

7. Scarlett, N., Madsen, I. Effect of microabsorption on the determination of amorphous content via powder X-ray diffraction // Powder Diffraction, - 2018. – 33, N 1. – P. 26–37.

Надійшла 21.08.22

References

1. Ishii, T., Liu, Z., & Katsura, T. A. (2019). A Breakthrough in Pressure Generation by a Kawai-Type Multi-Anvil Apparatus with Tungsten Carbide Anvils. *Engineering*, 5, 3, 434–440.
2. Ishii, T., Shi, L., Huang, R., et al. (2016). Generation of pressures over 40 GPa using Kawai-type multi-anvil press with tungsten carbide anvils. *Review of scientific instruments*, 87, 2, 024501.
3. Wada K., Yagi T., Gotou H., et al. (2015). Development of new WC–Ni hardmetals for use in high pressure experiments. *High Pressure Research*, 35, 3, 263–272.
4. Hnatenko, I. O., Andreyev, I. V. & Bondarenko V.P.(2021) Analyzing the Effect of High Pressures and Temperatures on the Formation of the Structure and Properties of WC–Co Hard Alloys. *Journal of Superhard Materials*, 43, 4, 261–264.
5. Ungar, T. (2004). Microstructural parameters from X-ray diffraction peak broadening. *Scripta Materialia*, 51, 8, 777–781.
6. Hermann, H., & Ermrich, M. (1987). Microabsorption of X-ray intensity in randomly packed powder specimens. *Acta Cryst.*, A43, 401–405.
7. Scarlett, N., & Madsen, I. (2018). Effect of microabsorption on the determination of amorphous content via powder X-ray diffraction. *Powder Diffraction*, 33, 1, 26–37.

УДК 669.018.25

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-271-285

В.П. Ботвинко, канд. техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, 04074 м. Київ, e-mail: tverdospлав@ism.kiev.ua*

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ШЛІФОВАНИХ РІЖУЧИХ ПЛАСТИН З ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Розроблено метод підвищення зносостійкості шліфованих ріжучих пластин з твердих сплавів T5K10 шляхом хімічної обробки (насищення) з метою створення твердого поверхневого шару із карбідів WC, (Ti,W)C з високоточним рівнем дискретності, який міцно з'єднаний з основою інструменту. При хімічній обробці частково видаляється кобальт з поверхневого шару інструменту з утворенням міцно зчеплених з карбідним скелетом сплаву солей тугоплавких металів кобальту, вольфраму та титану, які можуть служити в якості антифрикційних присадок і гальмувати процес адгезії ріжучого клина із стружкою з утворенням наросту.

Ключові слова: *тверді сплави, ріжучі пластини, хімічна обробка, карбідний скелет*

Вступ

Для підвищення експлуатаційних властивостей твердосплавних виробів після їх спікання часто використовують додаткові технологічні операції. Наразі актуальною є

додаткова обробка поверхні виробу з метою зміни стану поверхні, наприклад, застосування покриттів із тугоплавких карбідів, нітридів, оксидів, карбонітридів та їх шаруватих структур [1–10]. У 1969 році фірми «Крупп» та «Сандвік» отримали твердосплавні пластини, покриті карбідом титану із газової фази. У 1988 році фірма «Сандвік» виготовила вставки бурового інструменту з більшим вмістом кобальту всередині вставки та меншим у поверхневому шарі. Головна ідея цих технологій полягає в отриманні твердосплавних виробів із твердим зносостійким поверхневим шаром та міцною в'язкою серцевиною. Найбільше підвищують довговічність твердосплавних виробів дискретні карбідні покриття. На сьогоднішній день практично всі провідні виробники твердосплавних різальних інструментів наносять на робочі поверхні захисні, зносостійкі покриття. Найбільш часто покриття наносять PVD, CVD методами, які вимагають використання складного унікального обладнання.

Процес різання характеризується наявністю високих контактних тисків, великих питомих сил тертя та деформацій, а також високих контактних температур супроводжуються високими нормальними тисками, що перевищують границю текучості [1–4].

При таких тисках на інструменті може утворитися нарід (схоплювання) [1–4], видалення якого призводить до передчасного виходу інструмента із ладу.

Методика експерименту

Ріжучі пластини із твердого сплаву марки Т5К10, висхідні та зміцнені хімічною обробкою, пройшли топографічні дослідження поверхні та визначення зносостійкості випробування в умовах ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України.

Топографічні дослідження зразків твердого сплаву проводилися за допомогою безконтактного інтерференційного нанопрофілометр *Micron-Alpha*.

Нанопрофілометр *Micron-Alpha* призначений для відтворення нано- та мікротопографії поверхні методом обробки послідовності інтерференційних даних при частково когерентному освітленні.

Нанопрофілометр дозволяє:

- будувати 2D та 3D зображення поверхні;
- кількісно оцінювати топографію та характеристики шорсткості поверхні.

Токарна обробка проводилась у відділі №18 ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України на токарно-гвинторізному верстаті ФТ11 з використанням державок (ISO 1832-85) з механічним кріпленням ріжучих пластин.

Ріжучі пластини типу RNMN 120400T мали форму рівностороннього трикутника. Геометричні параметри пластин – розмір сторони 5 мм, товщина 3 мм, зміцнююча фаска 0,4 мм.

Порівняння працездатності зміцнених пластин проводили з висхідними пластинами тієї же партії.

Дослідні пластини із сплавів Т5К10 випробовувались при чистовому точінні виготовлених із загартованої сталі ХВГ валів діаметром 89 мм та довжиною 400 мм. Пластини встановлювали в різець з механічним кріпленням, що забезпечувало такі геометричні параметри різальної частини – задній кут $\gamma = -10^\circ$, передній кут $\alpha = 10^\circ$. За критерій зносу було прийнято знос пластин по задній поверхні 0,4 мм. Режими різання: швидкість різання $v = 86$ м/хв, подача – $S = 0,17$ мм/об, глибина різання $t = 0,25$ мм. Різання проводили без охолодження. Різання проводили трьома вершинами кожної пластини і розраховували середнє значення.

Перед обробкою ріжучі пластини знежирювались бензином та спиртом. Хімічна обробка (пасивація) робочих поверхонь твердосплавних ріжучих пластин з висхідних (пластина 1) сплавів Т5К10 проводилась розчинами кислот – плавикової HF, азотної HNO₃, фосфорної H₃PO₄ – в спирті (пластина 2), розчином хлорного заліза FeCl₃ в соляній кислоті HCl

(пластина 3), розчином хлорного заліза $FeCl_3$ в HCl та реактивом Муракамі (пластина 4), з метою створення зносостійкого поверхневого шару [11–12].



Рис. 1. Зображення відсканованої поверхні пластини 1 (висхідної)

Хлорне залізо $FeCl_3$ для підвищення його окислювальної здатності насичують соляною кислотою. Хлорне залізо активно вступає в реакцію з металевою зв'язкою, при цьому не діє на карбід вольфраму. Насичений розчин $FeCl_3$ в соляній кислоті вважається кислотним окисником.

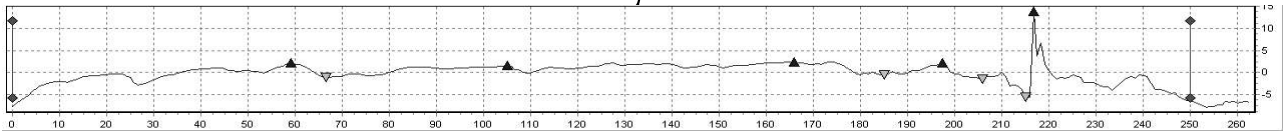
Реактив Муракамі створений таким чином, що в процесі поєднання компонентів (червоної кров'яної солі та луку) відбувається реакція окислення з виділенням активного кисню, який окислює тільки границі зерен WC, і при цьому не взаємодіє з металевою зв'язкою. Реактив Муракамі вважається лужним окисником.

