

# МІЦНІСТЬ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ РІЗАЛЬНИХ КРОМОК ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

<sup>1</sup>Ю. Родічев, <sup>1</sup>О. Сорока, <sup>2</sup>В.Майборода

<sup>1</sup>Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України

<sup>2</sup>Національний Технічний Університет України «КПІ»

**Abstract.** The influence of wear-resistant *PVD* - coating *TiAlN* and magnetic abrasive machining (MAM) on mechanical behavior of cutting edges of carbide cutting tool under local loading is studied. To obtain continuous characteristics of mechanical behavior such as damageability and fracture resistance under local loading the testing method of next to edge surface of the cutting tip scanning is used.

**Вступ.** Аналіз відмов інструменту при обробці на важких верстатах [1] показує, що поряд з виходом з ладу інструменту внаслідок зносу та суцільного руйнування, значна частина відмов спричиняється крихким руйнуванням різальної кромки твердосплавної пластини, яке проявляється в викришуванні та відколюванні різальних кромок. Це обумовлює, по-перше, необхідність застосування спеціальних методик для визначення параметрів пошкоджуваності та опору руйнуванню, а по-друге, визначення впливу методів модифікації твердого сплаву на ці параметри. Відомі методи оцінки опору крайовому відколюванню крихких матеріалів з використанням алмазних інденторів, а саме інденторів Роквела та Вікерса [2-4]. До них відносяться метод крайового відколювання при індентуванні краю зразка на деякому віддаленні від кромки і метод дряпання з відколюванням [5-6]. В роботі [7] нами визначені недоліки цих методів, серед яких необхідність використання спеціальних зразків, дискретність оцінки внаслідок відсутності суцільного сканування усієї кромки; неможливість реалізації методики в безпосередній близькості до кромки, швидке руйнування алмазного індентора при відколюванні твердого сплаву. Там же зроблено висновок щодо неможливості оцінки механічної поведінки локальних характеристик міцності та пошкоджуваності кромки твердосплавних різальних за традиційними методиками і запропоновано методику оцінки цих параметрів на основі сканування різальної кромки, яке відбувається шляхом прикладання контактного зусилля з тертям при переміщенні навантажувального елемента з циліндричною поверхнею вздовж грані пластини.

Наразі, на практиці, з метою покращення експлуатаційних характеристик застосовуються твердосплавні різальні пластини, поверхня яких модифікована різними методами: захисними покриттями, зокрема *PVD* - покриттями, магнітно-абразивною обробкою (МАО). Вплив цих видів модифікації на характеристики зносостійкості твердосплавних пластин вивчався в багатьох роботах [8-10]. Водночас, вплив *PVD* – покриттів та МАО на опір викришуванню та відколюванню різальних кромок вивчено недостатньо.

**Метою** дослідження є визначення механічної поведінки різальних кромок при локальному навантаженні та оцінка впливу методів модифікації твердого сплаву на параметри пошкоджуваності та опору руйнуванню твердосплавних пластин за методикою безперервного сканування різальних кромок.

**Експериментальні дослідження.** Досліджувались різальні кромки твердосплавних багатогранних неперезагострювальних різальних пластин зі сплаву ВК8 у вихідному стані, після нанесення зносостійкого стовпчастого *PVD* - покриття *TiAlN* завтовшки 5мкм та після магнітно-абразивної обробки (МАО). Сканування різальної кромки із постійною силою здійснювалось при переміщенні навантажувального елемента - індентора, яким слугувала стандартна твердосплавна багатогранна неперезагострювальна пластина із стабільним радіусом закруглення. Для оцінки впливу рівня навантаження на механічну поведінку різальної кромки випробування проводилось при декількох значеннях локального

