

**М. М. Прокопів\*, О. В. Харченко\*\***

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля

НАН України, м. Київ, Україна

\**keramtex@ukr.net*

\*\**injenner214@bigmir.net*

## **Особливості впливу умов спікання дрібнозернистого твердого сплаву WC–10Co на його структуру, фізико-механічні та експлуатаційні характеристики**

*Представлено результати дослідження впливу середовища при спіканні дрібнозернистого твердого сплаву WC–10Co на його структурні характеристики і фізико-механічні властивості, а також експлуатаційну стійкість і механізми зношування різальних пластин з цього сплаву в процесі ударного циклічного точіння деталей зі сталі 40X. Показано, що спікання твердого сплаву в вакуумі, в порівнянні зі спіканням у метано-водневому середовищі, зменшує залишкову мікропористість його структури, підвищує фізико-механічні властивості і експлуатаційну стійкість виготовлених з нього різальних пластин. Виявлено нове явище – формування безперервної стружки в умовах перервного точіння деталей зі сталі 40X та приварювання її до робочої частини різальної пластини з твердого сплаву WC–10Co, спеченого у вакуумі, і відсутність такого явища для сплаву, спеченого в метано-водневому середовищі.*

**Ключові слова:** *спікання, метано-водневе середовище, вакуум, твердий сплав, експлуатаційна стійкість, циклічне точіння, зношування, десорбція газів.*

### **ВСТУП**

На сьогодні дрібнозернистий твердий сплав WC–10Co найефективніше забезпечує лезову обробку нових високосистійких конструкційних матеріалів твердістю до 40 HRC при значних термомеханічних навантаженнях [1, 2].

Глибоке вивчення за останні роки взаємозв'язку технології отримання, структури і фізико-механічних властивостей твердих сплавів з їх експлуатаційними характеристиками дозволило в значній мірі підвищити якість виготовленого з них інструменту. Одним із таких технологічних факторів є тип газового середовища (метано-водневе, вакуум) при спіканні.

Доведено, що більш висока експлуатаційна стійкість при різанні інструментами зі сплавів T15K6 і T14K8, отриманих спіканням у вакуумі, в порівнянні з інструментами зі сплавів, спечених у метано-водневому середовищі, пов'язано з кращими їх структурними характеристиками і механічними властивостями [1].

Але в більшості випадків між структурними і фізико-механічними характеристиками твердих сплавів та різальними властивостями інструментів на їх основі не завжди є кореляція [3]. В [4, 5] показано вплив середовища при

спіканні твердого сплаву WC–8Co на працездатність виготовленого з нього інструменту в різних умовах зварювання тертям з перемішуванням.

На сьогодні не приділяється належної уваги впливу типу газового середовища при спіканні твердих сплавів WC–Co на їх структуру і експлуатаційні властивості та механізм зношування інструменту в різних умовах різання, що суттєво обмежує їх ефективне використання. З огляду на вищенаведене, проведення таких досліджень має наукову і практичну цінність.

Метою роботи є вивчення впливу метано-водневого середовища і вакууму при спіканні дрібнозернистого твердого сплаву WC–10Co на його структуру, властивості та стійкість і механізми зношування інструменту в різних умовах різання.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Заготовки для різальних пластин виготовляли зі стандартної суміші дрібнозернистого твердого сплаву WC–10Co (рис. 1) виробництва 1999 року Кіровоградського заводу твердих сплавів (КЗТС, Росія). Вибір марки сплаву зумовлено тенденцією широкого його застосування для виготовлення метало-різального інструменту для роботи у важких умовах [1].

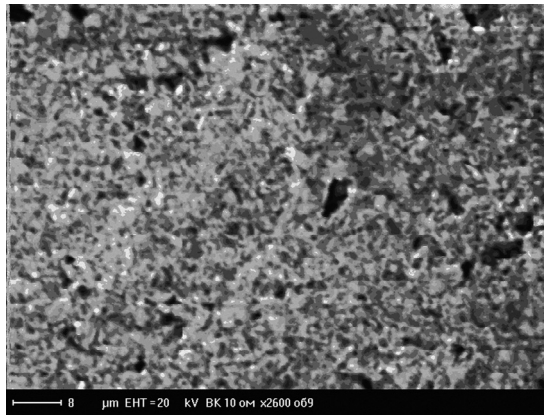


Рис. 1. Характерна структура твердого сплаву WC–10Co.