Результати дослідження та їх обговорення

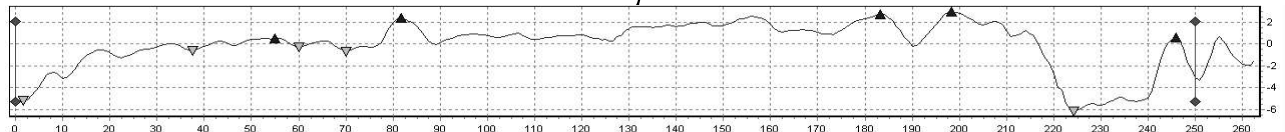
Випробувались на стійкість при різанні пластини (03114–120401) із сплавів Т5К10, виготовлені на Кіровоградському комбінаті твердих сплавів. Випробування на зносостійкість висхідних та зміцнених пластин проводилися при точінні загартованої сталі ХВГ (220–240 НВ). Результати досліджень наведені на рис. 1–12, табл. 1–5.

Топографічні характеристики поверхні пластин визначали по 5 лініях (рис. 1), 3D-зображення поверхні пластини 1 наведено на рис. 1, профілограми наведено на рис. 2, а результати обробки профілограм – в табл. 1.

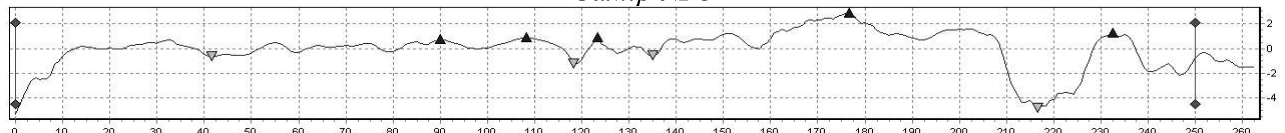
Замір № 1



Замір № 2



Замір № 3



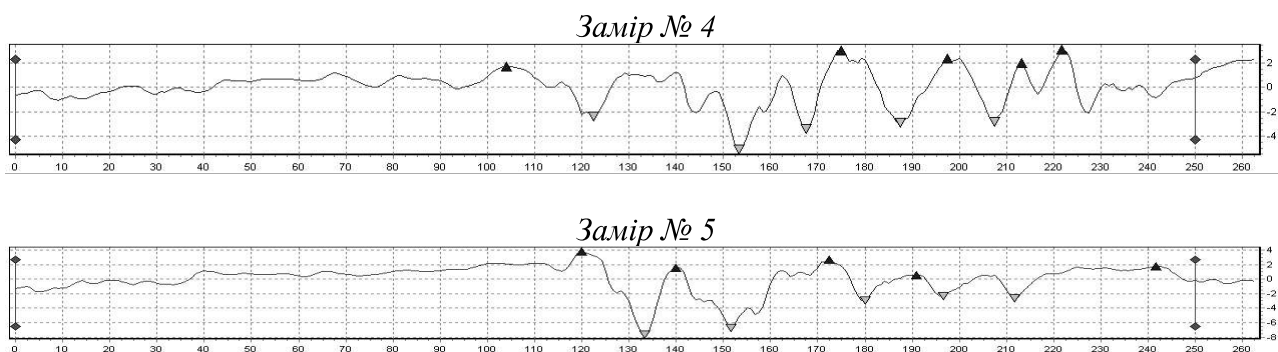


Рис. 2. Профілограми шорсткості поверхні висхідної пластини

Таблиця 1. Результати вимірювання параметрів шорсткості поверхні висхідної пластини

№ досл.	1	2	3	4	5	Ср.
Rz	7,7	4,4	3,9	5,7	6,5	$5,6 \pm 1,2$
Ra	1,6	1,6	1,0	1,0	1,443	$1,3 \pm 0,2$
Rq	2,2	2,2	1,5	1,3	1,9	1,8
Rt	7,6	6,2	5,3	5,1	7,6	6,4

Тут і в наступних таблицях: Rz – висота нерівностей, мкм; Ra – середнє арифметичне відхилення профілю, мкм; Rq – середнє квадратичне відхилення; Rt – максимальна висота нерівностей профілю.

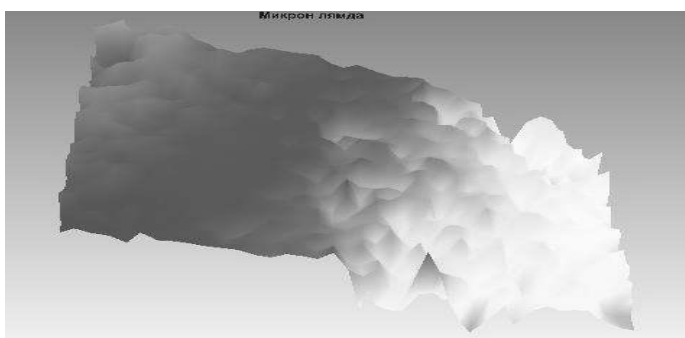


Рис. 3. 3-D зображення відсканованої поверхні висхідної пластини

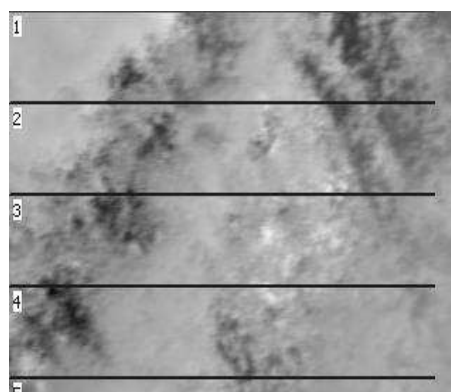
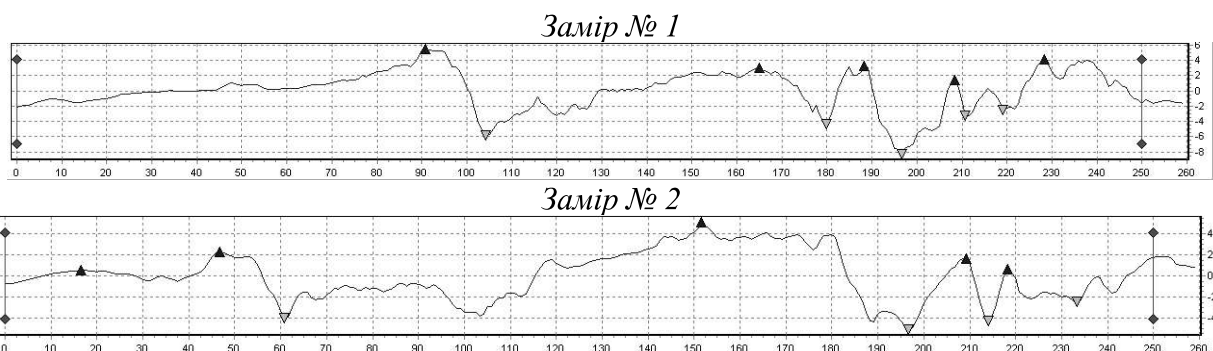


Рис. 4. Зображення відсканованої поверхні пластини 2 (після обробки розчинами кислот $HF+HNO_3+H_3PO_4$)