навантаження. Діпазон навантаження обирався таким чином, щоб відбувалось утворення відколів по задній поверхні пластини. Твірна циліндричної поверхні індентора розташовувалась під кутом  $12^\circ$  відносно передньої поверхні пластини, що досліджувалась. Сканування здійснювалось по передній поверхні. Для реалізації випробувань застосовано розроблений нами пристрій [7]. Випробування у режимі безперервного сканування краю виконується у два етапи. Спочатку за режимом однократного навантаження формується початковий відкол кромки. Потім під тією ж вертикальною силою зразок повільно пересувається на задану довжину силового сканування кромки. Лінійні розміри, площа та щільність утворених відколів характеризують пошкоджуваність та опір локальному навантаженню і можуть слугувати для оцінки механічного стану кромки і фізико-механічних властивостей матеріалу. На довжині сканування  $l$  вимірюються глибина відколів  $h_i$  по задній поверхні, лінійний розмір ділянки відколу вздовж кромки  $b_i$ ,  $N$  – кількість відколів. Визначається максимальна глибина відколу  $h_{max}$ , середня глибина відколу  $h_{mean}$ , сумарна довжина  $b$  ділянки з відколами вздовж довжини сканування  $l$ . Розраховуються площі відколів  $F_i$  та визначається сумарна площа відколів. Як показники локального опору руйнуванню кромки використовуються: відношення навантаження до середніх значень розмірів відколів  $P/h_{mean}$ . Пошкоджуваність характеризується лінійними розмірами  $h_{max}$ ,  $h_{mean}$ ,  $b$ , їх співвідношенням  $h_{max}/h_{mean}$ , площею  $F$  і щільністю відколів  $b/l$ .

**Результати.** Деякі результати аналізу опору руйнуванню та пошкоджуваності різальної кромки пластини зі сплаву ВК8 при різних рівнях навантаження на індентор представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Деякі результати аналізу опору руйнуванню та пошкоджуваності різальної кромки багатогранної неперезагострювальної пластини зі сплаву ВК8

Аналіз середніх величин відколів по задній поверхні тврдосплавної пластини (рис.5)

Параметр	$P = 35,9\text{Н}$			$P = 50,6\text{Н}$			$P = 79,97\text{Н}$		
	Вих. стан	МАО	TiAlN 5мкм	Вих. стан	МАО	TiAlN 5мкм	Вих. стан	МАО	TiAlN 5мкм
$h_{max}$ , мм	0,088	0	0,143	0,132	0,061	0,154	0,23	0,132	0,154
$h_{mean}$ , мм	0,057± 0,014	0	0,087± 0,021	0,0736± 0,013	0,054± 0,011	0,084± 0,024	0,11± 0,018	0,079± 0,027	0,095± 0,026
$P/h_{mean}$ , Н/мм	614		402	679	925	595	729	1005	842
$h_{max}/h_{mean}$	1,54		1,64	1,79	1,13	1,83	2,07	1,66	1,62
$b$ , мм	1,32	0	8,08	5,425	0,572	8,15	9,64	8,095	9,91
$b/l$	0,147 (14,7%)	0	0,897 (89,7%)	0,477 (47,7%)	0,05 (5%)	0,783 (78,3%)	0,860 (86%)	0,710 (71%)	1 (100%)
$F$ , мм <sup>2</sup>	0,062	0	0,681	0,248	0,024	0,577	0,800	0,680	0,828
$F/l$ , мм <sup>2</sup> /мм	0,007	0	0,0687	0,0218	0,0021	0,0554	0,0714	0,0596	0,0836

показав, що геометричний параметр пошкодження ваності кромки

пластини ВК8 у вихідному стані  $h_{mean}$  майже лінійно залежить від навантаження на індентор. МАО знижує величини середніх значень відколів для всіх значень навантажень. При  $P = 35,9\text{Н}$  відколи на кромці після обробки МАО ще не утворилися (зародки майбутніх відколів у вигляді тріщин на передній поверхні не спостерігаються). В області 35,9...50 Н наявність стовбчастого покриття призводить до збільшення відколів, як у порівнянні з