Спікання сплаву проводили за двома стандартними технологічними режимами: в метано-водневому середовищі [6] і у вакуумі [7, 8]. Перед спіканням вирівнювали вміст вуглецю в об’ємі зразків за технологією, наведеною в [6].

Параметри режимів спікання наступні:

- метано-водневе середовище,  $T = 1390\text{--}1410$  °C, швидкість руху човника для спікання – 5–7 град/хв;
- вакуум,  $T = 1350\text{--}1370$  °C, ізотермічна витримка  $\tau = 30$  хв, швидкість нагрівання в інтервалі 800–1350 °C складала 10–15 град/хв.

Структурні характеристики (ГОСТ 9391–80) і фізико-механічні властивості спечених зразків визначали за стандартними методами.

Мас-спектри газової фази, що змінюється при нагріванні зразка, записували на мас-спектрометрі МХ 7304А фірми “Селмі” (м. Суми, Україна) за співвідношення маси до заряду  $m/z = 10\text{--}60$ , що дає змогу побудувати термодесорбційні криві для кожної речовини окремо [9]. Швидкість нагрівання зразка становила 14 град/хв у температурному інтервалі 40–800 °C.

Конструктивні розміри різальних пластин:

- геометричні розміри – 5×5×15 мм;

- головний  $\phi$  і допоміжний  $\phi_1$  кути в плані склали  $45^\circ$ ;
- радіус заокруглення різальної крайки  $r = 0,4$  мм;
- передній  $\gamma$  та задній  $\alpha$  кути становили  $7^\circ$  і забезпечувались закріпленням різця в різцетримачі токарного верстату 16К20.

На рис. 2 показано заготовку деталі для дослідження процесу різання і державку з різальною пластиною.

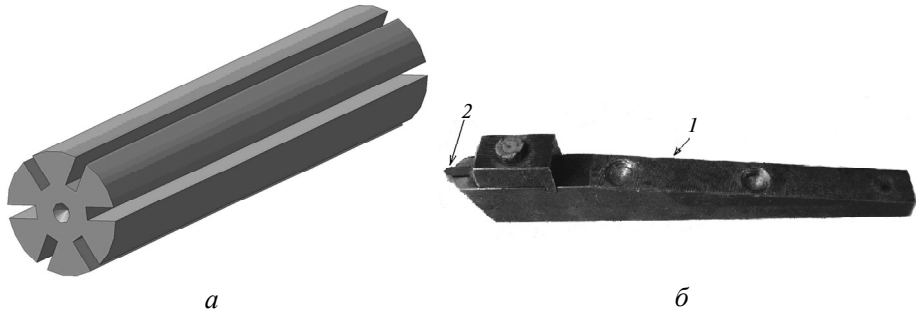


Рис. 2. Заготовка деталі (а) і державка (1) з пластиною (2) в зборі (б) для дослідження зношування та стійкості до ударних навантажень при точінні.

Для дослідження використовували по шість різальних пластин, виготовлених із твердого сплаву WC–10Co, спеченого за кожним технологічним режимом – в метано-водневому середовищі і вакуумі.

Оброблювали заготовку деталі діаметром 100 мм і довжиною 450 мм зі сталі 40Х (ГОСТ 4543–71, НВ 233) з шістьма рівномірно розміщеними по діаметру поздовжніми пазами шириною 10 мм. Така конструкція деталі забезпечувала ударні циклічні навантаження в процесі різання.

Параметри процесу різання: швидкість різання  $v = 110\text{--}115$  м/хв; подача  $S = 0,11$  мм/об; глибина різання  $t = 0,2, 0,5, 1,0, 2,0$  мм.