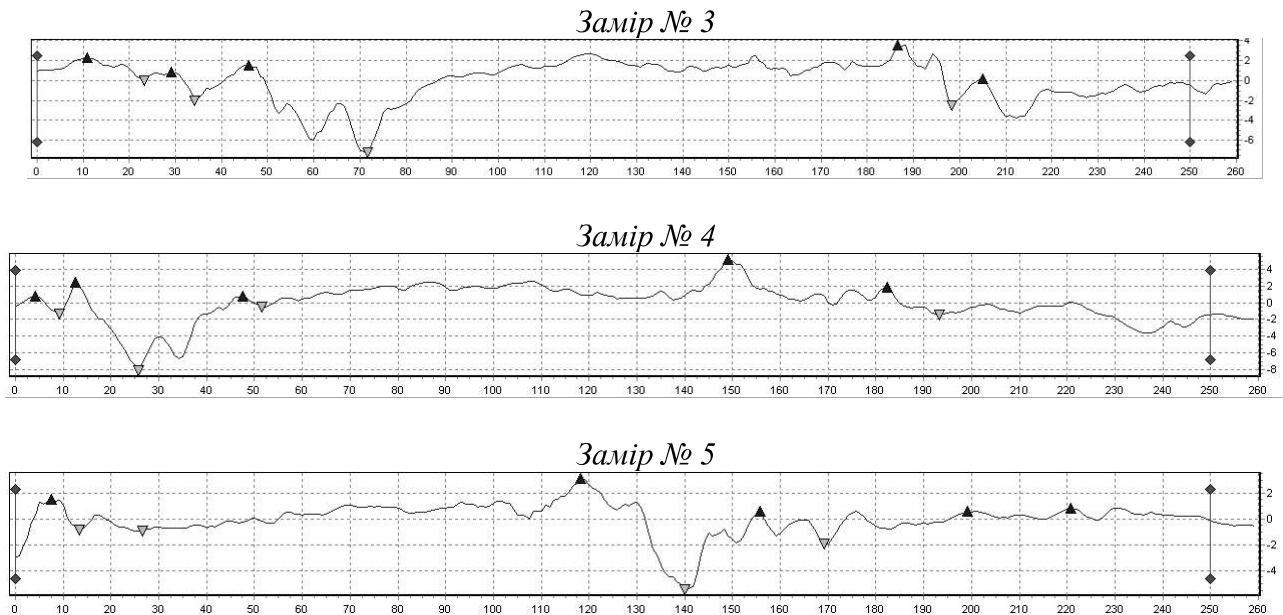


Рис. 5. Профілограми шорсткості поверхні ріжучої пластини 2 (після обробки розчинами кислот)

Таблиця 2. Результати вимірювання параметрів шорсткості поверхні пластини 2 після обробки розчинами кислот

№ досл.	1	2	3	4	5	Ср.
Rz	8,4	5,3	4,6	4,6	3,8	$5,3 \pm 1,2$
Ra	2	1,8	1,6	1,6	0,9	$1,6 \pm 0,3$
Rq	2,6	2,2	2,1	2,2	1,3	2,1
Rt	8,3	5,1	7,2	8,2	5,5	6,9

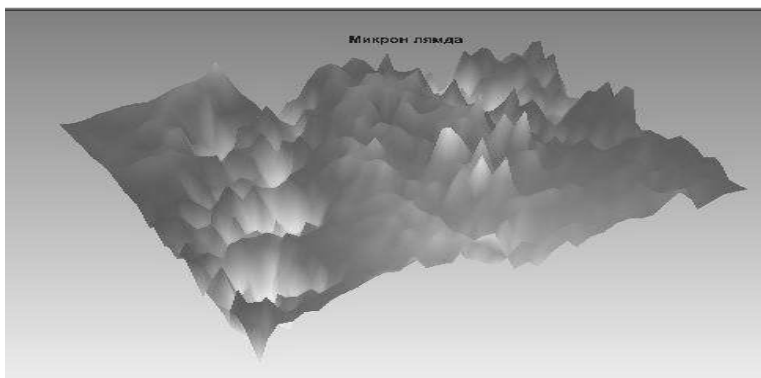


Рис. 6. 3-D зображення відсканованої поверхні пластини 2 після обробки розчинами кислот $HF+HNO_3, +H_3PO_4$

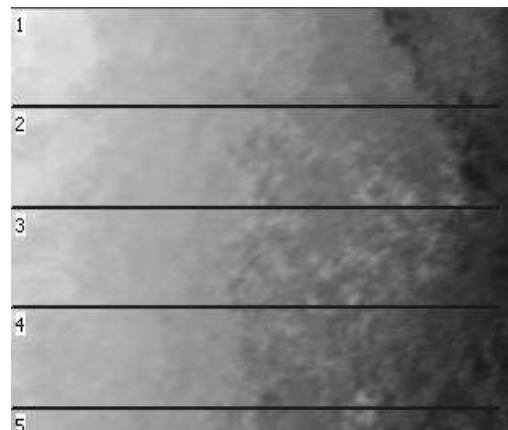


Рис. 7. Зображення відсканованої поверхні пластини 3 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті)

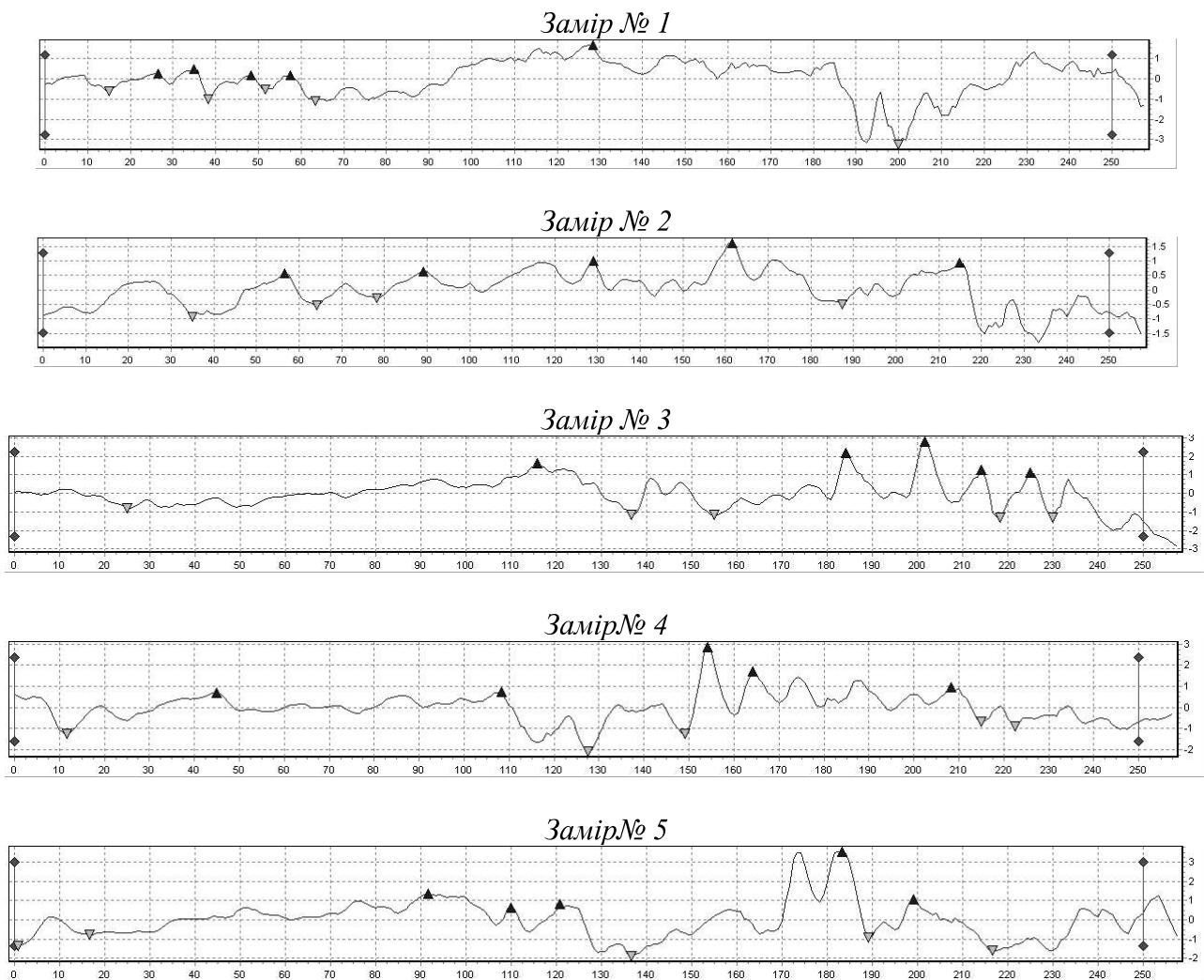


Рис. 8. Профілограми шорсткості поверхні ріжучої пластини 3 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті)

