

Цибаньов Г.В.,¹
Калініченко В.І.,¹
Лабунець В.Ф.,²
Марчук В.Є.,²
Градиський Ю.О.³

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

²Національний авіаційний університет, Україна

³Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
ВАКУУМ-ПЛАЗМОВИХ
ТА ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ
ЗМІЦНЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

УДК 621.3.013:665.75 (043.2)

В статті наведено і проаналізовано результати чисельних розрахунків напруженого стану основи з вакуум плазмовими покриттями та ЕІЛ покриттям, визначена оптимальна їх товщина та щільність. Побудовані скінченно-елементні моделі різального інструменту з дискретними покриттями, проаналізовано напружено-деформований стан при зосередженому і розподіленому навантаженні з урахуванням залишкових напружень та температури.

Ключові слова: вакуум-плазмові покриття, електроіскрове легування, різальний інструмент, температурне навантаження, залишкові напруження, метод суперпозиції, теплофізичні властивості.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами

Зростаючий інтерес підприємств машинобудування й інших галузей промисловості направлений на створення виробів з оптимальним сполученням властивостей поверхневого шару і основного матеріалу. Водночас, у сучасному машинобудуванні найбільш пріоритетним є напрямок поверхневої обробки. Різальний інструмент відноситься до виробів, які працюють в екстремальних умовах навантаження, високих температур і швидкостей під дією мастильно-охолоджуючої рідини.

Важливою характеристикою інструменту є його довговічність в умовах експлуатації. Використання зміцнюючих захисних покриттів дозволяє підвищувати довговічність інструменту в 1,5...2 рази. В світовій практиці біля 90% всього інструменту виробляється із зміцнюючими покриттями [1]. Більшість покриттів формують методами фізичного випаровування у вакуумі (PVD). Також широко використовується метод електроіскрового легування (ЕІЛ).

За сутністю сучасне зміцнююче покриття являє собою багат шарову багатокомпонентну конструкцію, але загальним недоліком їх є передчасне розтріскування і відшарування в умовах експлуатації. Тому раціональне проектування покриттів дискретної структури на основі аналізу напружено-деформованого стану дозволить збільшити ресурс конструкцій та інструменту, які працюють в екстремальних умовах навантаження, високих температур і швидкостей, та дозволить науково-обґрунтовано підійти до їх проектування і нанесення.

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем

Можливість цілеспрямованої зміни властивостей поверхневого шару дозволяє на якісно новому рівні вирішити одну з важливіших задач – забезпечити оптимальне співвідношення властивостей поверхні і об'єму матеріалу. Відомо, що практично всі процеси, які призводять до відмови інструмента – (зношування, ріст втомних тріщин) починаються з поверхні і визначаються властивостями відносно тонкого поверхневого шару

[2, 3]. Одним з шляхів вирішення цієї задачі є використання тонких зносостійких дискретних покриттів, коли їхні захисні властивості дуже ефективно проявляються, а погіршення міцностних характеристик пов'язаних зі збільшенням їх товщини ще не відбувається [4]. Ефект від зміцнення можна значно збільшити шляхом використання дискретних покриттів з оптимальною геометрією покриття.

Мета дослідження

Визначити оптимальні геометричні параметри покриття на різальному інструменті для підвищення його довговічності під дією екстремальних навантажень.

Методика досліджень

Методика розрахунку НДС композиції „основа-покриття” (рис. 1, а, б) з врахуванням експлуатаційних та технологічних факторів складається з декількох етапів: розв'язування задачі нестационарної теплопровідності для визначення залишкових напружень, які є результатом нанесення покриття; визначення напружень від силового та температурного навантаження; отримання НДС методом суперпозиції.

