

УДК 620.178

**Ю. В. Воробей, Р. Г. Редько, О. І. Редько**

Луцький національний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ**

*Досліджено зношування ріжучого інструменту, оснащеного пластинками із твердого сплаву при механічній обробці різних металів і сплавів. Досліджено мікроструктуру твердих сплавів у вихідному стані та після алмазного заточування. Визначено параметри, які впливають на процес зношування. Визначено характеристики зносостійкості інструментального матеріалу при абразивно-адгезійному та дифузійному зношуванні.*

**Ключові слова:** зношування, мікроструктура, зносостійкість, абразивно-адгезійне зношування, дифузійне зношування.  
Таб. 2. Рис. 3. Літ. 7.

**Ю. В. Воробей, Р. Г. Редько, О. И. Редько****ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

*Исследовано износ режущего инструмента, оснащенного пластинками из твердого сплава при механической обработке различных металлов и сплавов. Исследована микроструктура твердых сплавов в исходном состоянии и после алмазной заточки. Определены параметры, которые влияют на процесс изнашивания. Определены характеристики износостойкости инструментального материала при абразивно-адгезионном и диффузионном износе.*

**Ключевые слова:** износ, микроструктура, износостойкость, абразивно-адгезионный износ, диффузный износ.

**Y. Vorobey, R. Redko, O. Redko****RESEARCH WEAR CARBIDE CUTTING TOOLS**

*Studied the wear of the cutting tool equipped with hard metal plates when machining different metals and alloys. Studied the microstructure of carbides in the initial state and after diamond grinding. The parameters that influence the process of deterioration. The characteristics of wear resistance of the tool material by abrasive adhesion and diffusion wear.*

**Keywords:** deterioration, microstructure, wear resistance, abrasive-adhesive wear, diffusion wear.

**Постанова проблеми.** Вивченню тонких процесів зношування ріжучого інструменту при обробці різних металів і сплавів присвячено багато робіт. Однак вплив стану тонкої структури різних фаз інструментального ріжучого матеріалу на процеси зношування в конкретних технологічних умовах досліджено недостатньо. У зв'язку з цим цікаво розглянути в загальному вигляді абразивно-адгезійне зношування [відповідає лівій гілці екстремальної залежності зносу інструмента від швидкості різання  $h = f(v)$ ] і дифузійного зносу (відповідає правій гілці) [1 і 2].

Дослідження проводили на чотирьохгранних непереточуваних пластинах з отвором (SNMM-120408 за ГОСТ 19052-98) із твердих сплавів BK8 і T15K6. Структура зразків по їх передній поверхні вивчали за допомогою рентгеноструктурного і растрового електроскопічного аналізу: останній проводили на мікроскопі JSM-35C форми JEOL (Японія).

Зразками служили пластини в стані поставки, після додаткового алмазного заточування по передній поверхні на ширину  $3 \pm 0,1$  мм по всьому периметру і після точіння заготовок із сталі 40X і титанового сплаву BT4. Умови заточування: круг АЧК 150x10x3АРС 100/80-Б156, 100%; частота обертання круга 3000 об/хв; без охолодження. Умови обробки: верстат мод. 1К62; швидкість різання  $v = 100 \div 150$  м / хв; глибина різання  $t = 2$  мм; подача  $s = 0,26$  мм / об; без охолодження; геометрія різців постійна ( $\gamma = -10^\circ; \alpha = 10^\circ; \varphi = \varphi_1 = 45^\circ; \lambda = 0^\circ$ ). У кожній пластині досліджували різні ріжучі кромки. Ширину заточування по передній поверхні вибирали у відповідності з розмірами первинного рентгенівського пучка. Зразки закріплювали на приставці ГП-13-У4,2 до дифрактометра ДРОН-УМ1 в спеціально виготовленому тримачі, що дозволяє точно центрувати досліджувану ділянку відносно первинного пучка.

Умови різання сталі 40X різцем T15K6 при  $v = 100 \div 150$  м / хв (останнє значення близьке до оптимального) обумовлюють превалююче абразивно-адгезійне зношування. При точінні сплаву BT4 на цих же швидкостях різцями BK8 і T15K6 зношування носить дифузійний характер (зношування різця T15K6 – катастрофічне). Критерієм зношування в кожному випадку є досягнення приблизно середини області нормального зношування. За єдиний критерій субструктурних характеристик карбідної фази (WC і TiC) була прийнята щільність  $\rho$  дислокацій,

яка згідно роботи [3] прямо пропорційна квадрату фізичного розширення  $\beta$  дифракційних ліній. Застосування цього критерію дозволяє використовувати коректну модель дислокаційного зміцнення.

