

## Дискретні покриття на різальному інструменті\*

В. С. Антонюк<sup>а</sup>, О. Б. Сорока<sup>б</sup>, Б. А. Ляшенко<sup>б</sup>, А. В. Рутковський<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Київ, Україна

<sup>б</sup> Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

*Для підвищення ресурсу різального інструменту запропоновано формувати на його поверхні зносостійкі покриття дискретної структури. Із метою забезпечення когезійної міцності покриття за розмір дискретної ділянки беруть крок тріщини покриття. Показано, що в умовах контактного навантаження такі покриття дозволяють запобігти контактному руйнуванню завдяки зменшенню залишкових напружень.*

**Ключові слова:** різальний інструмент, покриття дискретного типу, когезійне розтріскування, залишкові напруження, контактне навантаження.

Постійно зростаючі вимоги до підвищення експлуатаційних характеристик різального інструменту з покриттям, який широко використовується в металообробній промисловості, пов'язані з їх покращанням шляхом пошуку нових сполук, архітектури покриття та вдосконалення методів отримання.

Інструментальний матеріал для високопродуктивної обробки деталей повинен мати такі властивості: твердість і зносостійкість алмазу, хімічну стабільність мінералокераміки і питому в'язкість швидкорізальної сталі. Окрім цього для нього характерні: висока стійкість, теплопровідність і низька чутливість до перепаду температур. Доки такий матеріал ще не створений, найбільш перспективним шляхом підвищення стійкості різального інструменту є застосування зносостійких покриттів [1].

Разом із тим формування на важковантажних робочих поверхнях різального інструменту зміцнюючих суцільних покриттів не забезпечує високі показники його працездатності [2]. Значно підвищити експлуатаційні характеристики робочих поверхонь інструменту можна шляхом формування захисних покриттів дискретного типу [3]. Відсутність рекомендацій для визначення їх параметрів та систематизованих даних щодо впливу модифікованого поверхневого шару на підвищення працездатності різального інструменту зумовлює необхідність проведення досліджень.

Регулювання складу покриття, мікрогеометрії, структури і фізико-механічних властивостей поверхневих шарів дозволяє забезпечити умови оптимізації процесу тертя і мінімізації зношення різального інструменту. Тому метою роботи є вибір таких параметрів дискретної структури покриття, за яких знижується рівень напружень, відповідальних за зносостійкість поверхні тертя.

\* За матеріалами доповіді на міжнародній науково-технічній конференції “Динамика, прочность и ресурс машин и конструкций” (1–4 листопада 2005 г., Київ, Україна).

Руйнування покриття може відбуватися шляхом когезійного розтріскування під впливом нормальних напружень, що виникають внаслідок дії зовнішнього навантаження та нагрівання інструменту, а також залишкових напружень, зумовлених процесом нанесення покриття. У цьому випадку параметри дискретного покриття визначають на основі розрахунку величини критичного кроку тріщини [4, 5]. Максимально припустимий крок тріщини в суцільному покритті буде:

$$C_{\Pi} = -\frac{1}{k} \ln \left( 0,1 + \frac{\sigma_{\Pi}^T + \sigma_{\Pi}^{\text{зал}}}{\varepsilon_{\text{кр}} E_{\Pi}} \left( 1 + \frac{E_{\Pi} h_{\Pi}}{E_o H_o} \right) \right), \quad (1)$$

де  $\sigma_{\Pi}^T$  – напруження в покритті, що виникають під дією температурного градієнта;  $\sigma_{\Pi}^{\text{зал}}$  – залишкові напруження в покритті;  $\varepsilon_{\text{кр}}$  – критична деформація основи, за перевищення якої починається когезійне розтріскування;  $H_o$  – напівтовщина основи;  $h_{\Pi}$  – товщина покриття;  $E_o$ ,  $E_{\Pi}$  – модулі пружності основи і покриття;  $k$  – коефіцієнт, що залежить від модулів пружності основи і покриття,

$$k^2 = 2 \frac{G_o G_{\Pi}}{G_o h_{\Pi} + G_{\Pi} H_o} \left( \frac{1}{E_{\Pi} h_{\Pi}} + \frac{1}{E_o H_o} \right) \quad (2)$$

( $G_{\Pi}$ ,  $G_o$  – модулі зсуву покриття і основи).