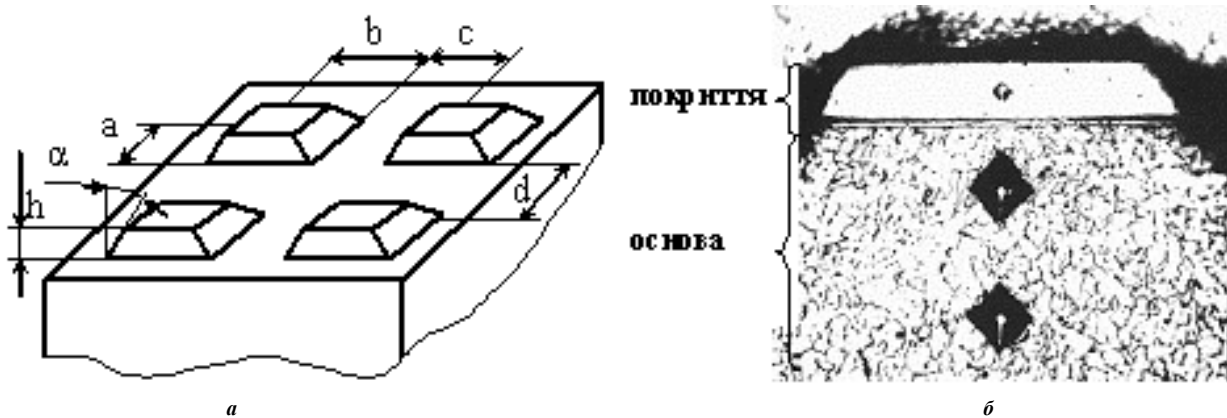


Рис. 1 – Схема вакуум-плазмового дискретного покриття (а), та мікроструктура дискретного покриття на поверхні основи (б)

Результати досліджень та їхній аналіз

Сучасні програмні комплекси на основі методу скінченних елементів дозволяють будувати досить складні геометричні форми деталей (рис. 2), та обчислювати НДС від багатьох видів навантажень, а також враховують всі фізико-механічні і теплофізичні властивості матеріалів покриттів, які використовували для проведення чисельних розрахунків при моделюванні НДС композиції „основа-покриття”.

Шляхом управління геометричними параметрами дискретних покриттів можна досягти оптимального НДС в композиції “основа-покриття”, і, як наслідок, високої стійкості до руйнування поверхонь з покриттями. За розробленими розрахунковими скінченно-елементними моделями визначали напружено-деформований стан основи з покриттям від впливу різних умов навантаження.

Напружений стан розглядаємо вздовж поверхні в напрямку осі “У” у зовнішньому шарі покриття, в шарі покриття біля основи, а також в основі під покриттям (рис. 3, 4).

З графіку видно, що максимальні еквівалентні напруження на поверхні в моделі без покриття знаходяться в області прикладення навантаження, тоді як в моделі з суцільним покриттям максимальне значення менше на 27,5% і розташоване поза зоною дії навантаження. Еквівалентні напруження в основі під суцільним покриттям близькі за значенням напруженням в моделі без покриття, а для дискретного покриття їх значення

менше на 13,5%. Аналіз результатів вздовж напрямку дії контактної навантаження показує, що нормальні напруження на поверхні основи під суцільним покриттям зменшуються приблизно на 30%, а під дискретним на 42%.