Експеримент проводили на кобальтовому випромінюванні (довжина хвилі 1,79Å) за допомогою дифрактометра ДРОН-УМ1, управління яким здійснювалось за допомогою обчислювального комплексу на базі процесора «Intel Core Duo». Первинний пучок після монохроматизації (досліджували плоский графітовий монохроматор МПП-РД; схема зйомки за Бреггу-Брентано) направлявся на зразок через круглий коліматор Ø0,5мм; ширина щілини перед детектором 0,25мм. Застосування вузького первинного пучка було обумовлено малою площею випромінюючих ділянок (близько  $2 \text{ мм}^2$ ). Крім того, методика визначення  $\beta$  потребує використання вузьких щілин для зменшення впливу геометричного фактора.

**Основні результати дослідження.** При дослідженні фази WC реєстрували наступні рефлекси (hkl): для різців ВК8 – (100) і (101), для різців Т15К6 – (001) і (101); при дослідженні фази TiC (сплав Т15К6) – рефлекси (200) і (220). Рахунок і реєстрацію імпульсів проводили в режимі запису по точках. Інтервал сканування  $2^\circ$ , число сканів три, крок  $0,05^\circ$ ; експозиція 10с. Похибка вимірювання швидкості рахунку імпульсів не перевищувала  $\pm 0,5\%$ . Для визначення величини інструментального розширення дифракційних ліній в незмінних експериментальних умовах проводили зйомку еталонного зразка (матеріал – полікристалічний кремній, розмір зерен не менше 1 мкм); реєстрували рефлекси (110) і (111).

Для визначення параметра  $\beta$  всі експериментальні криві обробляли методом Стокса [4]. Спеціально розроблена програма для процесора «Intel Core Duo» крім зібрання і обробки всіх даних реалізує також функції встановлення та зняття.

В табл. 1 вказані умови проведення дослідів, а в табл. 2 представлено відношення  $\Delta$  до значень  $\beta^2$ , отриманих в різних дослідах [наприклад,  $\Delta_{2/3}$  означає відношення значень  $\beta^2$  в дослідах №2 і 3 (див. табл. 1)]. При обробці результатів експериментів значення  $\beta^2$  усереднили по трьом-чотирьом пластинам.

Таблиця 1. Умови проведення дослідів

| № досліду | Марка твердого сплаву | Стан твердого сплаву | Марка оброблюваного матеріалу | $\nu$ , м/хв |
|-----------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------|
| 1         | ВК8                   | Вихідне              | –                             | –            |
| 2         |                       | Після заточування    | –                             | –            |
| 3         |                       | Після точіння        | 40X                           | 150          |
| 4         |                       | Після точіння        | 40X                           | 100          |
| 5         |                       | Після точіння        | BT4                           | 150          |
| 6         |                       | Після точіння        | BT4                           | 100          |
| 1         | Т15К6                 | Вихідне              | –                             | –            |
| 2         |                       | Після заточування    | –                             | –            |
| 3         |                       | Після точіння        | 40X                           | 150          |
| 4         |                       | Після точіння        | 40X                           | 100          |
| 5         |                       | Після точіння        | BT4                           | 150          |
| 6         |                       | Після точіння        | BT4                           | 100          |

Таблиця 2. Відношення  $\Delta$  до значень  $\beta^2$

| Марка твердого сплаву | (hkl) | $\Delta_{2/3}$ | $\Delta_{2/4}$ | $\Delta_{2/5}$ | $\Delta_{2/6}$ | $\Delta_{3/4}$ | $\Delta_{5/6}$ |
|-----------------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ВК8                   | (100) | 3,68           | 3,11           | 1,98           | 1,89           | 0,85           | 0,95           |
|                       | (101) | 3,27           | 2,96           | 1,74           | 1,73           | 0,91           | 0,99           |
| Т15К6                 | (001) | 1,26           | 1,88           | 0,94           | 1,05           | 1,49           | 1,12           |
|                       | (101) | 1,18           | 1,92           | 0,95           | 1,05           | 1,63           | 1,11           |
|                       | (200) | 1,26           | 1,83           | 0,96           | 1,07           | 1,45           | 1,11           |
|                       | (220) | 1,18           | 1,80           | 0,95           | 0,96           | 1,52           | 1,01           |

Мінімальне значення  $\beta^2$  відповідає вихідній структурі твердого сплаву (рис. 1, а); максимальне значення  $\beta^2$  спостерігається після алмазного заточування. На заточеній поверхні виникають і поширюються в глибину ряди мікротріщин (рис. 1, б), орієнтовані перпендикулярно до слідів, залишених алмазними зернами заточувального круга.