Максимальний розмір ділянки дискретного покриття складає:

$$D_{\text{max}} \leq C_{\Pi}. \quad (3)$$

Аналіз виразу (1) дозволяє отримати залежності критичного розміру дискретної ділянки покриття від відношення суми залишкових і температурних напружень до когезійної міцності покриття. На основі цієї залежності для конкретного матеріалу покриття можна отримати таке відношення товщини до розміру дискретної ділянки покриття, що дозволить запобігти когезійному розтріскуванню для заданих умов експлуатації різального інструменту. При цьому збільшення товщини дискретної ділянки покриття можна досягнути за рахунок зменшення залишкових напружень або підвищення когезійної міцності.

Руйнування покриття може відбуватися не тільки внаслідок порушення його когезійної або адгезійної міцності, але й контактної міцності. При цьому наявність залишкових напружень стиску значно підвищує рівень максимального еквівалентного напруження. Тому для зниження еквівалентного напруження в покритті формують його дискретну структуру, для якої залишкові напруження значно менші, аніж в суцільних покриттях. Стан, коли в покритті діють значні напруження стиску, є типовим для покриттів, що отримані методом вакуум-плазмової конденсації [6–8].

Вивчення впливу конструкції покриття на величини залишкових напружень стиску в вакуум-плазмових покриттях на основі нітриду титану показало, що в покриттях дискретної структури порівняно з суцільними покриттями спостерігається їх зниження. Ці напруження зменшуються зі зменшенням розмірів дискретної ділянки (рис. 1).

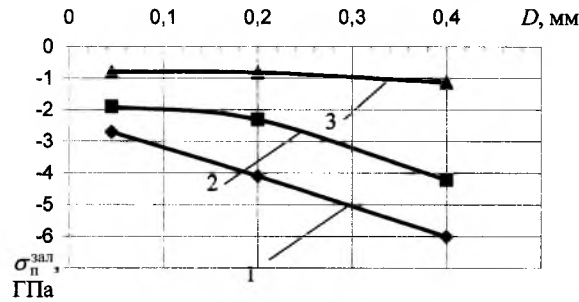


Рис. 1. Залежність залишкових напружень стиску  $\sigma_{\text{п}}^{\text{зал}}$  від розміру ділянки  $D$  дискретних покриттів TiN різної товщини: 1 -  $h = 3$  мкм; 2 -  $h = 5$  мкм; 3 -  $h = 12$  мкм.

Важливим геометричним параметром покриття дискретної структури є його щільність  $\psi$ . Нижню межу щільності можна визначити за умови, що для такого покриття еквівалентне напруження на поверхні контакту від дії зовнішнього навантаження та залишкових напружень повинно бути меншим, аніж допустиме напруження для матеріалу покриття при стисканні:

$$\frac{\sigma_{\text{пекв}} k_1(D, h)}{\psi} \leq [q_{\text{п}}], \quad (4)$$

де  $\sigma_{\text{пекв}}$  – еквівалентні напруження на поверхні суцільного покриття від дії зовнішнього контактного і дотичного навантаження та залишкових напружень;  $[q_{\text{п}}]$  – допустиме напруження при стисканні для матеріалу покриття;  $k_1(D, h)$  – коефіцієнт, що визначає частку, яку становлять залишкові напруження в покритті дискретної структури заданого розміру  $D$  і товщини  $h$  відносно залишкових напружень у суцільному покритті.

Верхню межу щільності покриття визначимо за умови, що в проміжках між ділянками дискретного покриття при дії контактного навантаження спостерігається підвищення напружень в основі при зближенні цих ділянок. Ці напруження повинні бути меншими, аніж допустимі напруження при стисканні для матеріалу основи:

$$\sigma_{\text{оекв}}^K \psi k_2(a) \leq [q_{\text{о}}], \quad (5)$$

де  $\sigma_{\text{оекв}}^K$  – еквівалентні напруження в основі з суцільним покриттям від дії зовнішнього навантаження;  $[q_{\text{о}}]$  – допустиме напруження при стисканні для матеріалу основи;  $k_2(a)$  – коефіцієнт, що показує, наскільки змінюються напруження в основі при зміні кроку  $a$  ділянок дискретного покриття.