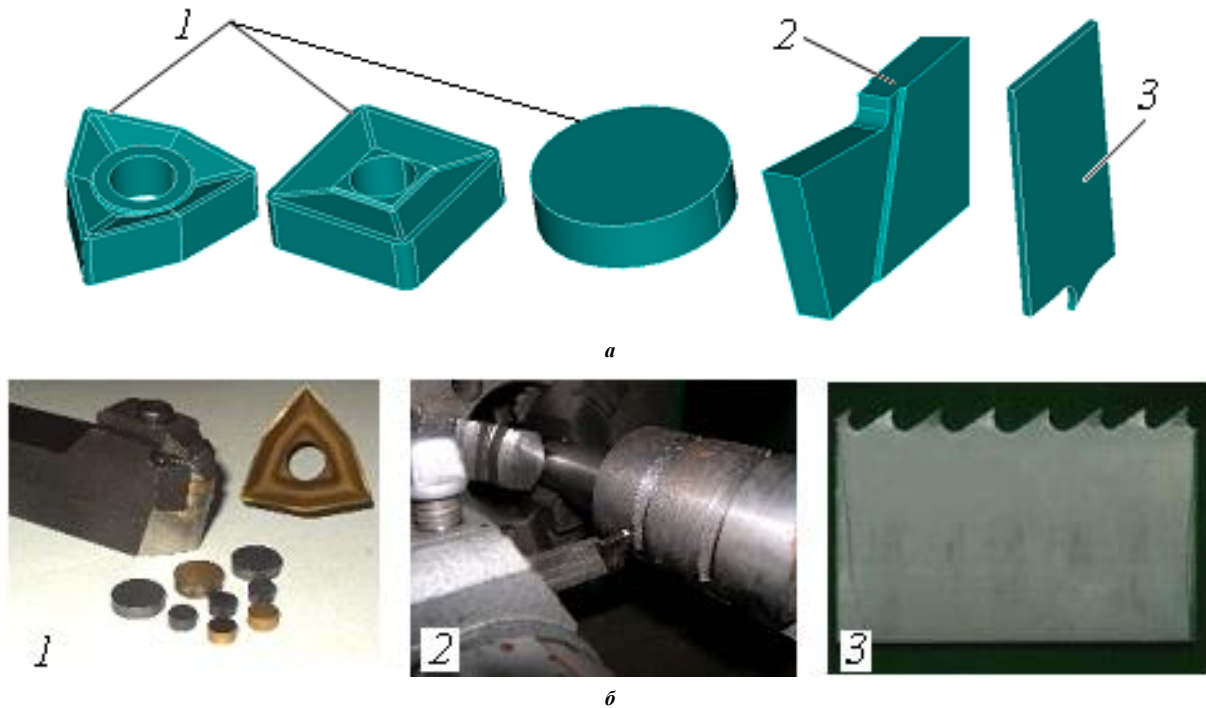


Рис. 2 – Твердотільні моделі різального інструменту побудовані у пакеті NASTRAN (а) на основі натурних об'єктів (б):
 1 – твердосплавні різальні пластини; 2 – відрізний різець; 3 – фрагмент стрічкового біметалевого полотна

