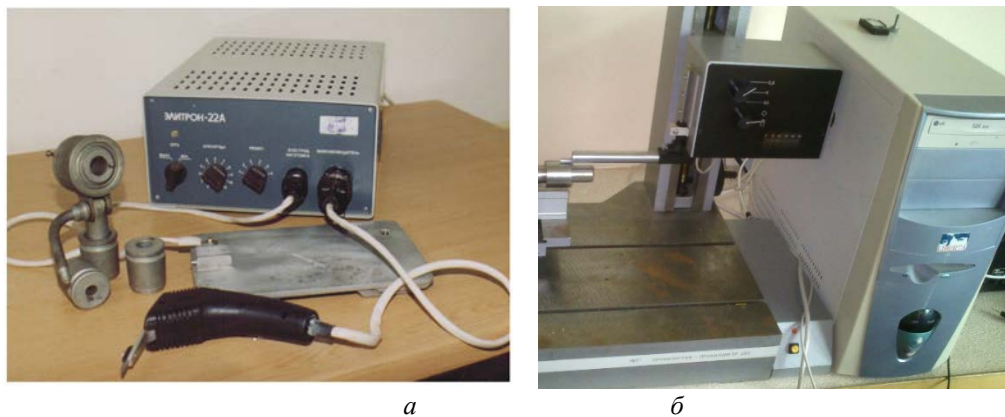


Рис. 3. Видгляд: а — установки моделі «Елітрон – 22А»; б — профілографа-профілометра заводу Калібр

Комбіновані електроіскрові покриття (КЕП) МІ проводили поетапно:

- на першому етапі наносили м'який антифрикційний матеріал свинець за енергії розряду $W_p = 0,05$ Дж і продуктивністю, $Q = 0,3$ см²/хв. Свинець має температуру плавлення 327,5 °С і у разі нанесення другого шару покриття пучком електродів інструментів (ЕІ) з тугоплавкіших металів (нікелю, хрому, молібдену), розплавлявся і заповнював западини шорсткості і всі недосконалості покриття, значно знижуючи величину шорсткості поверхні;

- на другому етапі наносили покриття пучком з трьох ЕІ. Один ЕІ виконано з композиційного матеріалу, складу 1М (70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % B), виготовленого спіканням методом порошкової металургії (ПМ), другий — з молібдену і третій — з графіту марки ЕГ-4. При цьому $W_p = 0,35$ Дж і продуктивність, $Q = 0,7$ см²/хв).

Виклад основного матеріалу досліджень

Варто зазначити, що в технології, описаній вище в [21], [22] електрод, який складається з 90 % ВК6 і 10 % 1М, містить кобальт і його неможливо використовувати як матеріал покриття для МІ. В подальших дослідженнях цей електрод замінено на ЕІ марки 1М, виконаний також спіканням методом ПМ з композиційного матеріалу складу: 70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % B.

Згідно з [9] свинець є найкращим матеріалом для захисту від радіаційного опромінювання. Тому у разі нанесення його першим шаром на робочу поверхню МІ досягається не тільки зниження шорсткості поверхні з подальшим нанесенням другого шару пучком електродів, а й відбувається захист від опромінювання.

На рис. 4 показані мікроструктури поверхневих шарів сталі Р6М5 після ЕІЛ ЕІ: а — 1М; б — Pb+1М, які отримані авторами в попередніх дослідженнях [23], а також мікроструктура

поверхневого шару сталі Р6М5 після покриття, сформованого за запропонованою технологією;
 в — Pb + (1М+Мо+ ЕГ-4).

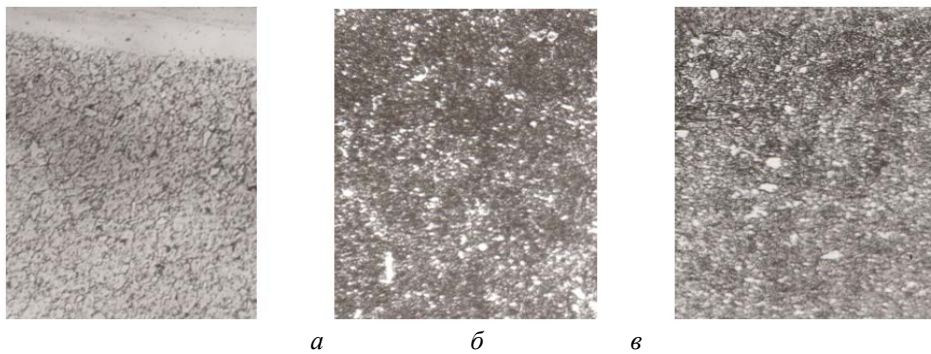


Рис. 4. Мікроструктури поверхневого шару сталі Р6М5 після ЕІЛ ЕІ: а — 1М; б — Pb+1М [24];
 в — Pb+ (1М+Мо+ ЕГ-4); $\times 400$