Швидкість різання вибирали за межею максимального (90 м/хв) її значення, коли не утворюється нарід стружки на передній поверхні різця [10]. В процесі дослідження фіксували силу різання  $P_z$ , яка в найбільшій мірі діє на різальну крайку пластини [11]. Стійкість різця визначали за критичним розміром стрічки зносу ( $h_z = 0,5 \pm 0,02$  мм) по задній поверхні його робочої частини, а також у випадку різкої зміни значення сили  $P_z$ . Значення і характер зносу різальної пластини фіксували та досліджували за допомогою інструментального мікроскопу.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Структурні характеристики та фізико-механічні властивості досліджуваних зразків наведено в таблиці, де видно, що зразки, спечені у вакуумі, мають більшу міцність при вигині, тріщиностійкість та твердість, ніж зразки, які спікали в метано-водневому середовищі, але менший розмір залишкових пор.

Отримані результати добре узгоджуються з літературними даними для саме таких технологічних режимів спікання.

На рис. 3 приведено термодесорбційні криві газів, що десорбувалися з різальних пластин, виготовлених із твердого сплаву WC–10Co, спеченого у метано-водневому середовищі (P1) і вакуумі (P2).

Виявлено, що незалежно від середовища спікання десорбуються п'ять груп газів з різним співвідношенням  $m/z$  (маси до заряду): перша –  $m/z = 15, 16, 17$ ; друга –  $m/z = 18, 19$ ; третя –  $m/z = 28, 29$ ; четверта –  $m/z = 40, 41, 42$ ,

43, 44; п'ята –  $m/z = 55, 56, 57, 58$ . Прилад фіксує виділення іонів газів за масою, але не аналізує який це газ. Тому спектр при  $m/z = 16$  може відноситись до іонів:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{O}$ , як одного окремо, так і всіх трьох сумарно. Згідно з [12], перша група газів зі співвідношенням  $m/z = 15-17$  відноситься до аміачних з'єднань, друга ( $m/z = 18, 19$ ) – до гідроксильних, третя ( $m/z = 28, 29$ ) – до алканових, четверта ( $m/z = 40-44$ ) – до алкінових. До групи газів зі співвідношенням  $m/z = 55-58$  належить так багато різних хімічних з'єднань, що виокремити якісь з них неможливо, тому на рис. 2 представлено характерні спектри газів тільки для чотирьох груп.

### Фізико-механічні властивості та структурні характеристики твердого сплаву WC–10Co, спеченого за різними технологічними режимами

Параметр	Значення параметра при спіканні у середовищі	
	метано-водневому	вакуумі
Коерцитивна сила $H_c$ , кА/м	16,4	17,6
Густина $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	14,45	14,46
Твердість $HRa$	89,7	89,8
Границя міцності під час згинання $R_{bm}$ , МПа	1720	1790
Коефіцієнт тріщиностійкості $K_{Ic}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	11,6	11,9
Середній розмір зерна $d_{WC}$ , мкм	1,39	1,28
Розмір окремих великих зерен WC, мкм	12–15	10–20
Об'ємна пористість, %	Д1 0,2	В2 0,2
Кількість пор > 50 мкм	2×51, 1×78	1×50, 1×55
Кількість вільного вуглецю, %	0,1	–