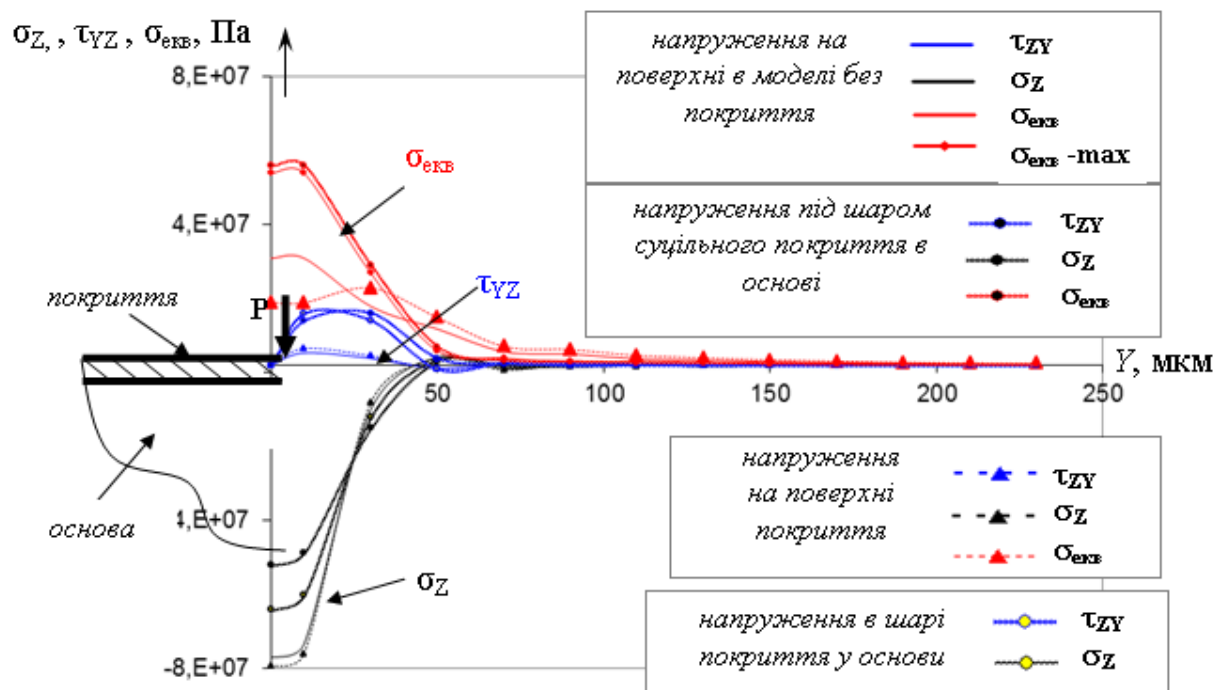


Рис. 3 – Напружений стан в моделях з суцільним покриттям

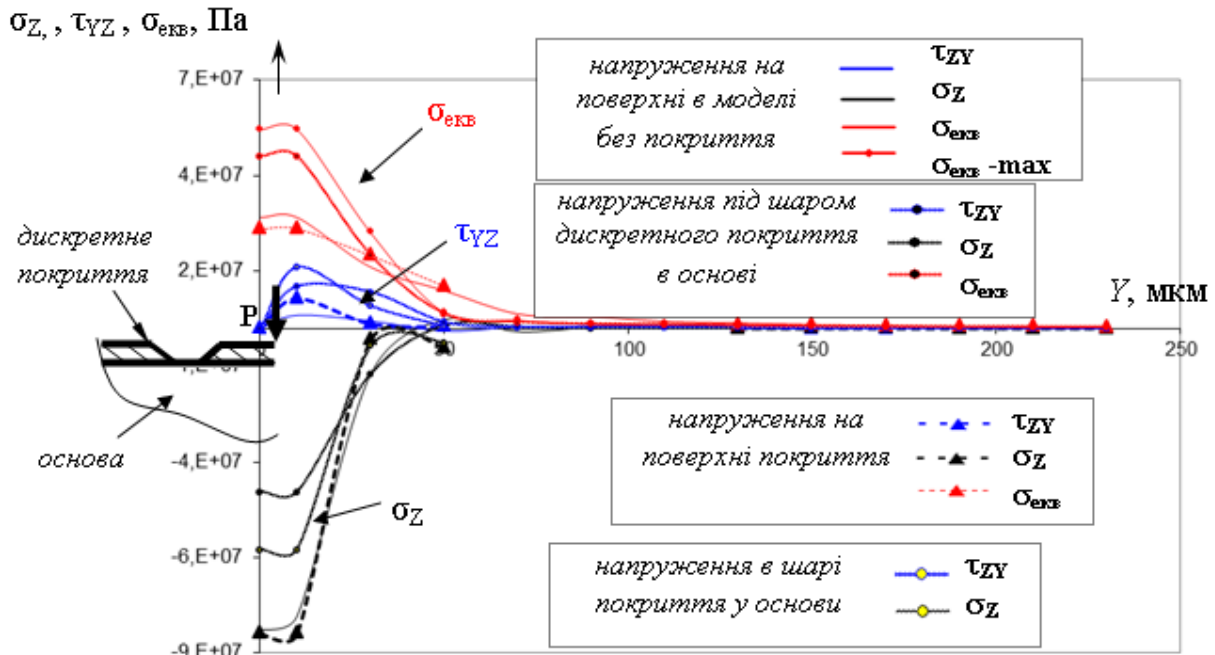


Рис. 4 – Напружений стан в моделях з дискретним покриттям

Під впливом розподіленого навантаження еквівалентні напруження у поверхні суцільного та дискретного покриття значно менші, ніж на поверхні в моделі без покриття (рис. 5). У поверхні суцільного покриття максимум напружень зміщено вбік від прикладення навантаження, а їх значення досягають рівня напружень в моделі без покриття, тоді як в дискретному вони майже в два рази нижчі.