Таблиця 3. Результати вимірювання параметрів шорсткості поверхні пластини 3 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті)

№ досл.	1	2	3	4	5	Ср.
Rz	1,8	1,6	2,9	2,6	2,8	$2,3 \pm 0,5$
Ra	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	$0,6 \pm 0,1$
Rq	0,9	0,6	0,8	0,7	1,0	0,8
Rt	3,2	1,8	2,0	2,0	1,9	2,2

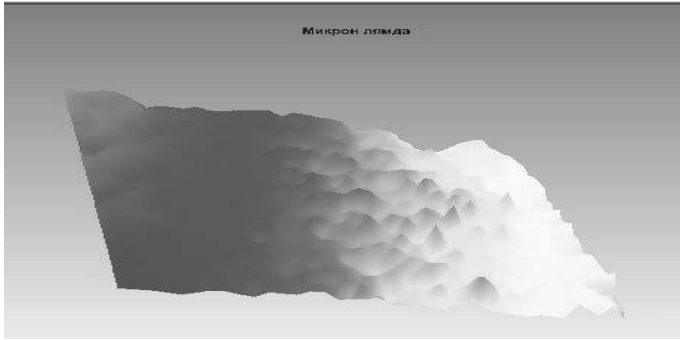


Рис. 9. 3-D зображення відсканованої поверхні пластини 3 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті)

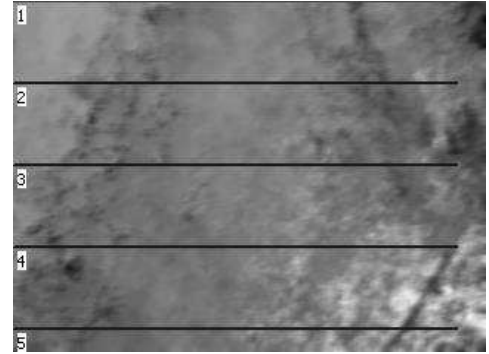


Рис. 10. Зображення відсканованої поверхні пластини 4 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті та реактивом Муракамі)

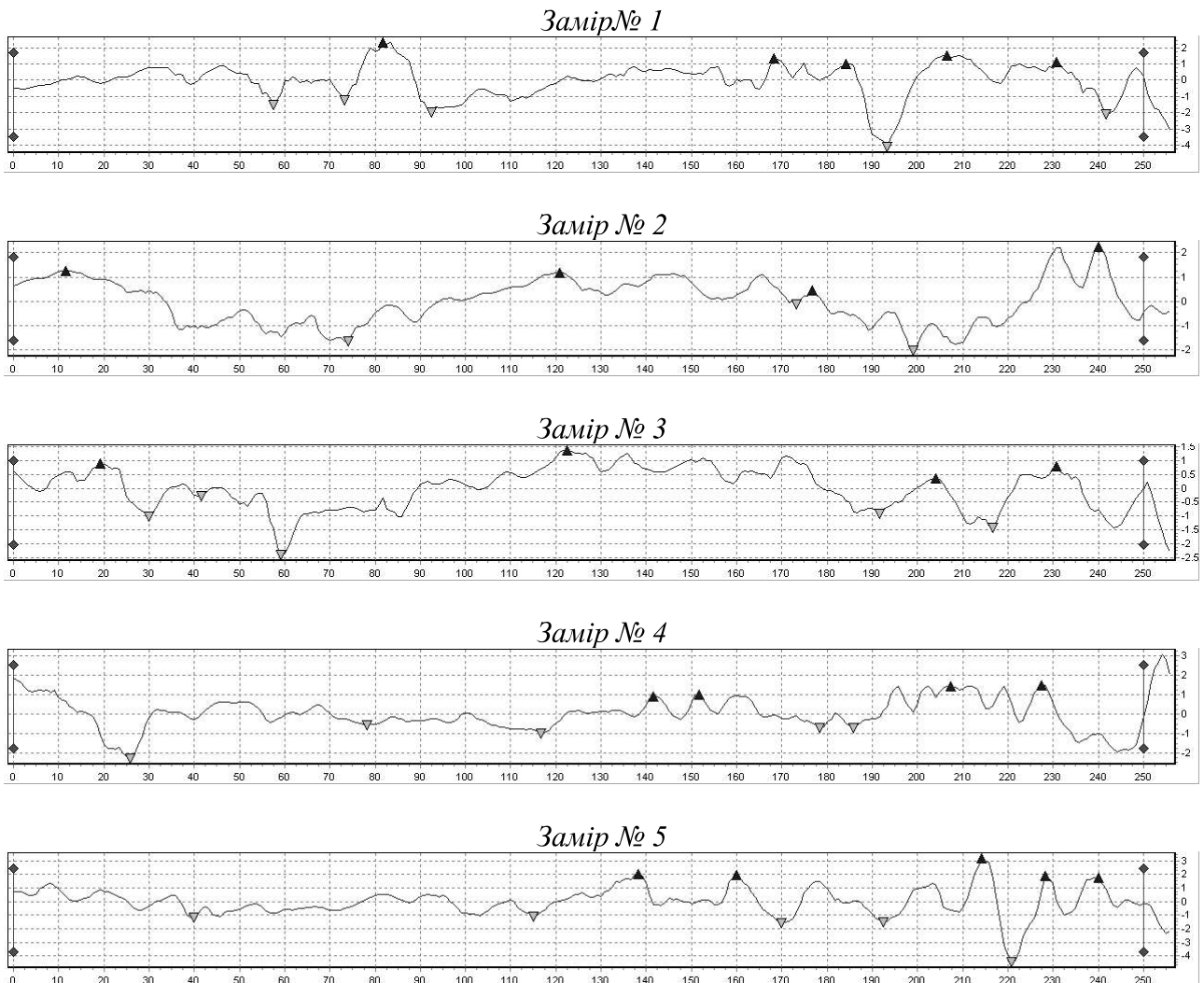


Рис. 11. Профілограми шорсткості поверхні пластини 4 (після обробки розчином хлорного заліза та реактивом Муракамі).

