

УДК 621.891

В. І. КАЛІНІЧЕНКО¹, В. Є. МАРЧУК², Є. В. КОРБУТ³, В. Ф. ЛАБУНЕЦЬ²,
Г. Г. ГОЛЕМБІЄВСЬКИЙ²

¹Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

²Національний авіаційний університет, Україна

³Національний технічний університет України «КПІ»

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Проаналізовано результати чисельних розрахунків напружено-деформованого стану різальної кромки інструменту без покриття, з суцільним та дискретним покриттями. Розглянуто задачі визначення температурного поля та аналіз напружено-деформованого стану з урахуванням нерівномірного розподілу температур і задача по визначенню напружено-деформованого стану від дії нерівномірного силового навантаження, а також комбінована задача по визначенню напружено-деформованого стану різальної кромки з урахуванням температурної та силової складових навантаження.

Ключові слова: різальна кромка, напружено-деформований стан, дискретне покриття, дискретні ділянки, коефіцієнт тертя

Вступ. Збільшення динамічного і термічного навантаження на елементи деталей машин в технологічних системах та при механічній обробці різальним інструментом (РІ) високоміцних сталей та сплавів, а також матеріалів, що належать до класу композиційних, вимагає застосування надтвердих матеріалів з високим рівнем зносостійкості. Одним із шляхів рішення зазначених проблем є розробка нових інструментальних матеріалів, що мають високу стійкість, теплопровідність і низьку чутливість до перепаду температур, а також формування на робочих поверхнях зносостійкого покриття. Використання покриттів дає можливість найбільш раціонально і економічно використовувати фізико-механічні властивості інструментальних матеріалів, замінити дорогі сталі та сплави і, в більшості випадків, підвищити працездатність та надійність деталей машин і РІ.

Стан питання. Зношування поверхонь РІ відбувається у результаті механіко-хімічних процесів, воно проявляється у відколюванні часток матеріалу розміром до декількох десятків мікрометрів. Катастрофічне зношення РІ, як правило, обумовлене, окрім подолання фізико-хімічних і механічних зв'язків, механічних зачеплень, що визначають коефіцієнт тертя, сильним об'ємним пружно-пластичним процесом деформування [1].

Підвищення зносостійкості робочих поверхонь РІ є основним резервом збільшення їхньої працездатності. Зносостійкі покриття дозволяють підвищити довговічність РІ в декілька разів [2].

Матеріали з покриттям мають високу зносостійкість в поєднанні з досить високою міцністю, високу витривалість, тріщиностійкість, температуростійкість. Покриття повинно бути стійким до корозії й окислювання; зберігати свої властивості при високих температурах; не мати дефектів (пор, включень); мати високу межу витривалості. Властивості покриттів суттєво залежать від вибору методу і параметрів нанесення покриття. Від температури формування покриття залежать його структура та адгезійна міцність з основою. Висока адгезійна міцність покриттів, визначається як молекулярними силами, так і проходженням

дифузійних процесів з утворенням зон взаємної дифузії, незважаючи на чіткі поверхні розподілу «основа – покриття» [3]. Проведені дослідження по зміцненню РІ нітридами, карбідами, борідами й окислами перехідних металів показали, що вони мають високу твердість, жаростійкість, зносостійкість та хімічну стійкість [4; 5]. Але покриття малої товщини мають невелику довговічність в умовах абразивного зношування, тому часто використовують багатофункціональні багатошарові зносостійкі покриття, які мають високу твердість, малу адгезійну взаємодію з контактуючим матеріалом, низький коефіцієнт тертя, підвищують стійкість до абразивного зношування і до окислювання при підвищених температурах. Практика показала ефективність РІ з багатошаровими покриттями, розробка яких разом з розробкою покриттів дискретного типу є однією з тенденцій розвитку поверхневого зміцнення [6].

Застосування дискретних покриттів на РІ дозволяє замінити шліфування чистовим точінням, але обробка матеріалів на високих швидкостях і при твердості його вище за 45HRC обмежує їх ресурс, тому необхідно розробити підхід щодо визначення напружено-деформованого стану (НДС), геометричних розмірів дискретних вакуум-плазмових та електроіскрових покриттів. Це створить основу для розробки принципу управління технологічним процесом з метою отримання максимальних показників підвищення конструкційної міцності, ресурсу та працездатності деталей та РІ.