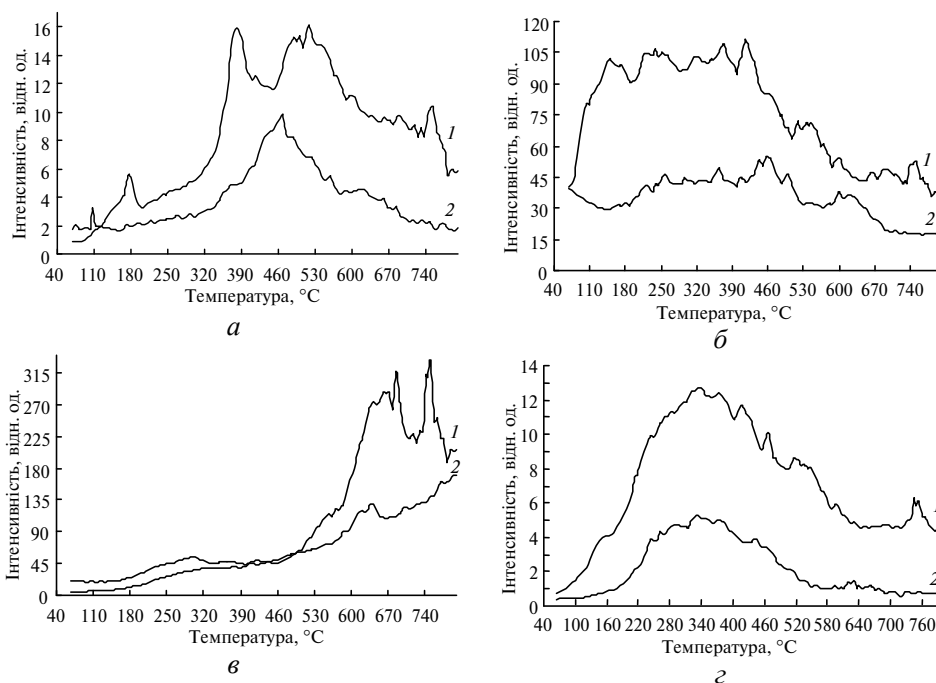


Рис. 3. Інтенсивність термодесорбційних спектрів газів, що виділяються з об'єму різальних пластин P1 (1) і P2 (2);  $m/z = 16$  (а), 18 (б), 28 (в), 44 (з).

Аналіз кривих показує, що після спікання у вакуумі інтенсивність десорбції газів зменшується в 0,5–3,0 рази в порівнянні з інтенсивністю десорбції цих же газів після спікання у метано-водневому середовищі (див. рис. 2).

На рис. 4 представлено залежність розміру  $h_3$  стрічки зносу по задній поверхні різця і сили різання  $P_z$  від часу  $\tau$  різання для різної глибини  $t$  різання.

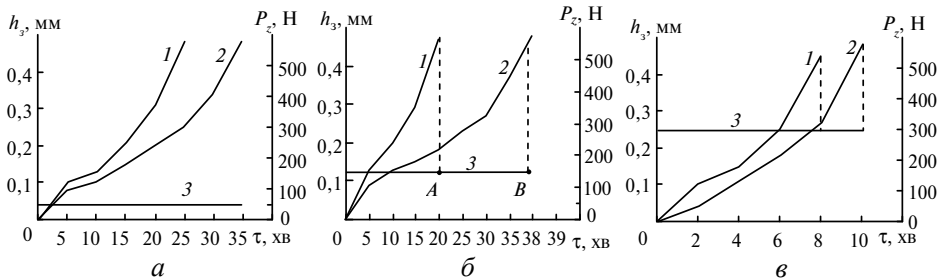


Рис. 4. Залежність розміру  $h_3$  стрічки зносу різальних пластин P1 (1) і P2 (2) і сили різання  $P_z$  (3) від часу  $\tau$  різання для глибини різання  $t = 0,2$  (а),  $0,5$  (б),  $1,0$  (в) мм; А і В – точки різкого зниження сили різання пластин P1 і P2 відповідно.

На рис. 5 наведено діаграму стійкість–глибина різання для різальних пластин P1 і P2, на рис. 6 – зображення робочих поверхонь різальних пластин для різної глибини різання.

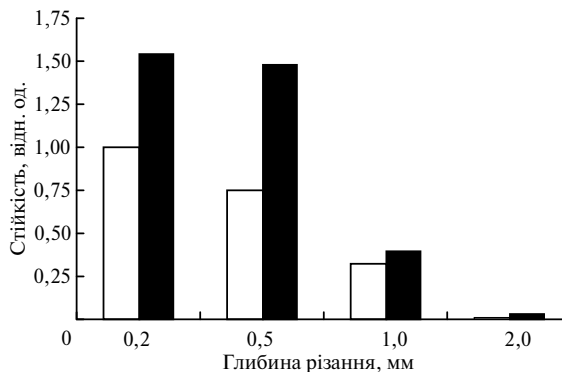


Рис. 5. Діаграма стійкість–глибина різання для різальних пластин P1 (□) і P2 (■); стійкість різальної пластини P1 при глибині різання  $0,2$  мм прийнято за одиницю.