Таблиця 5. Результати вимірювання параметрів шорсткості поверхні пластини 4 (обробка розчином хлорного заліза та реактивом Муракамі)

№ досл.	1	2	3	4	5	Ср.
Rz	3,7	2,6	2,0	2,4	4,1	$3 \pm 0,8$
Ra	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7	$0,7 \pm 0,1$
Rq	1,0	0,9	0,7	0,8	1,0	0,9
Rt	4,1	2,0	2,4	2,3	4,5	3

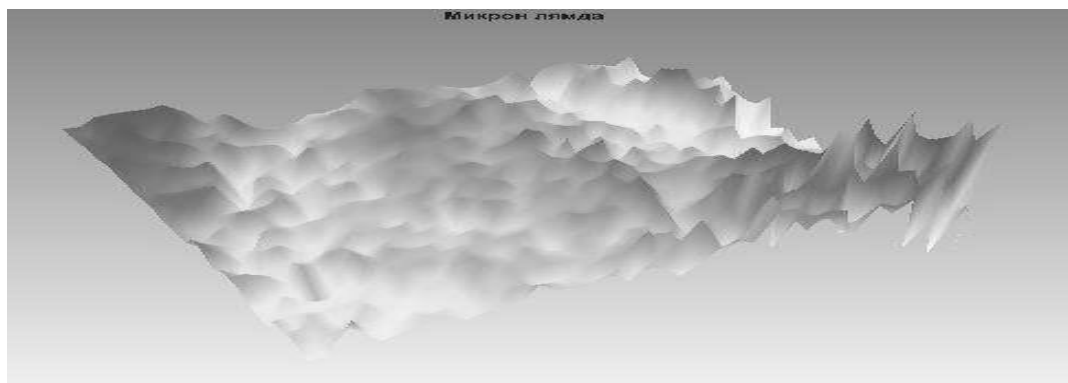


Рис. 12. 3-D зображення відсканованої поверхні пластини 4 після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті.

Узагальнені результати проведених досліджень наведені на рис. 13.

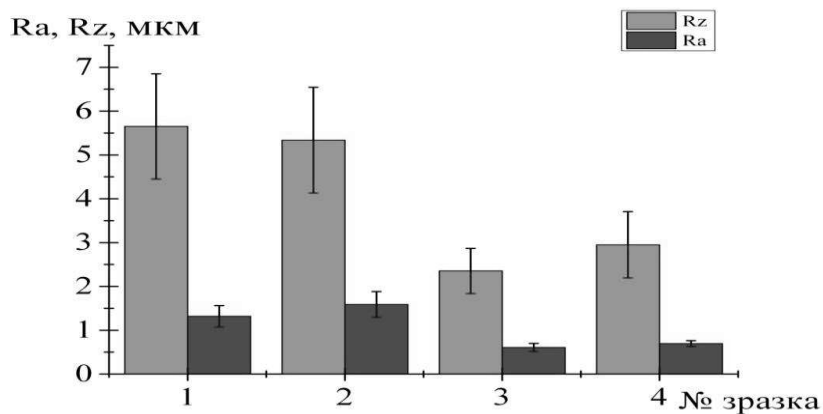
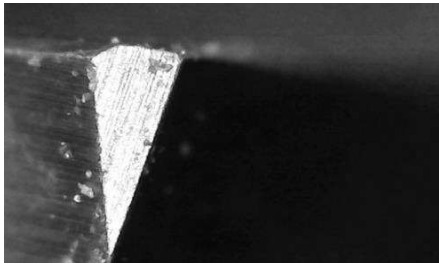
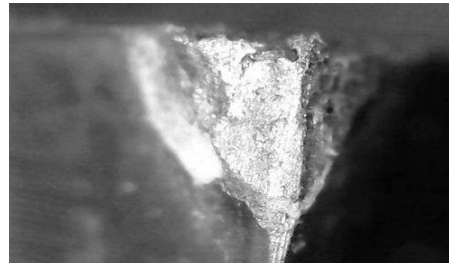


Рис. 13. Параметри шорсткості Ra , Rz пластин (1–4): 1 – вих; 2 – оброблений $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$; 3 – оброблений розчином FeCl_3 у HCl ; 4 – оброблений розчином FeCl_3 у HCl та реактивом Муракамі

Зменшення шорсткості поверхні шліфованих пластин (рис. 14) після пасивації хлорним залізом та розчином Муракамі, ймовірно, може бути пов'язано з витравленням вершин нерівностей поверхні після шліфування, які містять високий рівень залишкових напружень.

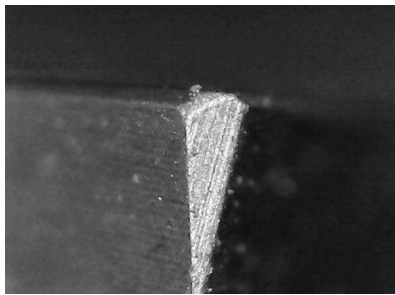


$T=0$ хв; $h_3=0$ мм

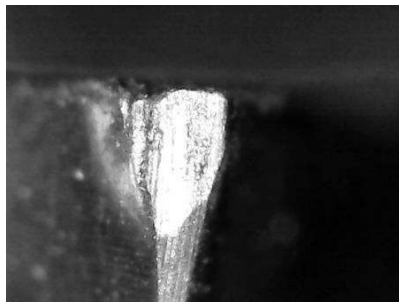


$T=<3$ хв; $h_3=0,8$ мм (руйнування вершини)

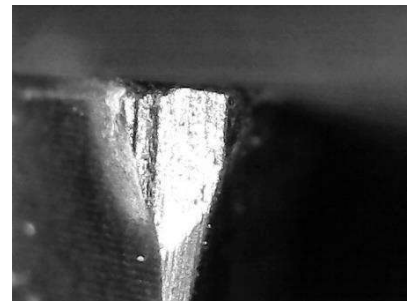
Рис. 14. Знос по задній поверхні ріжучого клина від часу точіння висхідної пластини 1



$T=0$ хв; $h_3=0$ мм

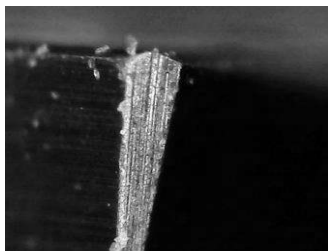


$T=3$ хв; $h_3=0,55$ мм

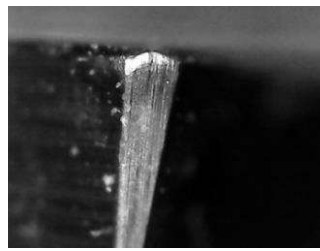


$T=6$ хв; $h_3=0,63$ мм

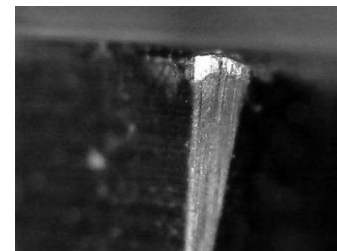
Рис. 15. Знос по задній поверхні ріжучого клина від часу точіння пластини 2 (після обробки розчином $\text{HF}+\text{HNO}_3+\text{H}_3\text{PO}_4$)



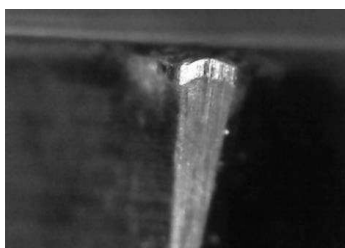
$T=0$ хв; $h_3=0$ мм



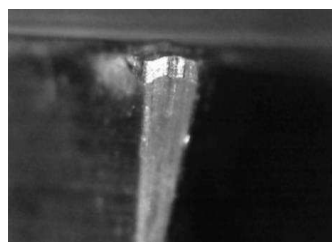
$T=3$ хв; $h_3=0,07$ мм



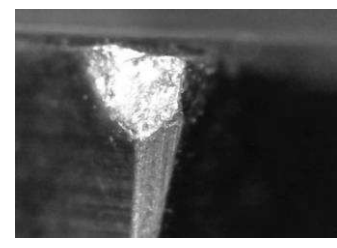
$T=6$ хв; $h_3=0,12$ мм



$T=9$ хв; $h_3=0,13$ мм



$T=12$ хв; $h_3=0,14$ мм



$T=15$ хв; $h_3=0,40$ мм

Рис. 16. Знос по задній поверхні ріжучого клина від часу точіння пластини 3 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті)