Методика досліджень. В теперішній час для скорочення витрат на проведення експериментів використовують чисельні методи розрахунку. На основі цього методу побудовані такі відомі програми як Ansys, Abaqus, Cosmos, Nastran та інші. Їх застосування дозволяє вирішувати багато складних інженерних задач, та дає можливість без значних матеріальних витрат знаходити оптимальні рішення для підвищення міцності будь-яких елементів конструкції чи деталей. Для визначення НДС та вибір оптимальних геометричних розмірів дискретних вакуум-плазмових та електроіскрових покриттів використовували скінченно-елементний комплекс Nastran. В ньому будувались декілька моделей з різними типами покриття, та визначали НДС в моделі при умові термосилового навантаження, яке максимально наближене до реальних умов експлуатації інструменту. Із умови мінімізації НДС визначали оптимальне покриття для РІ.

Результати досліджень та їх обговорення. Найбільш небезпечним для РІ є етап врізання та виходу його з оброблюваної деталі, оскільки в цей момент на нього діють великі динамічні навантаження та великий перепад (градієнт) температур. Тому спочатку розв'язуємо нестационарну задачу теплопровідності, з якої отримуємо поля розподілу температур в об'ємі інструменту, за цими даними розраховуємо НДС різальної кромки.

Аналіз температур, які виникають в РІ в момент врізання (рис. 1) дозволяє визначити наявність значного температурного градієнта в шарі покриття в момент врізання між температурою на поверхні покриття і температурою в основі. Слід зазначити, що градієнт температур в поверхневому шарі самої основи менше для РІ з покриттям ніж для інструмента без покриття. Це дозволяє зробити висновок про теплозахисну роль покриття на РІ.

Просторовий розподіл еквівалентних напружень при температурному навантаженні в РІ показав, що при наявності дискретного покриття суттєво змінюється розподіл деформації в при поверхневому шарі і спостерігаються зони з від'ємною деформацією.

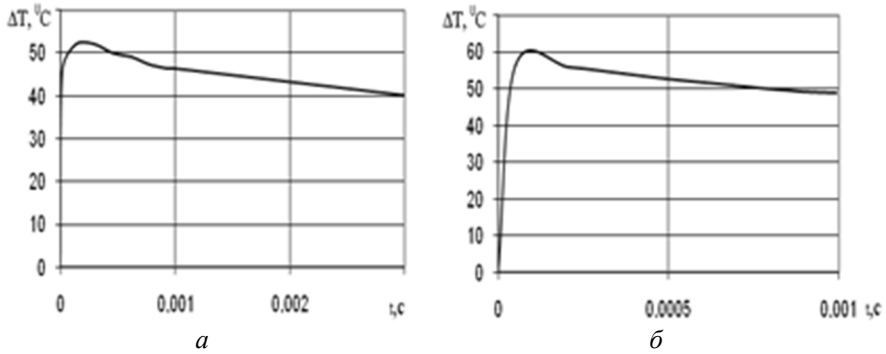


Рис. 1. Температурний градієнт в шарі покриття TiN товщиною 10 мкм на PI зі сталі P6M5 в момент врізання: *a* – суцільного; *б*– дискретного типу

На рис. 2, 3 побудовано розподіл еквівалентних напружень відповідно на передній та задній поверхні різця вздовж осі Y і Z у відносних координатах $\frac{\sigma^{екв}}{q_{0Z}} \frac{z}{b}$, та $\frac{\sigma^{екв}}{q_{0Y}} \frac{y}{a}$. Де y – поточна координата вздовж осі Y ; z – поточна координата вздовж осі Z ; a і b – ширина контакту стружки з інструментом по Y і по Z відповідно; q_{0Z} , q_{0Y} – навантаження по передній та задній грані відповідно.

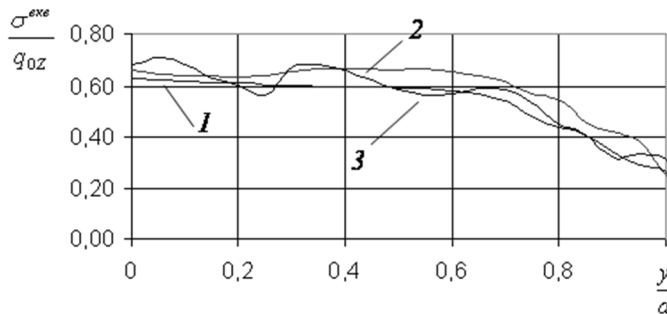


Рис. 2. Розподіл еквівалентних напружень при силовому навантаженні по довжині вздовж осі Y на передній поверхні PI з сталі P6M5: *1* – без покриття; *2* – з суцільним покриттям TiN товщиною 10 мкм; *3* – з покриттям TiN дискретного типу товщиною 10 мкм