### Аналіз залежності характеристики процесу різання пластинами P1 і P2 від глибини різання

*Глибина різання – 0,2 мм*

Різальні пластини P1 і P2:

– закономірно формується перервний тип стружки, довжина якої з урахуванням її усадки відповідає довжині дуги оброблюваної поверхні деталі між пазами;

– сила різання  $P_z = 50$  Н не змінюється при збільшенні  $h_3$  до  $0,5$  мм (див. рис. 6, а, б), після чого різко зменшується;

– зношування робочої частини різальної пластини відбувається переважно за абразивним механізмом по задній поверхні з утворенням стрічки зносу хвиляподібного вигляду (див. рис. 6, а, б) і, в незначній мірі, за адгезійним

механізмом з утворенням лунки зносу глибиною 0,05 мкм на передній поверхні (див. рис. 6, в, з).

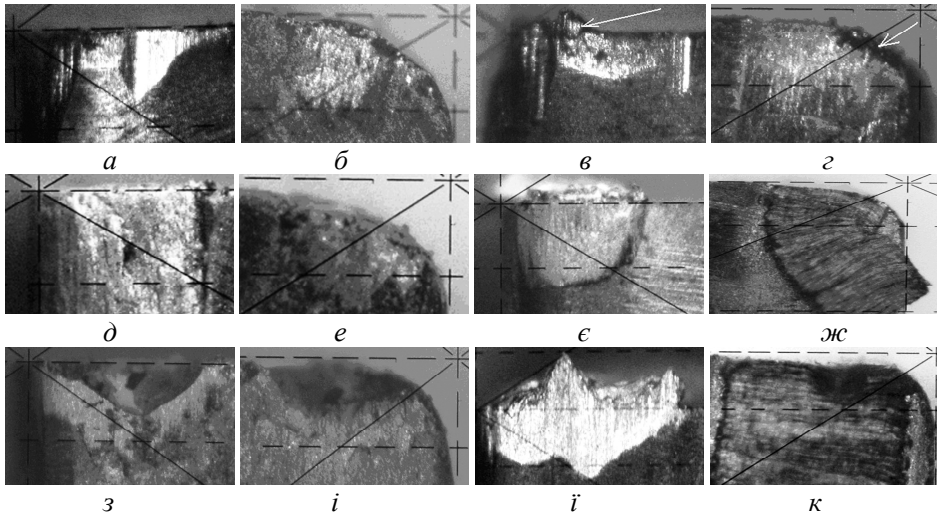


Рис. 6. Характер зношування різальних пластин P1 (а, б, д, е, з, і) і P2 (в, з, є, ж, і, к) при глибині різання 0,2 (а-д), 0,5 (д-ж), 1,0 (з-к) мм.

Відмінності процесу різання пластинами P1 і P2:

- налипання стружки на робочу частину різальної пластини P1 відсутнє (див. рис. 6, а, б), а на робочій частині різальної пластини P2 виявлено невеликі частинки стружки (див. рис. 6, в, з, показано стрілками);
- стійкість різальної пластини P1 в 1,54 рази перевищує стійкість пластини P2.

*Глибина різання – 0,5 мм*

Різальна пластина P1:

- тип стружки (перервний) і механізм зношування (абразивний, адгезійний) робочої частини пластини (див. рис. 6, д, е) такі ж, як і для глибини різання 0,2 мм;
- сила різання  $P_z = 150$  Н не змінюється до  $h_3 = 0,45$  мм ( $\tau = 19$  хв), після чого різко зменшується (див. рис. 4, б, точка А).

Різальна пластина P2:

- до  $\tau = 3$  хв формується характерна перервна стружка і відсутнє налипання її на передню поверхню робочої частини (як і для пластини P1);
- після  $\tau = 3$  хв неочікувано почала формуватися стружка безперервного типу, довжина якої в 30–50 разів більша за довжину стружки, яка формувалась до  $\tau = 3$  хв (рис. 7);
- після 5 хв різання (запланована зупинка для заміру  $h_3$ ) на передній поверхні пластини по ходу сходження стружки виявлено її частину, довжиною 1–2 мм (див. рис. 6, є, ж), яка не піддавалася зняттю;
- процес різання між наступними періодами (по 5 хв) відбувався з привареною на попередній стадії до передньої поверхні пластини частиною стружки і також супроводжувався формування безперервної стружки, довжина якої в 30–50 разів перевищувала довжину стружки, що формувалась у першому періоді різання (до  $\tau = 3$  хв);

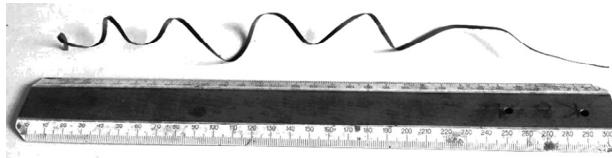


Рис. 7. Частина стружки безперервного типу.