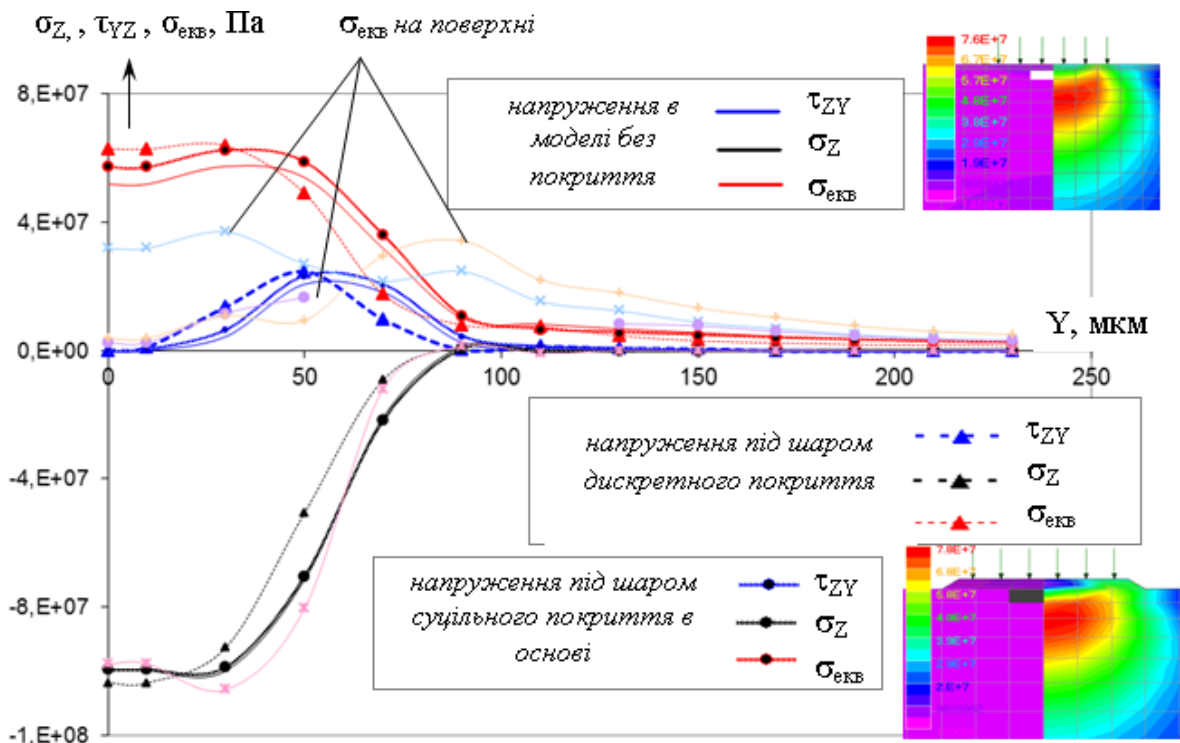


Рис. 5 – Напружений стан в основі під суцільним та дискретним покриттям та на поверхні від дії розподіленого навантаження

Еквівалентні напруження в основі під суцільним покриттям вищі на 10%, ніж в моделі без покриття на тому ж рівні, а під дискретним на 21%, але площа їх дії менша, ніж під суцільним та в моделі без покриття. Нормальні напруження в основі під дискретним покриттям на 4% більші, ніж в моделі без покриття, але площа їх дії менша.

Як правило, захищаючи поверхневий шар деталі, ми збільшуємо її експлуатаційний строк дії. За розрахунками, при наявності суцільного або дискретного покриття, напруження в зоні прикладення навантаження будуть низькими, а тому наявність покриття відіграє позитивну роль в продовженні строку служби інструменту чи деталей.

Як видно з рис. 6, максимум напружень під дією дотичних сил наближається з глибини до поверхні адгезійного контакту, але досягається на глибині, яка значно перевищує товщину захисного покриття. Це дозволяє збільшити товщину покриття без огляду на те, що дотичні напруження τ_{zy} , які можуть спричинити адгезійне відшарування, зростають до певної глибини.