вихідним станом, так, і ще більшою мірою, порівняно із зразком після MAO. Ця відмінність тим більше, чим менше величина навантаження. Для визначення граничного навантаження  $P_{min}$ , при якому відколи не утворюються проведено також декілька додаткових випробувань. Пластини у вихідному стані сканувалися додатково при рівнях навантаження  $P = 25$  Н та  $P = 27$  Н, а пластини після MAO досліджувались при  $P = 41$  Н (рис.1). Навантаження менше  $P_{min}$  створює на поверхні пошкодження за механізмами пластичного зминання і є недостатнім для розвитку тріщини та її виходу на задню поверхню. Тобто, формуються тріщини докритичного розміру, які не ростуть при даній величині навантаження. На графіку  $h_{mean}=f(P)$  – це навантаження відображається точкою на осі абсцис. Графік  $h_{mean}=f(P)$  наближається до асимптоти  $y = [h_{mean}]$ , паралельної осі абсцис і обривається в області  $P_{min}$ . Таким чином, встановлено, що існує мінімальний граничний розмір відколу, менше якого реалізуються механізми розсіяного пшкодження типу докритичних мікротріщин. Для досліджуваної пластини з ВК8 він становить біля 45мкм. Проаналізовано залежність щільності відколів від навантаження. Отримано, що в діапазоні навантажень до 60Н зразки з покриттям характеризуються щільністю відколів, яка до 6 разів перевищує щільність відколів для вихідного зразка, що свідчить про зменшення опору відколюванню кромки з покриттям. MAO зменшує щільність відколів в порівнянні з вихідним зразком у всьому діапазоні навантаження.

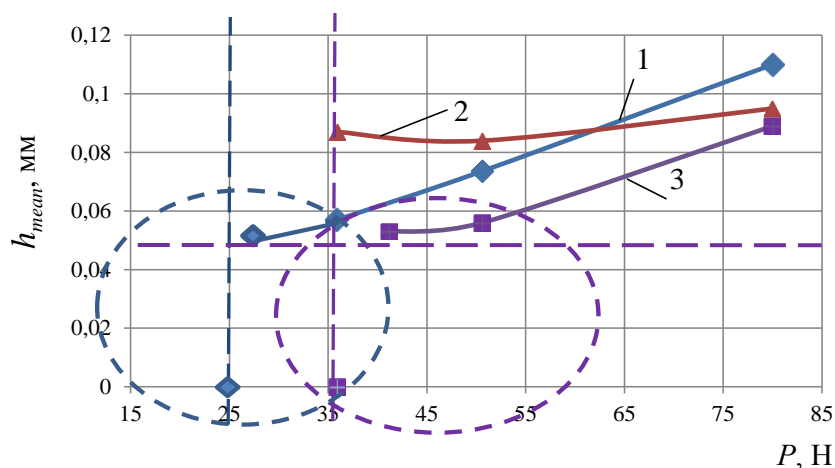


Рисунок 1 Залежність середніх значень відколів від навантаження при скануванні різальної кромки пластини ВК8:1 – початковий стан кромки; 2 – після нанесення стовбчастого покриття  $TiAlN$  товщиною 5мкм; 3 – після MAO

Спостерігається існування деякої величини  $P_{100}$  для процесу мікровідколювання, коли щільність відколів досягає 100%. Це навантаження можна розглядати як границю переходу від мікровідколювання (викришування) до макроруйнування. Діапазон навантажень відносно характеру руйнування різальної кромки схематично зображено на рис.2.

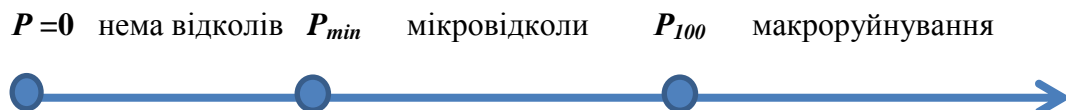


Рисунок 2 Схема діапазону навантажень відносно характеру руйнування різальної кромки

Побудовано залежність силового параметру - відношення навантаження до розмірів середньої величини відколів  $P/h_{mean}$  від величини навантаження  $P$  (Рис.3). Параметр опору руйнуванню  $P/h_{mean}$  є максимальним для пластин після MAO, а в діапазоні навантажень до 60Н,  $P/h_{mean}$  для пластин з покриттям зменшується порівняно з пластинами у вихідному стані із зменшенням навантаження.