Аналізуючи мікроструктури, варто зазначити, що у разі ЕІЛ сталі Р6М5 електродом 1М, виконаним методом ПМ (рис. 4а) на фотографії чітко видно масивний «білий» шар, який не травиться звичайними реактивами і нижче розташований основний метал. У разі попереднього ЕІЛ зразків ЕІ зі свинцю структура має темніший колір за використання у наступному легуванні ЕІ складу 1М (рис. 4б) і світліший — у разі ЕІЛ пучком електродів, що складається з окремих ЕІ: 1М; Мо і графіту ЕГ-4 (рис. 4в).

В табл. 1 зведені данні параметрів якості поверхневих шарів, згідно з рис. 4.

Таблиця 1

Параметри якості поверхневих шарів сталі Р6М5 після ЕІЛ різними ЕІ

Матеріал електроду інструмента	Товщина шару, мкм	Мікротвердість, H_{μ} , МПа	Суцільність, %	Шорсткість, R_a , мкм
ЕІЛ1М *	50...60	11850	85	3,9
ЕІЛРb+ЕІЛ1М *	15...20	11250	95	0,7
ЕІЛРb + ЕІЛ (1М+Мо+ ЕГ-4)	15...20	12100	100	0,6

Примітка: * — дані, взяті з [23].

Аналіз табл. 1 показав, що за використання запропонованої технології нанесення захисних покриттів на робочі поверхні МІ, товщина нанесеного шару майже не змінюється, мікротвердість і суцільність збільшуються, відповідно до 12100 МПа і 100 %, а шорсткість, R_a , зменшується до 0,6 мкм. Збільшення мікротвердості нанесеного покриття можна пояснити тим, що у разі ЕІЛ графітом (вуглецем) – ЕІ марки (ЕГ-4) відбувається взаємодія з легувальними елементами швидкорізальної сталі Р6М5 і елементами ЕІ, з яких складається пучок електродів (1М: 70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % В і молібден), що викликає появу в поверхневому шарі карбідів. Крім цього у разі ЕІЛ графітом електричні розряди відбуваються між виступами шорсткості поверхневого шару, що формується, і ЕІ з вуглецю. В результаті вуглець дифундує в глиб поверхневого шару, а виступи шорсткості руйнуються, тим самим зменшуючи величину шорсткості.

Результати проведення порівняльних випробувань МІ зі сталі Р6М5, зміцнених методом ЕІЛ, нанесенням КЕП складу ЕІЛРb + ЕІЛ (1М+Мо+ ЕГ-4) і інструмента без покриття зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати порівняльних виробничих випробувань МІ зі сталі Р6М5, з комбінованим електроіскровим покриттям і без покриття

Найменування інструмента	Матеріал заготовки	Кількість виготовлених деталей		Коефіцієнт стійкості
		без покриття	з покриттям	
Мітчик М12 $\times$ 1,0	10Х17Н13М3Т	35	277	7,9
Мітчик М12 $\times$ 1,0	10Х17Н13М3Т	33	267	8,1
Мітчик М12 $\times$ 1,0	10Х17Н13М3Т	34	269	7,9
Кінцева фреза $\varnothing$ 36	07Х16Н6	0,7	4,5	6,4
Кінцева фреза $\varnothing$ 36	07Х16Н6	0,6	4,0	6,7

Найменування інструмента	Матеріал заготовки	Кількість виготовлених деталей		Коефіцієнт стійкості
		без покриття	з покриттям	
Кінцева фреза Ø 36	07X16H6	0,5	3,3	6,6
Різець довбальний S = 30 мм	Сталь 50	2,0	7,0	3,5
Різець довбальний S = 30 мм	Сталь 50	2,0	7,2	3,6
Різець довбальний S = 30 мм	Сталь 50	2,0	6,8	3,4

Аналіз табл. 2 дає підставу стверджувати, що використовуючи запропоновану нову технологію зміцнення МІ зі сталі Р6М5, шляхом нанесення КЕП складу ЕІЛРb + ЕІЛ (1М+Мо+ ЕГ-4), коефіцієнт стійкості в порівнянні з незміцненими, зростає для мітчиків М12×1,0; кінцевих фрез Ø 36 і довбальних різців S = 30 мм, відповідно в 8,0; 6,6 і 3,5 раз.