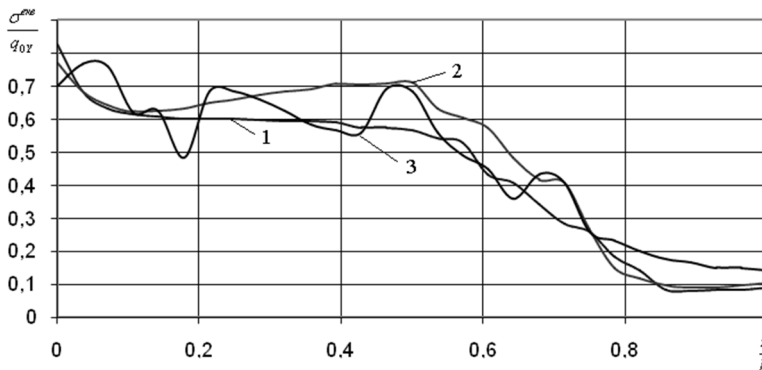


Рис. 3. Розподіл еквівалентних напружень при силовому навантаженні вздовж осі Z на задній поверхні PI з сталі P6M5: *1* – без покриття; *2* – з суцільним покриттям TiN товщиною 10 мкм; *3* – з покриттям TiN дискретного типу товщиною 10 мкм

Водночас застосування дискретних покриттів характеризується зростанням еквівалентних напружень на поверхні дискретних ділянок. При цьому ділянки РІ, вільні від дискретного покриття, виявляються розвантаженими. Особливо яскраво ця тенденція проявляється в найбільш навантажених ділянках.

Еквівалентні напруження на поверхні адгезійного контакту для дискретних покриттів більші, ніж для тієї ж поверхні з суцільним покриттям, а ділянки основи без покриття є більш розвантаженими, ніж ті, що відповідають поверхні адгезійного контакту під суцільним покриттям (рис. 4). Слід зазначити, що представлені розрахунки не приймають до уваги залишкові напруження в покриттях. Врахування залишкових напружень, які для покриттів дискретного типу є значно менші, ніж для суцільних покриттів, призведе до зменшення еквівалентних напружень.

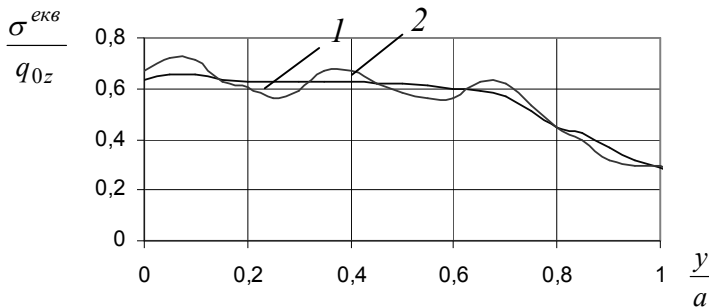


Рис. 4. Розподіл еквівалентних напружень при силовому навантаженні на поверхні адгезійного контакту вздовж осі Y на передній грані РІ з сталі Р6М5: 1 – з суцільним покриттям TiN товщиною 10 мкм; 2 – з покриттям TiN дискретного типу товщиною 10 мкм

Наявність покриття дозволяє зменшити значення коефіцієнту тертя і не тільки призвести до зменшення абсолютних значень дотичних напружень, але й перемістити небезпечні максимальні дотичні напруження від поверхні адгезійного контакту вглиб матеріалу основи.

Висновок. Нанесення покриття дає перерозподіл напружень в поверхнево-му шарі і в об'ємі РІ. Це можна пояснити тим, що покриття сприймає на себе основний пік навантаження, розвантажуючи таким чином матеріал основи. Максимум дотичних напружень спостерігається на глибині, яка значно перевищує товщину захисного покриття, не досягаючи поверхні адгезійного контакту, що дозволяє збільшити товщину покриття.

При застосуванні покриттів дискретного типу ділянки РІ, які вільні від дискретного покриття, виявляються розвантаженими. На відміну від суцільного покриття, дискретне має менший напружений стан, тому збільшення його товщини дозволить підвищити зносостійкість інструменту. Як показують розрахунки, в момент врізання в РІ спостерігається значний температурний градієнт в шарі покриття, що дозволяє зробити висновок про термозахисну роль покриття на РІ.

Список літератури:

1. Верещака А. С. Анализ основных аспектов проблемы совершенствования инструментальных материалов путем модификации их поверхностных свойств / А. С. Верещака // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: Сб. науч. тр. Сер. Г: Процессы механической обработки, станки и инструменты. – К.: ИСМ НАНУ. – 2002. – С. 301–315.