За допомогою формул (4), (5) отримуємо співвідношення для щільності покриття дискретного типу:

$$\frac{\sigma_{\text{пекв}} k_1(D, h)}{[q_{\text{п}}]} \leq \psi \leq \frac{[q_0]}{k_2(a) \sigma_{\text{пекв}}^K}. \quad (6)$$

Використання покриттів дискретної структури дозволяє значно знизити рівень напружень у покритті, виключити його когезійне розтріскування та руйнування від дії контактного навантаження.

Проведено також дослідження впливу конструктивних параметрів покриття на працездатність різального інструменту. Для досліджень використовували твердосплавні пластини ВК8 із покриттями TiN суцільного та дискретного типу. Порівняльні дослідження на зносостійкість твердосплавних пластин ВК8 із покриттями проводили при точінні сталі ХВГ (*HRC* 62...64) на токарному верстаті 16К20. Покриття наносили на устаткуванні вакуум-плазмового напилення ННВ-6,6-И1. Товщина покриття становила 8 мкм. Режими обробки вибирали в межах: швидкість різання  $V = 0,83 \dots 2,56$  м/с; подача  $s = 0,1 \dots 0,3$  мм/об; глибина різання  $t = 0,1 \dots 0,25$  мм. За критерій спрацювання вибирали смужку зносу ( $h_3 = 0,4$  мм) по задній поверхні різця.

Як показали експериментальні дослідження, внаслідок значних термосилових навантажень суцільні покриття в процесі різання розтріскуються і відшаровуються від основи (рис. 2,а), в той час як в покриттях дискретної структури відшаровування від основи практично відсутнє (рис. 2,б).

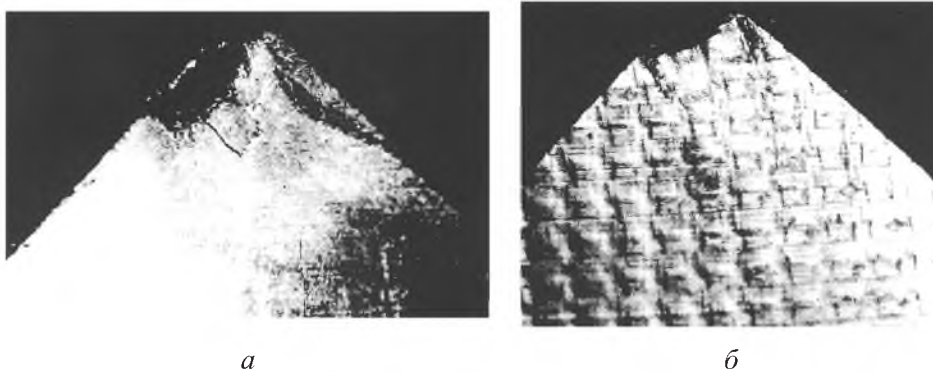


Рис. 2. Характер зношування різальної пластини ВК8 із покриттям TiN суцільного (а) та дискретного типу (б).

При цьому ресурс інструменту з покриттям дискретної структури підвищується в 1,8–2,6 рази порівняно з інструментом без покриття і в 1,3–1,8 рази порівняно з інструментом із суцільним покриттям (рис. 3). Отримані результати можна пояснити на основі експериментально-розрахункових досліджень [9], враховуючи, що в умовах контактного навантаження відбувається перерозподіл напружень у системі основа–покриття, коли саме покриття стає найбільш напруженою ланкою.

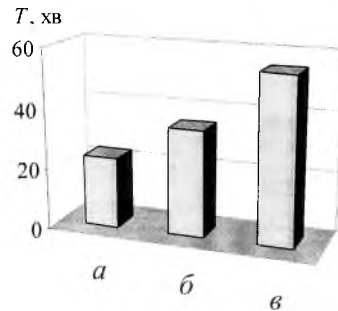


Рис. 3. Порівняльні значення ресурсу інструменту з твердого сплаву ВК8 із покриттям TiN при точінні сталі ХВГ: а – без покриття; б – суцільне покриття; в – покриття дискретної структури.