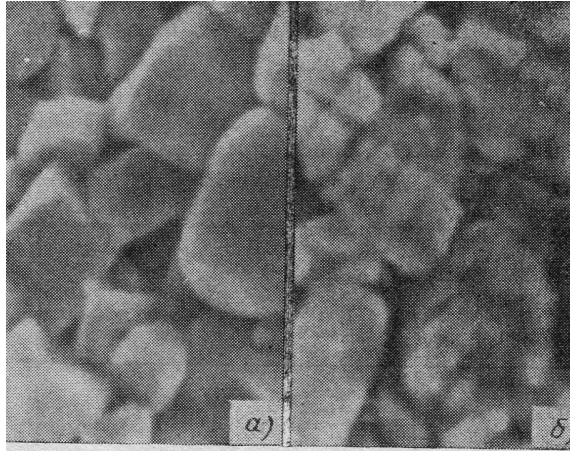


Рис. 1. Мікроструктура сплаву Т15К6 (х10000) у вихідному стані (а) і після алмазного заточування (б)

Експерименти показали, що значення  $\beta^2$  визначається як швидкістю  $v$  різання, так і видом оброблюваного матеріалу. Розглянемо, наприклад,  $\Delta_{3/4}$  (див. табл. 2) відношення  $\beta^2$ , виміряного після різання сталі 40Х при  $v = 150 \text{ м / хв}$ , до  $\beta^2$ , виміряного після різання тієї ж сталі при  $v = 100 \text{ м / хв}$  (див. табл. 1). Для різця ВК8 на рефлексі (100)  $\Delta_{3/4} = 0,85$ , а при рефлексі (101)  $\Delta_{3/4} = 0,91$  (дифузійне зношування); звідси середнє за рефlekсами значення  $\Delta_{3/4cp.} = 0,88$ . Для різця Т15К6, що працює при тих же значеннях  $v$  в умовах абразивно-адгезійного зношування,  $\Delta_{3/4cp.} = 1,52$ . Значення  $\Delta_{3/4}$  можна розглядати як показник приросту  $\rho$  при збільшенні  $v$  на постійну величину.

Порівнюючи значення  $\Delta_{3/4cp.}$  сплавів ВК8 і Т15К6, знаходимо, що при алмазно-адгезійному зношуванні (сплав Т15К6) із збільшенням  $v$  відбувається інтенсивний приріст  $\rho$  на передній поверхні пластини; в умовах же дифузійного зношування (сплав ВК8) із збільшенням  $v$  значення  $\rho$  зменшується. Цей висновок підтверджується також тим, що відносне зниження величини  $\rho$  від рівня, що відповідає заточуванню, до рівня, що сформувався в процесі різання сталі 40Х при  $v = 150 \text{ м / хв}$ , в умовах дифузійного зношування значно більше (для сплаву ВК8  $\Delta_{2/3cp.} = 3,48$ ), чим в умовах абразивно-адгезійного зношування (для сплаву Т15К6  $\Delta_{2/3cp.} = 1,22$ ).

Інтервал  $100 - 150 \text{ м / хв}$  швидкостей різання сплаву ВТ4 різцем ВК8 визначає дифузійне зношування. Згідно запропонованого трактування, значення  $\Delta_{cp.}$ , отриманні для величин  $v$ , що визначають дифузійне зношування при точінні різних матеріалів, повинні бути близькі, що і підтверджується:  $\Delta_{3/4cp.} = 0,88$ ;  $\Delta_{5/6cp.} = 0,97$ . При точінні сплаву ВТ4 різцем Т16К6 утворюються сильні адгезійні зв'язки, що викликають підвищення значення  $\beta^2$ ; зношування при катастрофічне. Ймовірно, це обумовлює значення  $\Delta_{5/6cp.}$ , дещо більше одиниці ( $\Delta_{5/6cp.} = 1,09$ ).

Приймаючи модель дислокаційного зміцнення, можна на основі отриманих даних зробити припущення, що при абразивно-адгезійному зношуванні розвивається процес деформаційного зміцнення при збільшенні  $v$  до  $v_{opt}$ , яким відповідає мінімальне значення зношування  $h$  різця і коефіцієнта  $\mu$  тертя по його передній поверхні [2]. При подальшому збільшенні  $v$  під дією контактної температури  $\theta$ , що підвищується починає переважати дифузійне зношування (при цьому значення  $h$  зростає).