– зміна формування типу стружки та приварювання її до передньої поверхні пластини P2 не змінило шорсткості оброблюваної поверхні і значення сили різання;

– після  $\tau = 37$  хв процес різання було зупинено через різке зменшення сили  $P_z$ , при цьому розмір стрічки зносу становив  $h_3 = 0,47$  мм (див. рис. 4, б, точка B);

– дослідженнями на мікроскопі зі збільшенням  $\times 50$  безперервної стружки не виявлено місць зварювання між частинами стружки, які б мали дорівнювати довжині стружки між пазами деталі;

– втрата працездатності пластини P2 відбувалася в результаті абразивного зносу по задній поверхні з утворенням стрічки зносу;

– стійкість пластини P2 в 1,85 разів перевищувала стійкість пластини P1 (див. рис. 4);

– після закінчення процесу різання на передній поверхні пластини P2 залишалася частина стружки довжиною 1–2 мм, яку зняли тільки зі значним механічним зусиллям;

– зняття привареної частини стружки супроводжується відривом різного розміру і форми частин передньої (рис. 8, а, в) і задньої (рис. 8, б, г) різальних поверхонь пластини.

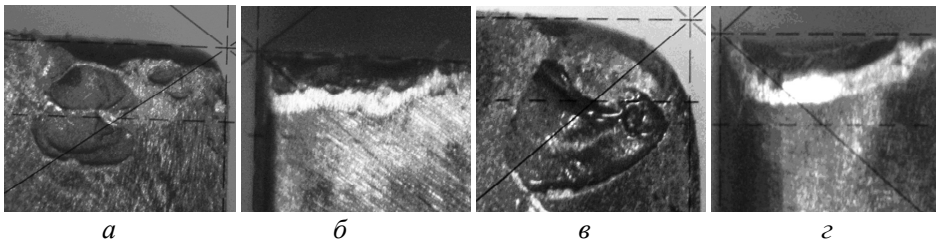


Рис. 8. Характерний вид передньої (а, в) і задньої (б, г) поверхонь робочої частини різальної пластини P2 після зняття привареної стружки; глибина різання – 0,5 (а, б) і 1,0 (в, г) мм.

#### Глибина різання – 1 мм

Різальні пластини P1 і P2:

– формується стружка однакового перервного виду довжиною, що відповідає довжині дуги між пазами деталі;

– значення сили різання для обох пластин збільшилась до 300 Н і не змінювалась до досягнення критичного розміру  $h_3 = 0,45$  мм за  $\tau = 8$  хв для пластини P1 і  $h_3 = 0,48$  мм за  $\tau = 10$  хв різання для пластини P2.

Різальна пластина P1:

– наросту приварювання стружки на поверхні пластини P1 не виявлено;

– втрата працездатності пластини P1 відбулася в результаті макроруйнування різальної крайки розміром 0,20–0,25 мм (див. рис. 6, з, і).

Різальна пластина P2:

– для пластини P2, починаючи з  $\tau = 4$  хв, як і в процесі різання при глибині 0,5 мм, почався процес приварювання стружки до її робочої частини (див. рис. 6, і, к);

– до 6 хв різання зношування робочої частини відбувалося в результаті абразивного і адгезійного механізмів зношування, а в подальшому (до 10 хв) супроводжувалося і мікросколами;

– зняття привареної частини стружки, як і для глибини різання 0,5 мм, супроводжувалося відривом частини передньої (див. рис. 8, а, в) і задньої (див. рис. 8, б, г) поверхонь робочої частини пластини.