2. Коняшин И. Ю. Нанесение износостойких покрытий на безвольфрамовые твердые сплавы / И. Ю. Коняшин, А. И. Аникеев // Свойства и применение спеченных твердых сплавов / Всес. н.-и. и проект. ин-т тугоплав. мат. и тверд. сплавов (ВНИИТС). – М., 1991. – С. 98–102.
3. Белов А. И. Физико-технологические особенности процесса резания титановых сплавов твердосплавными неперетачиваемыми пластинами, покрытыми карбидом ниобия / А. И. Белов : Сб.: Обработка высокопрочных сталей и сплавов из сверхтвердых синтетических материалов.– Куйбишев, 1978.– С. 43–50.
4. Безруко В. П. Износостойкость и хрупкость боридных, карбидных и нитридных покрытий / В. П. Безруко, А. С. Коротя // Научно-производственный сборник. Технология в организация производства. – 1978. – № 1. – С. 49–51.
5. Yamada Y. High Speed Cutting Performance of (Al, Ti)N Coated Endmills, Proc. 3rd Int. Conf. / Y. Yamada // On Progress of Cutting and Grinding Nov. 19–22. – 1996. – P. 211–216.
6. Tool coating // *Cutt. Toll Engineering*. – 2001. – V.53, №3.– P. 66.

Стаття надійшла до редакції 28.02.2017

Калініченко Віталій Іванович – к.т.н., с.н.с., с.н.с. лабораторії зміцнення поверхні елементів конструкцій, Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна.

Марчук Володимир Єфремович – к.т.н., доцент, доцент кафедри логістики Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна.

Корбут Євген Валентинович – канд. техн. наук, доцент механіко-машинобудівельного інституту Національного технічного університету України «КПІ імені І.Сікорського».

Лабунець Василь Федорович – к.т.н., професор, професор кафедри машинознавства Навчально-наукового Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, м. Київ, Україна.

Голембієвський Григорій Григорійович – доцент кафедри механіки Навчально-наукового Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ.

*V. I. KALINICHENKO, V. E. MARCHUK, E. V. KORBUT, V. F. LABUNETS,
G. G. GOLEMBIEVSKIY*

DEFLECTED MODE OF CUTTING TOOLS WITH DISCRETE COATINGS

The results of the numerical calculations of the stress-strain state of the cutting edge tool without coating, with continuous and discrete coatings. We consider the problem of determining the temperature field and analysis of stress-strain state taking into account the uneven temperature distribution and the problem to determine the stress-strain state from the effects of uneven power load and combined task to determine the stress-strain state cutting edge considering the temperature and power components of the load.

Keywords: cutting edge, deflected mode, discrete coating, discrete areas, coefficient of friction

References

1. Vereshhaka A. S. Analiz osnovnykh aspektov problemy sovershenstvovaniya instrumental'nykh materialov putem modifikatsii ih poverhnostnykh svoystv / A. S. Vereshhak // Voprosy mehaniki i fiziki processov rezaniya i holodnogo plasticheskogo deformirovaniya: Sb.nauch.tr. Ser. G: Processy mehanicheskoy obrabotki, stanki i instrumenty. – K.: ISM NANU. – 2002. – S. 301–315.

2. Konjashin I. Ju. Nanesenie iznosostojkikh pokrytij na bezvol'framovye tverdye splavy / I. Ju. Konjashin, A. I. Anikeev // Svoystva i primenenie spechennykh tverdyyh splavov / Vses. n.-i. i proekt. in-t tugoplav. mat. i tverd. splavov (VNIITS). – M., 1991. – S. 98–102.

3. Belov A. I. Fiziko-tehnologicheskie osobennosti processa rezaniya titano-vyyh splavov tverdosplavnymi neperetachivaemymi plastinami, pokrytymi karbidom niobija / A. I. Belov : Sb.: Obrabotka vysokoprochnyyh stalej i splavov iz sverhtverdykh sinteticheskikh materialov.– Kujbishev, 1978.– S. 43–50.

4. Bezruko V. P. Iznosostojkost' i hrupkost' boridnykh, karbidnykh i nitrid-nykh pokrytij / V. P. Bezruko, A. S. Korotja // Nauchno-proizvodstvennyj sbornik. Teh-nologija v organizacija proizvodstva. – 1978. – № 1. – S. 49–51.

5. Yamada Y. High Speed Cutting Performance of (Al, Ti)N Coated Endmills, Proc. 3rd Int. Conf. / Y. Yamada // On Progress of Cutting and Grinding Nov. 19–22. – 1996. – P. 211–216.

6. Tool coating // *Cutt. Toll Engineering*. – 2001.– V.53, №3.– P. 66.