Висновки

1. Розроблено нову технологію підвищення стійкості металорізальних інструментів, які працюють в умовах радіаційного опромінення, що полягає в нанесенні КЕП складу ЕІЛРb + ЕІЛ (1М+Мо+ ЕГ-4).

2. За використання запропонованої технології нанесення захисних КЕП на робочі поверхні МІ, мікротвердість і суцільність, сформованого поверхневого шару, збільшуються відповідно до 12100 МПа і 100 %, а шорсткість, Ra, зменшується до 0,6 мкм.

3. В результаті порівняльних випробувань встановлено, що у разі нанесення на робочі поверхні МІ зі сталі Р6М5, КЕП складу ЕІЛРb + ЕІЛ (1М+Мо+ ЕГ-4), коефіцієнт їхньої стійкості в порівнянні з незміцненими інструментами, зростає для мітчиків М12×1,0; кінцевих фрез Ø 36 і довбальних різців S = 30 мм, відповідно в 8,0; 6,6 і 3,5 раз.

4. Використання нової технології, нанесення КЕП складу ЕІЛРb + ЕІЛ (1М+Мо+ ЕГ-4) на робочі поверхні МІ зі сталі Р6М5, є резервом зменшення CRM (вольфраму).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] H. Steiner, et al., "Experience with the dismantling of three secondary steam generators in unit A in gundremmingen by the ice-sawing technique," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 170, no. 1-3, pp. 165-173, 1997.
- [2] L. A. Nieves, et al., "Analysis of disposition alternatives for radioactive contaminated scrap metal," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 335, no. 6, pp. 1089-1103, 1998.
- [3] J. Malo, et al., "Agents causing occupational asthma," *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 123, no. 3, pp. 545-555, 2009.
- [4] *EPRI 2008 End-Use Energy Efficiency and Demand Response Program*. [Electronic resource]. Available: <https://www.epri.com/research/products/1025002>.
- [5] *Статут Міжнародного агентства по атомній енергії* (Зміни до Статуту додатково див. в документі (995_884) від 03.11.1999).
- [6] B. Valetin, "Deposition, characterisation, and sampling of radioactive aerosols," *Annals of the ICRP*, vol. 32, no. 1-2, 2002.
- [7] A. Rizzo, et al., "The Critical Raw Materials in Cutting Tools for Machining Applications: A Review," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 6, p. 1377, 2020.
- [8] J. Li, Y. Huang, X. Meng, and Y. A. Xie, "Review on High Entropy Alloys Coatings: Fabrication Processes and Property Assessment," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 21, no. 8, pp.1900343, 2019.
- [9] Н. В. Тарельник, *Технологічні особливості модифікації поверхонь деталей насосів атомних електростанцій*, м. Суми, Україна: Університетська книга, 2024, 200 с.
- [10] N. V. Tarelnyk, "Properties of Surfaces Parts from X10CrNiTi18-10 Steel Operating in Conditions of Radiation Exposure Retained by Electrospark Alloying. I. Features of Topography and Mechanical Properties of Coatings," *Metallfiz. Noveishie Tekhnol.*, vol. 44, no. 8, pp. 1037-1058, 2022.
- [11] C. Agte, and R. Kohlermann, "Hilfsmetallarme Hartmetalllegierungen," *Die Tech*, vol. 10, pp. 686-689, 1957.
- [12] S. K. Li, J. Q. Li, Y. Li, F. S. Liu, and W. Q. Ao, "Dense pure binderless WC bulk material prepared by spark plasma sintering," *Mater. Sci. Technol.* vol. 31, pp. 1749-1756, 2015.
- [13] K. Bobzin, "High-performance coatings for cutting tools," *Cirp J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 18, pp.1-9, 2017.
- [14] F. Klocke, and T. Krieg, "Coated Tools for Metal Cutting—Features and Applications," *Cirp Ann.*, vol. 48, pp. 515-525, 1999.
- [15] A. Vereschaka, E. Kataeva, N. Sitnikov, A. Aksenenko, G. Oganyan, and C. Sotova, "Influence of Thickness of Multi-layered Nano-Structured Coatings Ti-TiN-(TiCrAl)N and Zr-ZrN-(ZrCrNbAl) N on Tool Life of Metal Cutting Tools at Various Cutting Speeds," *Coatings*, vol. 8, no. 1, p. 44, 2018.