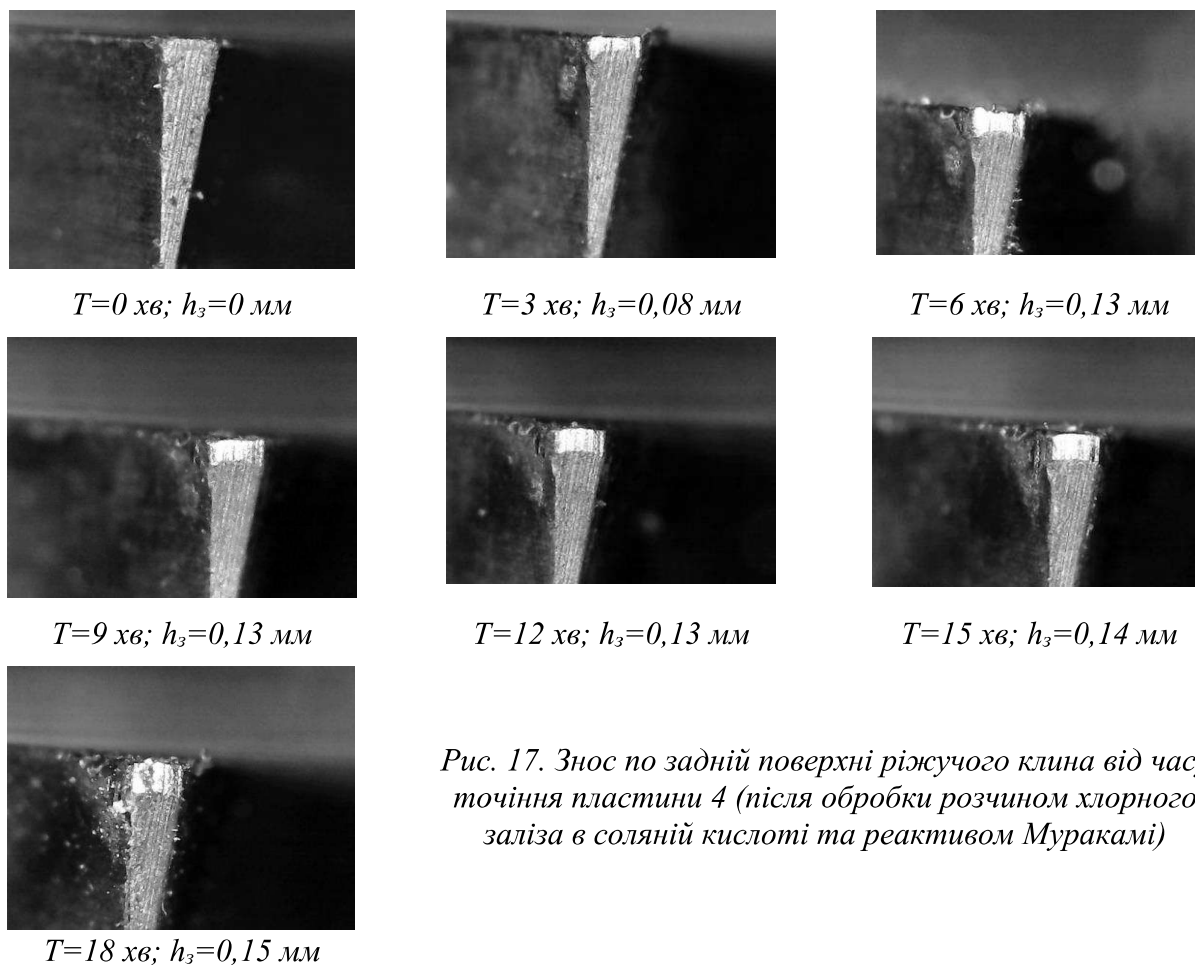


Рис. 17. Знос по задній поверхні ріжучого клина від часу точіння пластини 4 (після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті та реактивом Муракамі)

Пасивація шліфованих ріжучих пластин із сплаву Т5К10 призводить до підвищення зносостійкості при різанні на 40 %. Знос по задній поверхні ріжучого клина від часу точіння пластини 4 після обробки реактивами хлорного заліза та реактивом Муракамі рівномірно поступовий в порівнянні з крихким зносом висхідних пластин та пластин, пасивованих іншими методами (рис. 14–17). Такий характер зносу, можливо, обумовлений розтравлюванням границь WC-WC, що є перепоною розповсюдженню мікротріщин при відколах.

Після випробувань на стійкість ріжучих пластин на електронному мікроскопі зроблено аналіз структури поперечних шліфів їх ріжучого клина (рис. 18).

Для дослідження впливу обробки поверхні твердосплавної пластини зі сплаву Т5К10 розчином $FeCl_3$ у HCl та реактивом Муракамі на хімічний склад поверхневого шару пластини була протравлена лише частина пластини (рис. 19). З рис. 19 випливає, що на травленій поверхні збільшився вміст вуглецю в 1,5 рази, кисню в 4–5 разів, зменшився вміст кобальту в 8 разів і вольфраму в 1,03 рази. Наявність заліза не встановлено. Вміст титану практично не змінився. Збільшення вмісту вуглецю, на наш погляд, обумовлено зменшенням вмісту атомів металів – кобальту та вольфраму. Збільшення вмісту кисню, ймовірно, обумовлено утворенням оксидів, склад яких поки що не встановлено.

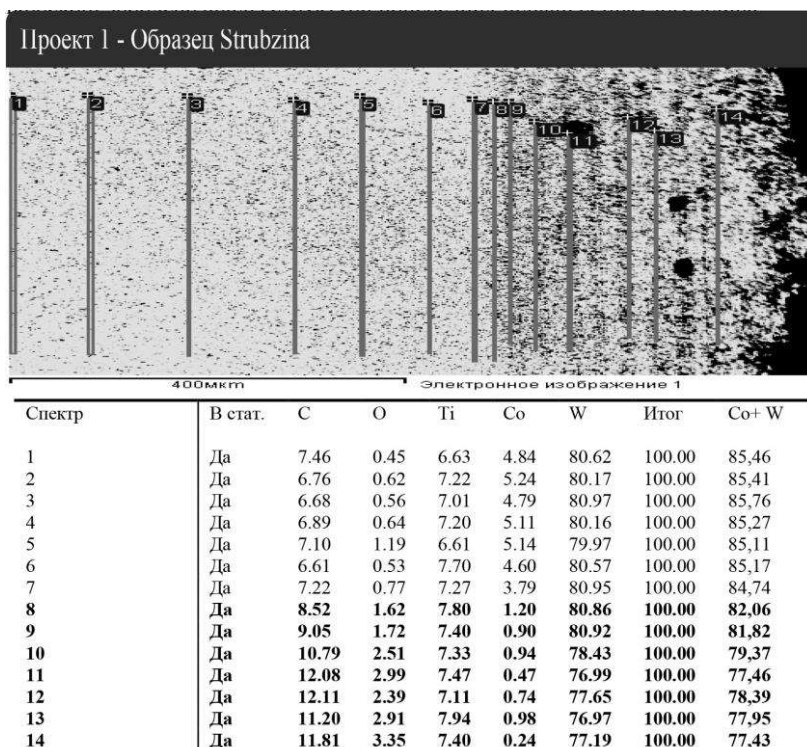


Рис. 18. Структура та розподіл хімічних елементів нетравленої (лінії 1–7) та травленої (лінії 10–14) розчином $FeCl_3$ у HCl та реактивом Мураками ділянок поверхонь шліфа пластини 1 зі сплаву T5K10 (лінії 8, 9 відносяться до перехідної зони і при аналізі результатів не враховуються)