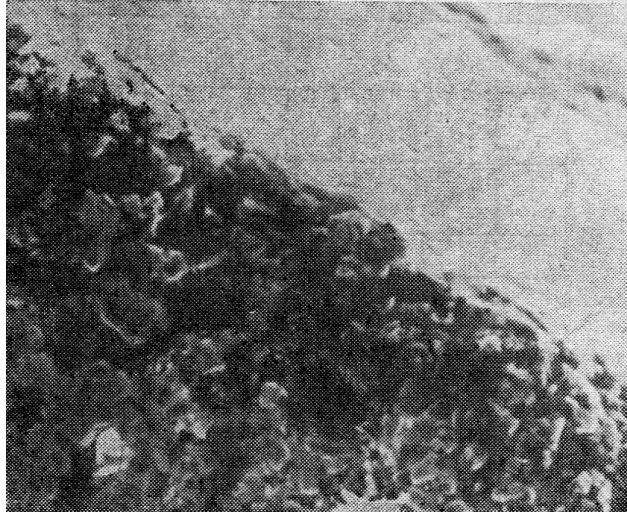


Рис. 2. Ріжуча кромка і передня поверхня різця Т15К6 після точіння сталі 40Х при  $v = 150 \text{ м / хв}$  в умовах абразивно-адгезійного зношування (x1000)

Починаючи з визначеного значення  $\theta$ , протікає процес відносного зниження міцності контактних поверхонь. При температурі, вищій  $\theta_{opt}$  (відповідає  $v_{opt}$ ), швидкість  $u_r$  зниження міцності перевищує швидкість  $u_{y_n}$  деформаційного зміцнення. Вище деяких значень  $\theta$  (при відповідних нормальних тисках) рухливість дислокацій в карбідній фазі на контактних поверхнях різця, ймовірно, зростає. З однієї сторони, при цьому полегшується процес зниження міцності, з іншої – із підвищенням щільності і рухливості лінійних дефектів збільшується коефіцієнт дифузії [5].

Одночасно інтенсивні дифузійні процеси пластифікують тонкий поверхневий шар. В результаті при різанні з високими швидкостями карбідна фаза твердого сплаву зношується пластично. При цьому карбідні зерна згладжені, на них виділені смуги ковзання; поверхня зношування гладка, блискуча. Інша картина спостерігається в умовах адгезійного зношування (рис. 2), коли на поверхні зношування видно багато ділянок з викришеними карбідними зернами.

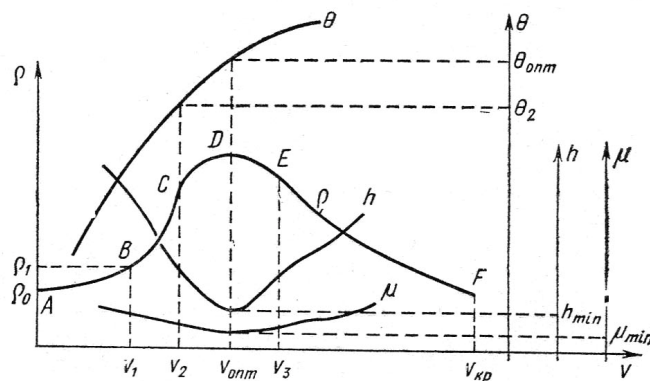
Гіпотетична крива  $\rho = f(v)$ , поєднана з відомими залежностями  $(\theta; h; \mu) = f(v)$ , представлена на рис. 3. На ділянці АВ ( $0 < v < v_1$ ) значення  $\rho = \rho_0$  відповідає щільності дислокацій в карбідній фазі недеформованого твердого сплаву (в стані поставки). При різанні зі швидкостями у вказаному інтервалі температура недостатня для інтенсивного протікання процесу деформаційного зміцнення, і  $\rho$  зростає несуттєво (від  $\rho_0$  до  $\rho_1$ ). В цих умовах зношування викликано в основному крихким мікроруйнуванням і сколюванням. На ділянці ВС ( $v_1 < v < v_2$ ) відбувається інтенсивний приріст  $\rho$  внаслідок зміцнення робочих поверхонь. Зношування носить в основному абразивно-адгезійний характер.

Ділянка CD ( $v_2 < v < v_{opt}$ ) характеризується тим, що при значеннях  $\theta \geq \theta_2$  і нормальних тисках, що відповідають  $v = v_2$ , починається процес зниження міцності контактних поверхонь. Якщо при  $v = v_2$  значення  $u_p = 0$ , то з наближенням  $v$  до  $v_{opt}$  швидкість зниження міцності

зростає, і в точці D спостерігається  $u_p = u_{yn}$ . При значення  $v = v_{onm}$  значення  $\mu$  і  $h$  мінімальні, отже, ймовірно, що найбільша степінь деформаційного зміцнення обумовлює мінімальне значення  $\mu$ . За мірою затуплення різця при  $v = v_{onm}$  значення  $\rho$  в карбідній фазі зменшуються [6].