- [16] E. A. Levashov, A. G. Merzhanov, and D. V. Shtansky, "Advanced technologies, materials and coatings developed in scientific-educational center of SHS," *Galvanotechnik*, vol. 100, pp. 2102-2114, 2009.
- [17] J. Gu, G. Barber, S. Tung, and R.-J. Gu, "Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts," *Wear*, vol. 225-229, pp. 273-284, 1999.
- [18] A. A. Vereschaka, S. N. Grigoriev, N. N. Sitnikov, G. V. Oganyan, and A. Batako, "Working efficiency of cutting tools with multilayer nano-structured Ti-TiCN-(Ti,Al)CN and Ti-TiCN-(Ti,Al,Cr) CN coatings: Analysis of cutting properties, wear mechanism and diffusion processes," *Surf. Coat. Technol.* vol. 332, pp. 198-213, 2017.
- [19] Y. Tamerabeta, M. Briouaa, M. Tamerabeta, and S. Khoulaldia, "Experimental Investigation on Tool Wear Behavior and Cutting Temperature during Dry Machining of Carbon Steel SAE 1030 Using KC810 and KC910 Coated Inserts," *Tribol. Ind.*, vol. 40, pp. 52-65, 2018.
- [20] В. Б. Тарельник, та ін., *Підвищення стійкості різального інструмента технологічними методами*, навч. посіб. Суми, Україна: Університетська книга, 2011, 189 с.
- [21] М. Л. Шуляк, В. Б. Тарельник, Є. М. Гецович, О. О. Василенко, А. О. Доценко, «Зміцнення металорізальних інструментів електроіскровим легуванням пучком електродів», *Вісник Сумського національного аграрного університету*, вип. 1, № 55, с. 111-116.
- [22] В. Б. Тарельник, Д. Б. Глушкова, О. П. Гапонова, Н. В. Тарельник, А. О. Доценко, і С. В. Павловський, «Спосіб зміцнення металорізальних інструментів», *Патент України на корисну модель № 158217*, МПК B23H9/00, B23P15/00., Опубл. 08.01.2025, Бюл. № 2/2025.
- [23] О. П. Гапонова, Н. В. Тарельник, В. Б. Тарельник, Т. І. Жиленко, О. М. Мисливченко, В. В. Дудченко, Н. Р. Голуб «Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей обладнання, яке працює в умовах радіаційного випромінювання», *Патент України на корисну модель № 152967*, МПК (2023.01), B23H 1/06. / опубл. 03.05.2023, Бюл. № 18.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 4.02.2025

Тарельник Наталія В'ячеславівна — канд. екон. наук, доцент, доцент кафедри проектування технічних систем, natasha-tarelnik@ukr.net ;

Доценко Артем Олексійович — аспірант кафедри технічного сервісу та галузевого машинобудування. Сумський національний аграрний університет, Суми

N. V. Tarelnik¹
A. O. Dotsenko¹

Increasing the Quality of Metal-Cutting Tools Operating under Radiation Exposure Conditions

¹Sumy National Agrarian University

The paper presents the results of investigation of a new technology for increasing the resistance of metal-cutting tools (MCT) operating at nuclear power plants (NPPs) under radiation exposure conditions. The technology consists in applying the Composite Electrochemical Coating (CEC) composition of ESARb + ESA (1M + Mo + EG-4). The analysis of literary sources devoted to this subject has shown that there is a shortage of two vital ingredients of hard alloy tools for the EU industry, namely, tungsten and cobalt, which are included into the group of the fourteen (14) most important raw materials (CRM). There is also an increase in the use of the MCT made of high-speed steels with wear-resistant coatings free of CRM. The authors emphasize that when using the MCT in the NPP system, the elements, which become a source of dangerous long-lived isotopes if irradiated, should be avoided. Primarily, this concerns cobalt. Therefore, the purpose of the paper was to improve the quality of the MCT for operation under radiation exposure conditions by analyzing and synthesizing existing analogues, industry experience and recommendations in domestic and foreign literature due to application of the electrospark coatings that do not contain dangerous long-lived isotopes. Owing to the use of the proposed technology for applying the protective CECs to the MCT working surfaces, the microhardness and the continuity of the formed surface layers increase, respectively, to 12100 MPa and 100 %, and the roughness, Ra, decreases to 0.6 μm. The comparative tests have established that due to application of the CEC composition of ESARb + ESA (1M + Mo + EG-4) to the working surfaces of steel P6M5, their stability coefficient, in comparison with the non-strengthened ones, increases for the M12×1.0 taps; end mills Ø 36, and chisel cutters of S = 30 mm, respectively, by 8.0; 6.6 and 3.5 times.

Keywords: technology, metal-cutting tool, nuclear power plant, microhardness, roughness, continuity, environmental safety.

Tarelnik Natalia V. — Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Technical System Designs, natasha-tarelnik@ukr.net ;

Dotsenko Artem O. — Post-Graduate Student of the Chair of Technical Service and Industrial Engineering