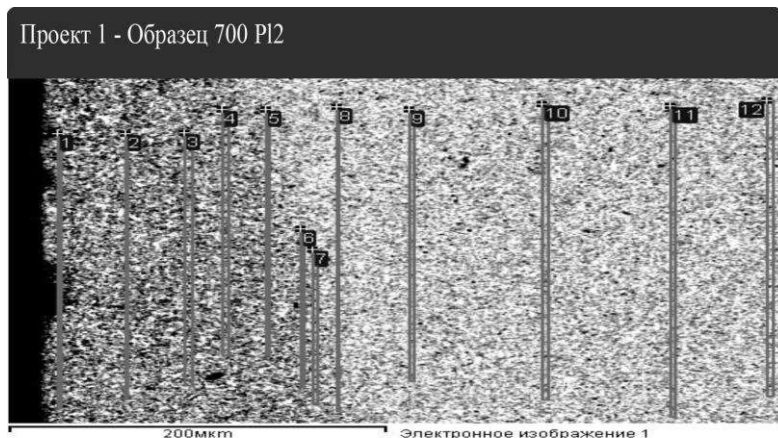


Рис. 19. Структура та розподіл хімічних елементів на травленій (лінії 1–7) та нетравленій (лінії 8–12) поверхнях шліфа різжучого клина пластини 4 зі сплаву T5K10

Спектр	В стат.	C	O	Ti	Co	W	Итого	Co+W
1	Да	10.53	3.03	8.06	0.28	78.09	100.00	78,37
2	Да	9.40	1.99	8.33	0.28	79.99	100.00	80,27
3	Да	9.82	2.09	8.52	0.56	79.00	100.00	79,56
4	Да	9.71	1.54	8.08	0.68	79.99	100.00	80,67
5	Да	8.59	1.89	7.07	0.98	81.48	100.00	82,46
6	Да	8.11	1.24	7.45	0.74	82.45	100.00	83,19
7	Да	8.57	1.13	8.41	0.90	80.99	100.00	81,89
8	Да	7.53	1.19	7.56	2.79	80.93	100.00	83,27
9	Да	6.79	0.38	7.01	3.31	82.51	100.00	85,82
10	Да	6.31	0.46	7.74	3.07	82.42	100.00	85,49
11	Да	7.21	0.76	8.18	3.85	80.00	100.00	83,85
12	Да	7.60	0.81	7.21	3.53	80.85	100.00	83,38
Макс.		10.53	3.03	8.52	3.85	82.51		
Мин.		6.31	0.38	7.01	0.28	78.09		Вар. %

На рис. 20 наведено результати аналогічних досліджень на поверхні пластини 4.

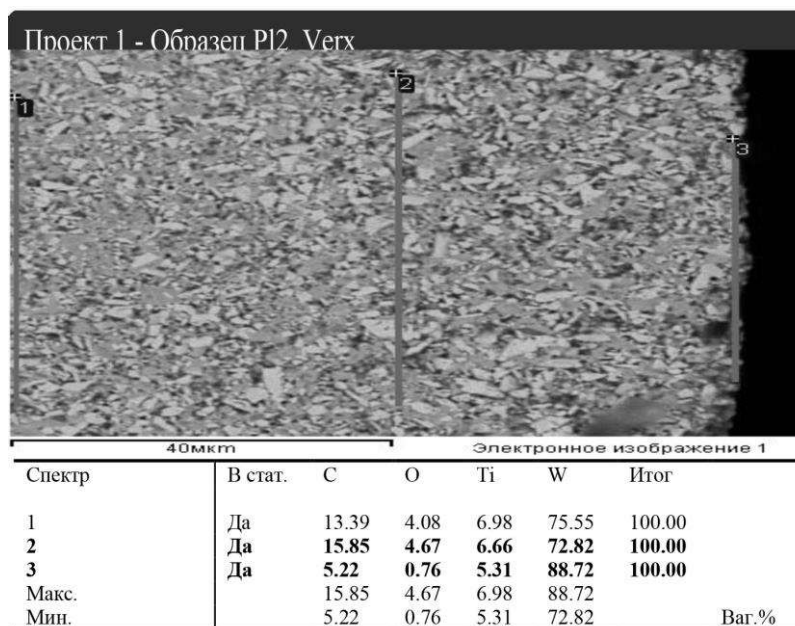


Рис. 20. Структура та розподіл хімічних елементів на травленій (лінії 1–3) поверхні шліфа, близькій до краю пластини зі сплаву T5K10

З рис. 20 видно, що і в даному випадку на травленій поверхні збільшується вміст вуглецю в 1,2–1,5 рази, кисню в 2–5 разів, титану в 1,1–1,2 рази та зменшується вміст кобальту в 5–10 разів і вольфраму в 1,04 рази (лінії 1–7) в порівнянні з нетравленою поверхнею (лінії 8–12). Наведені на рис. 16 та 17 результати свідчать про суттєвий вплив травлення не тільки на шорсткість поверхні, а й на хімічний склад поверхневого шару, що й забезпечує підвищену зносостійкість різців.

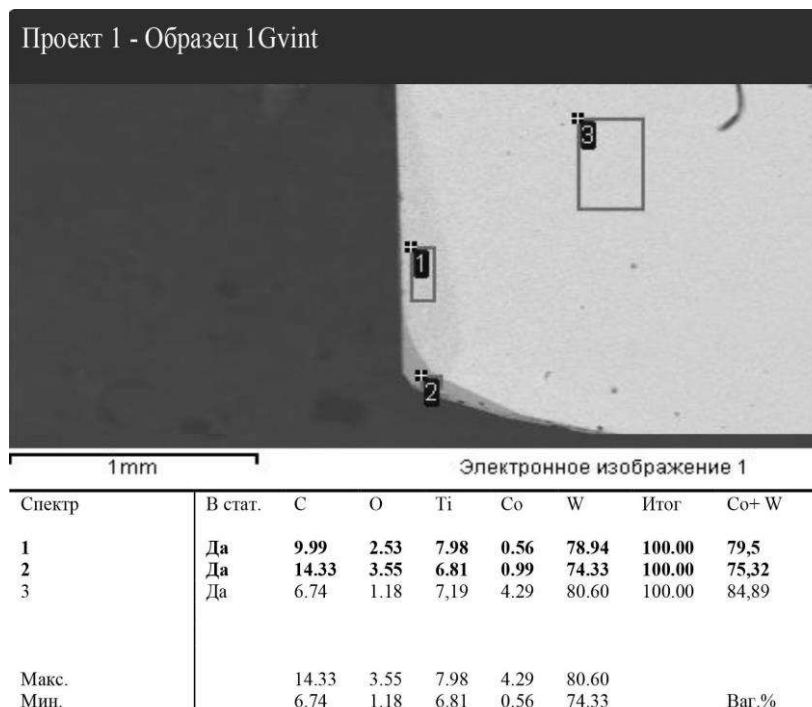


Рис. 21. Структура та розподіл хімічних елементів на травленій (точки 1,2) та нетравленій (точка 3) поверхнях шліфа різучого клина зі сплаву T5K10

З рис. 21 видно, що на травленій поверхні (точки 1,2) збільшується вміст вуглецю в 1,5–2 рази, кисню в 2,5–3 рази, зменшується вміст кобальту в 4–7 разів та вольфраму в 1,05 рази. Отримані результати

свідчать про те, що до появи катастрофічного зносу навіть в місці зносу дія реактивів зберігається і різець ще може працювати. Загалом, з рис. 17–19 випливає, що травлення вказаними реактивами призводить до суттєвої зміни хімічного складу травленої поверхні, що суттєво підвищує зносостійкість різців.