*Глибина різання – 2 мм*

Різальні пластини P1 і P2:

– сила різання на початковій стадії процесу точіння для обох пластин становила 550 Н;

– втрата працездатності відбулась в результаті макроруйнування в процесі точіння після  $\tau = 20$  с для пластини P1 (рис. 9, а, б) і після  $\tau = 60$  с для пластини P2 (рис. 9, в, г);

– для пластин P2 в місці злому робочої пластини виявлено утворення наросту стружки (див. рис. 9, в, г);

– оскільки процес різання триває менше 60 с, то на рис. 4 не показано залежність зносу пластин від часу різання.

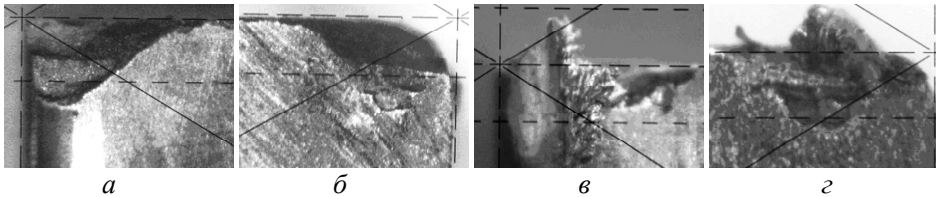


Рис. 9. Характер зношування різальних пластин P1 (а, б) і P2 (в, г) при глибині різання 2 мм.

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати проведених досліджень показали, що процес різання в циклічних умовах для різальних пластин P1 при глибинах різання 0,2, 1,0 мм і пластин P2 при глибині різання 0,2 мм відбувається згідно теорії різання [9] з утворенням перервної стружки без формування наросту на її робочій поверхні. Більша експлуатаційна стійкість та механізми зношування різальних пластин P2, ніж пластин P1, добре корелюють з їх структурними характеристиками і фізико-механічними властивостями (див. таблицю), а також із меншою присутністю залишкових газів в їх структурі.

Натомість зміну формування перервного типу стружки без слідів утворення наросту на безперервний тип стружки та її приварювання на довжині 2–3 мм до передньої поверхні різальної пластини P2 (з матеріалу після його вакуумного спікання) в умовах циклічного точіння деталі зі сталі 40X з поздовжніми пазами шириною 10 мм неможливо пояснити сучасною теорією різання, а тому можна вважати це новим явищем, що потребує проведення подальших досліджень.

Наявність приварювання стружки на передню поверхню різальної пластини P2 і відсутність її приварювання до пластини P1 вказує на те, що середовище при спіканні вихідного матеріалу WC–10Co по-різному впливає на характер взаємодії різальної пластини і деталі зі сталі 40X у вищенаведених умовах точіння.

## ВИСНОВКИ

Середовище спікання твердого сплаву WC–10Co впливає на структурні характеристики, фізико-механічні властивості, а також експлуатаційну стій-



кість, механізми зношування різальних пластин з цього сплаву в процесі перервного точіння деталей зі сталі 40X (при швидкості 110–115 м/хв і глибині різання 0,2, 0,5, 1, 2 мм). При спіканні матеріалу різальних пластин у вакуумі у порівнянні зі спіканням у метано-водневому середовищі:

- зменшуються залишкові мікропори;
- зменшується вміст абсорбованих газів в структурі;
- підвищуються твердість, механічна міцність і тріщиностійкість;
- підвищується експлуатаційна стійкість пластин при глибині різання 0,2, 0,5, 1, 2 мм за рахунок зменшення мікро- і макроруйнування різальної крайки, що корелює зі змінами характеристик структури і фізико-механічних властивостей;
- збільшується адгезійна і дифузійна взаємодія з оброблюваним матеріалом і, як наслідок, відбувається приварювання стружки до передньої поверхні пластини при глибині різання 0,5, 1,0 мм і утворюється наріст при глибині різання 2,0 мм.

Виявлено процес формування безперервної стружки та приварювання її до передньої поверхні пластини, спеченої у вакуумі, в процесі перервного циклічного (шість пазів шириною 10 мм) точіння деталей зі сталі 40X і при глибині різання 0,5 мм без зміни сили різання і шорсткості обробленої поверхні, що неможливо пояснити теорією різання.