На ділянці DE ( $v_{onm} < v < v_3$ ) при  $v > v_{onm}$   $u_p > u_{yn}$ . Зношування на ділянках CD і DE має змішаний, адгезійно-дифузійний характер. На ділянці EF ( $v_3 < v < v_{кр}$ ) значення  $u_p$  продовжує рости; зношування має в основному дифузійний характер. При значеннях  $v$ , близьких до критичного  $v_{кр}$ , значення  $\rho$  наближається до  $\rho_0$ , і настає втрата формостійкості ріжучих поверхонь.

Права вітка кривої  $\rho = f(v)$  повинна бути більш пологою, ніж ліва, що пов'язано із законом зміни температури  $\theta = f(v)$  (див. рис. 3), що визначає  $u_p$ . При зміні властивостей інструментального і оброблюваного матеріалів крива  $\rho = f(v)$  звужується чи розтягується у вертикальному і горизонтальному напрямках.



**Рис. 3. Суміщення гіпотетичної залежності  $\rho$  дислокацій в карбідній фазі контактних ділянок різця з відомими залежностями температури  $\theta$ , зношування  $h$  і коефіцієнта  $\mu$  тертя по передній поверхні від швидкості  $v$  різання**

В роботі [1] показано, що характеристиками зносостійкості інструментального матеріалу при абразивно-адгезійному зношуванні є міцність і твердість його контактних поверхонь, температурна залежність міцності і твердості характеризує при інших рівних умовах опору інструментального матеріалу абразивно-адгезійного зношування. Характеристикою ж дифузійного зношування є швидкість взаємного дифузійного розчинення компонентів інструментального і оброблюваного матеріалів, що визначається температурною залежністю коефіцієнта дифузії і граничною розчинністю. Однак, як відмічалось раніше, із збільшенням  $\rho$  коефіцієнт дифузії також зростає. Тому в умовах дифузійного зношування структура з високими значеннями  $\rho$  на контактних поверхнях зношується більш інтенсивно.

Аналогічно і умовах абразивно-адгезійного зношування більш зносостійкими є максимально зміцненні структури (з максимальними значеннями  $\rho$ ). Отже, із аналізу кривої  $\rho = f(v)$  випливає, що поверхневий шар твердосплавних різців в процесі різання приходить в стан, що забезпечує мінімальну інтенсивність зношування при конкретному значенні  $v$  (при конкретних технологічних умовах). При цьому різні методи заточування різців, як формуючі структури з різними значеннями  $\rho$ , по-різному впливають на зношування [7].

#### **Висновки:**

1. На основі комплексної оцінки стану тонкої структури карбідної фази контактних поверхонь різців, оснащених твердим сплавом марок BK8 і T15K6, при варіюванні швидкості різання показано, що в умовах абразивно-адгезійного зношування із збільшенням швидкості

різання аж до оптимальних значень контактна поверхня твердосплавних різців зміцнюється, а в умовах дифузійного зношування знижує міцність.

2. Зміна щільності дислокацій карбідної фази контактних поверхонь в процесі заточування інструмента і наступної експлуатації надає вагомий вплив на процеси зношування.

1. Лолодзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2002. – 320 с.
2. Макаров А. Д. Износ и стойкость режущих инструментов. М.: Машиностроение, 2006. – 264 с.
3. Кривоглаз М. А., Рябошапка К. П. Теория рассеяния рентгеновых лучей кристаллами, содержащими дислокации. Случай хаотически распределенных по кристаллу винтовых и краевых дислокаций. – Физика металлов и металловедение. 2003, т. 15, вып. 1, – С. 18-31.
4. Рыбакова Л. М., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 2002. – 212 с.
5. Крутских В. М., Кудря Н. А., Рудаков Ю. Ф. Гармонический анализ тонкой кристаллической структуры металлов с применением ЭВМ «МИР-1». – В кн.: Твердые сплавы. М.: Металлургия, 2005, вып. 15, – С. 163-171.
6. Свердлова Б. М., Звагольский В. Г., Перепелица Б. А. Влияние физико-механического состояния рабочих поверхностей на износостойкость фасонных резцов из твердого сплава Т15К6. – Резание и инструмент: Респ. межвед. науч.-техн. сб. Харьков: Вища школа, 2008, вып. 19, – С. 117-123.
7. Касьян С. М. Упрочнение качеством поверхности заточенного твердосплавного режущего инструмента. – Промышленность Армении, 2003, №1, – С. 37-39.

Стаття надійшла до редакції 25.06.2014.