Аналіз отриманих результатів показує, що використання хімічної обробки поверхонь пластин із сплавів Т5К10 дозволяє підвищити стійкість різальних інструментів в 2 і більше разів. Такий ефект досягається тим, що після хімічної обробки пасивації на поверхні різального інструменту залишається шар карбідного скелета та з'являються оксиди з високими антифрикційними властивостями, що в цілому дозволяє зменшити адгезійну взаємодію поверхні інструменту зі стружкою.

Механізм зношування інструментів, які піддавались пасивації, та стандартних інструментів має схожий характер – інтенсивне абразивне стирання по задній поверхні та утворення лунки зносу по передній поверхні, проте слід відмітити, що при використанні інструменту після пасивації спостерігається зменшення інтенсивності утворення наросту на передній поверхні та викришування ріжучої кромки. Останнє пов'язано із зменшенням коефіцієнта тертя на контактних ділянках інструменту та зменшенням адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом.

Загалом можна відмітити, що механізм зносу хімічно оброблених пластин з твердих сплавів Т5К10 може бути складним і багатогранним та потребує багатьох методів дослідження.

Висновки

1. Хімічна обробка ріжучих пластин з твердих сплавів Т5К10 призводить до підвищення зносостійкості при різанні в 2 і більше разів.

2. Для встановлення основних причин підвищення зносостійкості і найбільш перспективних областей використання ріжучих пластин з хімічною обробкою потрібні додаткові дослідження на інших важкооброблюваних матеріалах (титанові сплави, нержавіючі сталі), де є проблема адгезії та хімічної взаємодії в'язкого твердого оброблюваного матеріалу з поверхнею інструменту.

3. Ефект підвищення зносостійкості твердосплавних виробів хімічною пасивацією поверхні може бути підвищеним за рахунок оптимізації режимів хімічної обробки та підбору марок твердих сплавів, форми ріжучих пластин, оброблюваних матеріалів, виробів, виробництв, де він буде максимальним.

4. Знос по задній поверхні ріжучого клина від часу точіння пластини 4 після обробки розчином хлорного заліза в соляній кислоті HCl та реактивом Мураками рівномірно поступовий в порівнянні з крихким зносом висхідних пластин.

Автор висловлює подяку чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Бондаренко В.П. за сприяння в роботі та цінні поради, с.н.с., к.т.н. Клименко С.А. за визначення параметрів шорсткості поверхні та зносостійкості ріжучих пластин.

V.P. Botvinko

V. N. Bakul Institut for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF HARD ALLOY CUTTING TOOLS BY CHEMICAL TREATMENT

A method for increasing the wear resistance of ground cutting plates made from hard alloys T5K10 by chemical treatment (passivation) has been developed in order to create a solid surface layer of WC, (Ti,W)C carbides, which is firmly connected to the tool base, with a high-precision level of discreteness. During the chemical treatment, cobalt is partially removed from the surface layer of the tool with the formation of salts of refractory metals of cobalt, tungsten and titanium that are firmly adhered to the carbide skeleton of the alloy; these salts can serve as antifriction additives and slow down the process of chip material sticking to the cutting edge and forming the built-up edge. When cutting hardened steel with machined carbide plates, the energy of cutting is dissipated (scattered) by the destruction of many etched boundaries of the WC-WC surface and the formation of microcracks tangential to the surface.

Key words: *hard alloys, cutting plates, chemical treatment, carbide skeleton.*

Література

1. Третьяков В.И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
2. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Руда и металлы, 2005. – 413 с.
3. Киффер Р., Шварцкопф П. Твердые сплавы. – М.: Металлургиздат, 1957. – 664 с.
4. Панов В.С., Чувилін А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.
5. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
6. Семенов А.П. Схватывание металлов. – М.: Машгиз, 1958. – 280 с.
7. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970, – 395с.
8. Крагельский И.В. Трение и износ в машинах. – М.: Машиностроение, 1968. – 592 с.
9. Розенберг А.М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наук. думка, 1990. – 320 с.
10. Розенберг О. А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. – Киев: Наук. думка, 1981. – 288 с.
11. Ляшенко Б.А., Новиков Н.В., Клименко С.А. Дискретное модифицирование поверхностного слоя деталей машин и инструментов. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – 264 с.
12. Клименко С.А., Манохин А.С., Копейкина М.Ю., Клименко С.А., Мельничук Ю.А., Чумак А.А. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой прочности / под. ред. С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.
13. Беккерт М., Клемм Х. Способы металлографического травления. – М.: Металлургия, 1988. – С. 400.
14. Чапорова И.Н., Чернявский К.С. Структура спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1974. – 247 с.

Надійшла 17.08.22

References

1. Tretiakov, V.I. (1976). *Osnovy metallovedeniia i tekhnologii proizvodstva spechennykh tverdyykh splavov* [Fundamentals of metallurgy and technology for the production of sintered hard alloys]. Moscow: Metallurhiia [in Russian].
2. Falkovskii, V.A., & Kliachko, L.Y. (2005). *Tverdye splavy* [Hard alloys]. Moscow: Ruda i metally [in Russian].
3. Kiffer, R., & Shvartskopf, P. (1957). *Tverdye splavy* [Hard alloys]. Moscow: Metallurhizdat [in Russian].
4. Panov, V.S., Chuvilin A.M., & Falkovskii, V.A. (2004). *Tekhnologhiia y svoistva spechennykh tverdyykh splavov i yzdelyi iz nikh* [Technology and properties of sintered hard alloys and products from them]. Moscow: MISIS [in Russian].
5. Loladze, T.N. (1982). *Prochnost i iznosostoikost rezhushcheho instrumenta* [Strength and wear resistance of the cutting tool]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
6. Semenov, A.P. (1958). *Skhvatyvanye metallov* [Seizure of metals]. – Moscow: Mashhiz [in Russian].
7. Kostetskii, B.I. (1970). *Trenie, smazka i iznos v mashinakh* [Friction, lubrication and wear in machines]. Kiev: Tekhnika [in Russian].
8. Krahelskii, I.V. (1968). *Trenie i iznos v mashinakh* [Friction and wear in machines]. – M.: Mashinostroenie [in Russian].
9. Rozenberh, A.M., & Rozenberh, O. A. (1990). *Mekhanika plasticheskoho deformatsii v protsesakh rezaniia i deformatsii protiahivaniia* [Mechanics of plastic deformation in the processes of cutting and deforming broaching]. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
10. Rozenberh, O. A. (1981). *Mekhanika vzaimodeistviia instrumenta s izdeliemy pri deformatsii protiahivaniia* [Mechanics of interaction of a tool with a product during deforming broaching]. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
11. Liashenko, B.A., Novikov, N.V., & Klimenko, S.A. (2017). *Diskretnoe modifitsirovanie poverkhnostnogo sloia detalei mashin i instrumentov* [Discrete modification of the surface layer of machine parts and tools]. Kiev: ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
12. Klimenko, S.A., Manokhin, A.S., Kopeikina, M.Yu., et al. (2018). *Vysokoproizvoditelnaia chistovaia lezviinaia obrabotka detalei iz stalei vysokoi prochnosti* [High-performance finishing blade machining of parts made of high-strength steels]. S.A. Klimenko (Ed.). Kiev: ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
13. Bekkert, M., & Klemm K.H. (1988). *Sposoby metallograficheskogo travleniia* [Methods of metallographic etching]. Moscow: Metallurhiia [in Russian].
14. Chaporova, Y.N., & Cherniavskii, K.S. (1974). *Struktura spechennykh tverdyykh splavov* [Structure of sintered hard alloys]. Moscow: Metallurhiia [in Russian].