На рис. 4 наведено залежність ресурсу різального інструменту з покриттям TiN від щільності  $\psi$ . Як видно, існує інтервал оптимальних значень щільності покриття, що відповідають умовам оптимального напружено-деформованого стану поверхневого шару покриття і забезпечують максимальну стійкість інструменту.

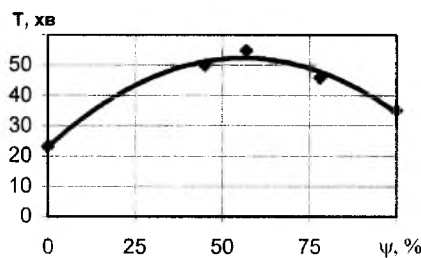


Рис. 4. Залежність ресурсу різального інструменту з покриттям TiN від щільності  $\psi$ .

Проведені дослідження зносостійкості та характеру спрацювання різального інструменту показали, що суцільні покриття в процесі різання можуть відшаровуватись, що призводить до зміни механізму зношування і втрати захисних зносостійких властивостей, в той час як поверхневий шар інструменту з покриттям дискретної структури зберігає зносостійкість. Установлено, що підвищити експлуатаційні характеристики різального інструменту можна за рахунок формування покриттів дискретної структури з оптимальними параметрами (щільність, розмір дискретних ділянок, рівень залишкових напружень).

## Резюме

Для підвищення ресурса режущого інструмента пропонується формувати на його поверхні зносостійкі покриття дискретної структури. С целью обеспечения когезионной прочности покрытия за размер дискретного участка принимают шаг трещины покрытия. Показано, что в условиях контактного нагружения такие покрытия позволяют предотвратить контактное разрушение благодаря уменьшению остаточных напряжений.

1. *Klocke F. and Krig T.* Coated tools for metal cutting – features and applications // *Annals of the CIRP.* – 1999. – **48/2.** – P. 515 – 525.
2. *Ляшенко Б. А., Клименко С. А.* Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине // *Сучасне машинобудування.* – 1999. – № 1. – С. 94 – 104.
3. *Ляшенко Б. А., Кузема Ю. А., Дигам М. С. и др.* Упрочнение поверхности металлов покрытиями дискретной структуры с повышенной адгезионной и когезионной стойкостью. – Киев: Ин-т пробл. прочности АН УССР, 1984. – 57 с.
4. *Антонюк В. С., Ляшенко Б. А., Сорока Е. Б.* Выбор параметров покрытий дискретной структуры при модификации поверхности режущего инструмента // *Упрочняющие технологии и покрытия.* – 2005. – № 3. – С. 49 – 50.
5. *Ляшенко Б. А., Сорока Е. Б., Рутковский А. В., Липинская Н. В.* Определение параметров дискретной структуры покрытий с учетом остаточных напряжений // *Пробл. прочности.* – 2002. – № 4. – С. 119 – 125.
6. *Внуков Ю. Н., Марков А. А., Лаврова Л. В., Бердышев Н. Ю.* Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Под общ. ред. Ю. Н. Внукова. – Киев: Техніка, 1992. – 143 с.
7. *Ляшенко Б. А., Рутковский А. В., Сорока Е. Б., Липинская Н. В.* О снижении остаточных напряжений в вакуум-плазменных покрытиях // *Пробл. прочности.* – 2001. – № 4. – С. 62 – 67.
8. *Ляшенко Б. А., Антонюк В. С., Сорока Е. Б., Рутковский А. В.* О снижении остаточных напряжений в вакуум-плазменных покрытиях дискретной структуры // *Сверхтвердые материалы.* – 2005. – № 2. – С. 72 – 75.
9. *Антонюк В. С., Сорока О. Б., Калініченко В. І.* Аналіз напружено-деформованого стану різального інструменту з покриттями // *Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.* Сер. Приладобудування. – 2004. – Вип. 27. – С. 84 – 89.

Поступила 04. 11. 2005