*Представлены результаты исследования влияния среды при спекании мелкозернистого твердого сплава WC–10Co на его структурные характеристики и физико-механические свойства, а также эксплуатационную стойкость и механизмы изнашивания режущих пластин из этого сплава в процессе ударного циклического точения деталей из стали 40X. Показано, что спекание твердого сплава в вакууме, по сравнению со спеканием в метано-водородной среде, уменьшает остаточную микропористость его структуры, повышает физико-механические свойства и эксплуатационную стойкость изготовленных из него режущих пластин. Обнаружено новое явление – формирование непрерывной стружки в условиях прерывистого точения деталей из стали 40X и приваривание ее к рабочей части режущей пластины из твердого сплава WC–10Co, спеченого в вакууме, и отсутствия такого явления после спекания сплава в метано-водородной среде.*

**Ключевые слова:** спекания, метано-водородная среда, вакуум, твердый сплав, эксплуатационная стойкость, циклическое точения, износ, десорбция газов.

*The results of a study of the influence of the environment during sintering of fine-grained WC–10Co cemented carbide on its structural characteristics and physico-mechanical properties, as well as the operational durability and wear mechanisms of the cutting plates of this alloy in impact cyclic turning process of 40Kh steel parts are presented. It is shown that the sintering of a hard alloy in vacuum as compared with sintering in a methane-hydrogen environment reduces the residual microporosity of its structure, improves the physico-mechanical properties and operational durability of the cutting plates made from it. A new phenomenon was found to be the formation of continuous chip in the conditions of discontinuous turning of 40Kh steel parts and the welding it to a working part of a cutting plate from WC–10Co cemented carbide sintered in vacuum, and the absence of such a phenomenon for an alloy sintered in a methane-hydrogen environment.*

**Keywords:** sintering, methane-hydrogen environment, vacuum, cemented carbide, operational durability, cyclic turning, wear, gas desorption.

1. Панов В.С., Чувилин А.М., Фальковський В.А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. Москва: МИСиС, 2004. 464 с.
2. Gevorikyan E.S., Gutsalenko Yu.G., Prokopiv N.M., Kodash V.Yu. Composition and sintering of cemented carbides with nanoadditives. *Proc. 13th Int. Conf. on Tools ICT2012*. 27–28 March, 2012. P. 215–220.
3. URL: <http://arxipedia.ru/materialy-i-svoystva/instrumentalnye-materialy/predel-prochnosti-tyverdyx-splavov.html>

4. Прокопів М.М., Харченко О.В., Лукаш В.А., Цап І.В. Експлуатаційна стійкість інструменту із дрібнозернистого сплаву WC–8Co після вакуумно-компресійного спікання в різних умовах зварювання тертям з перемішуванням. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: Всеукр. наук.-техн. журн.* 2017. № 3(64). С. 144–148.
5. Прокопів М.М., Харченко О.В., Ущатовський Ю.П. Вплив умов спікання на стійкість інструменту для наплавлення міді тертям з перемішуванням із сплаву групи WC–Co. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН України.* 2015. Вып. 18. С. 494–499.
6. Бондаренко В.П., Павлоцкая Э.Г. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. Киев: Наук. думка, 1995. 204 с.
7. Фальковский В.А., Клячко Л.И. Твердые сплавы. Москва: Изд. Дом “Руда и металлы”, 2000. 405 с.
8. Loed L.V. The kinetic theory of gases. New York: Dover Publications, 1961.
9. Кнорре Д.Г., Крылова Л.Ф., Музыкантов В.С. Физическая химия. Москва: Высш. шк. 1990. 416 с.
10. Башков В.М., Кацев П.Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. Москва: Машиностроение, 1985. 136 с.
11. Андреев А.А., Гаврилов А.Г., Падалко В.Г. Прогрессивные технологические процессы в инструментальном производстве. Москва: Машиностроение, 1981. 214 с.
12. Каталог сокращенных масс-спектров. Новосибирск: Наука, 1981. 188 с.

Надійшла до редакції 14.05.18

Після доопрацювання 21.06.18

Прийнята до опублікування 02.07.18