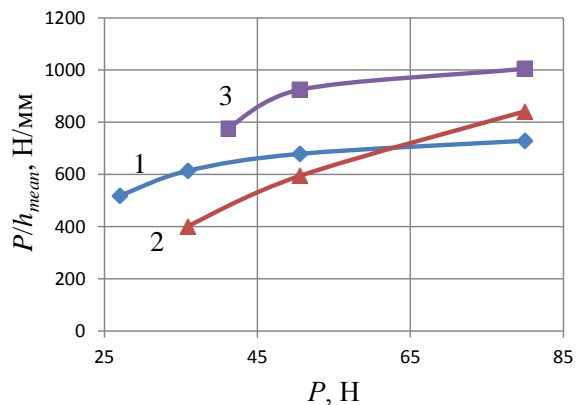


Рисунок 3 Залежність параметра опору руйнуванню різальної кромки пластини ВК8 при її скануванні від навантаження: 1- початковий стан кромки; 2- після нанесення стовпчастого покриття  $TiAlN$  товщиною 5мкм; 3- після MAO

**Висновки.** Огляд різальних кромок твердосплавних пластин після випробувань та аналіз отриманих результатів дозволяють зробити наступні висновки:

1. Методика сканування дозволяє визначити безперервні характеристики опору руйнуванню та пошкоджуваності різальної кромки твердосплавних різальних пластин.

2. Отримано, що модифікація інструментального матеріалу призводить до зміни механічної поведінки кромки при локальному навантаженні.

3. Показано, що нанесення на різальну пластину з ВК8 стовпчастого зносостійкого покриття в діапазоні низьких навантажень (до 60Н) призводить до реалізації механізмів крихкого руйнування, що проявляється в збільшенні величин відколів та їх щільності, зменшенні параметра опору руйнуванню порівняно з пластиною у вихідному стані.

4. Отримано, що в усьому діапазоні навантажень на індентор MAO знижує параметри пошкоджуваності різальної кромки пластини з ВК8 та збільшує опір руйнуванню порівняно з пластиною у вихідному стані.

5. Виявлено існування граничного навантаження на індентор  $P_{min}$ , при якому відколи не утворюються і реалізуються механізми розсіяного пшкодження типу докритичних мікротріщин, та граничного навантаження на індентор  $P_{100}$ , яке є границею переходу від мікрвідколювання (викришування) до макроруйнування.

### Список використаної літератури

1. Клименко Г.П. Основы рациональной эксплуатации режущего инструмента / Клименко Г.П. - Краматорськ: ДГМА, 2006. – 200с.;
2. Chai H. A universal relation for edge chipping from sharp contacts in brittle materials: A simple means of toughness evaluation / H. Chai, R.L. Brian // Acta Materialia. – 2007. – № 55. – P. 2555–2561.;
3. Allmond E. Constant geometry edge flaking of Brittle materials/ E. Allmond, N. McCormick // Journal Hard Materials. –1990. – № 1. – P. 25-51.;
4. Scratch hardness and chipping of dental ceramics under different environments / [Flanders L.A., Quinn J.B., Wilson O.C., et al.] // Dental materials. – 2003. – № 19. – P. 716–724.;
5. Gogotsi G.A. Criteria of ceramics fracture (edge chipping and fracture toughness tests) / G.A. Gogotsi // Ceram. Int. – 2012. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.10.017>.;
6. Гогоци Г.А. Трещиностойкость технического и оптического стекол: скалывание кромок образцов / Г.А. Гогоци // Проблемы прочности. – 2010. – №3. – С.57-65.;
7. Родічев Ю. Пошкоджуваність та опір руйнуванню кромки елементів з крихких та квазікрихких матеріалів / Ю.Родічев // Вісник ТНТУ.– №1. – 2015. – С.70-83.;
8. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.;
9. Мацевитый В. М. Покрyтия для режущих инструментов / В. М. Мацевитый. – Харьков: Вища школа, 1987. – 128 с.;
10. Магнітно-абразивна обробка кінцевого твердосплавного різального інструменту / В. С. Майборода, О. А. Плівак, С. В. Майданюк та ін. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2007. – №1(42), частина 1. – С. 66 – 70.