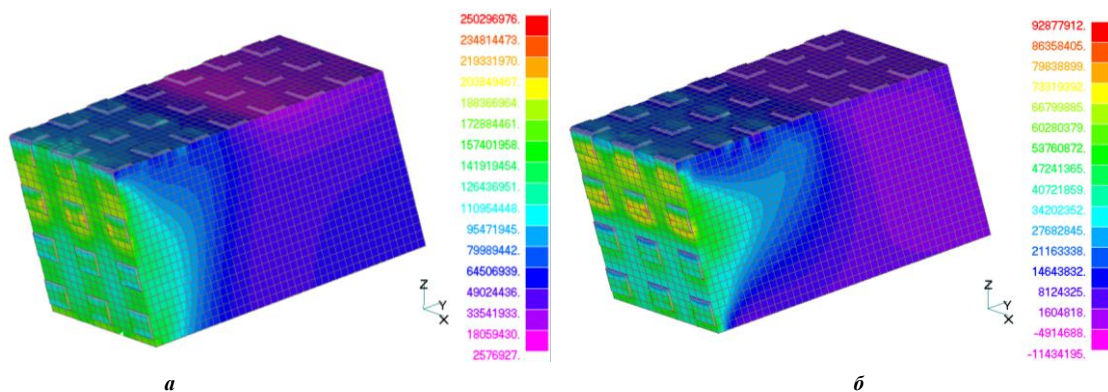


Рис. 6 – Розподіл напружень в різальному інструменті з Р6М5 і дискретним покриттями TiN товщиною 10 мкм при силловому нормальному і дотичному навантаженні з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,4$:
a – еквівалентні напруження; *b* – дотичні напруження τ_{zy}

Висновки

1. Таким чином застосування методу скінченних елементів дозволяє отримати і проаналізувати напружено-деформований стан різального інструменту і зробити висновок про те, що застосування покриття на твердосплавній пластині призводить до перерозподілу напружень і дозволяє розвантажити матеріал основи пластини.

2. Нанесення зміцнюючого покриття викликає зміну напруженого стану на поверхні різального інструменту та перерозподіл напружень по глибині основи порівняно з напруженнями, які виникають в різальному інструменті без покриття.

3. При застосуванні покриттів дискретного типу ділянки різального інструменту, які вільні від дискретного покриття, виявляються розвантаженими. Максимум напружень в результаті впливу дотичних сил наближається з глибини до поверхні адгезійного контакту, але досягається на глибині, яка значно перевищує товщину захисного покриття, що дозволяє збільшити товщину покриття.

4. На основі проведених розрахунків запропоновано встановлювати розмір дискретної ділянки для покриттів різних типів, виходячи з умов збереження когезійної та контактної міцності, та обмежити значення дотичних напружень, які спричиняють відшарування покриття від основи.

Література

1. 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.
2. Кузьменко А.Г. Трибология резания. Ч.1: Проблема резания и износа режущего инструмента / А.Г. Кузьменко, Насер Гуссан Ахмед, Я.Н. Гладкий // Проблемы трибологии. – 1998. – № 2. – С. 142-156.

3. Антонюк В.С. Сравнительные испытания режущих свойств нитридной керамики с многофункциональными покрытиями / В.С. Антонюк, А.В. Рутковский // Вісник Сумського державного університету.- Суми: Видавництво СумДУ. 2003. № 3 (49). - С. 162 – 167.
4. Антонюк В.С. Исследование влияние функциональных покрытий на режущие свойства керамики / В.С. Антонюк, А.В. Рутковский, С.Н. Фоменко // Сб. "Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов" (Часть II) (Сборник докладов 4-й Международной конференции «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов»). – Харьков: ННЦ ХФТИ, ИПЦ «Контраст», 2003. – С. 111 – 116.

Summary

Tsybanov G., Kalinichenko V., Labunets V., Marchuk V., Gradysky Y. Stress-strain state of vacuum plasma and electric-coating to enhance cutting tool

The growing interest in machine building and other industries aimed at creating products with an optimum combination of the properties of the surface layer and the core material. Therefore, the rational design of coating discrete structure by analyzing the stress-strain state will increase the life of structures and tools, working in extreme load conditions, high temperatures and speeds, and allow evidence-based approach to their design and application. The solution to this problem in the calculation of the stress state song "base coating" with operational and technological factors was performed the following steps: solving the unsteady heat conduction to determine residual stresses resulting coating; determine the stresses on the power load and temperature; determining stress by superposition. The article describes and analyzes the results of the numerical calculations of the stress state of the basics of vacuum plasma coatings and coating EIL determined their optimal thickness and density. Built finite-element models with discrete cutting tool coatings, analyzed stress-strain state in the concentrated and distributed load considering residual stresses and temperature.

Keywords: vacuum plasma coating, electricdoping, cutting tools, thermal stress, residual stress superposition method, thermal properties.

References

1. 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. – pp. 211-216.
2. Kuzmenko A.G. Tribologiya rezaniya. CH.1: Problema rezaniya i iznosa rezhushchego instrumenta / A.G. Kuzmenko, Naser Gussan Akhmed, Y.N. Gladkiy // Problemi tribologii. – 1998. – № 2. – pp. 142-156.
3. Antonyuk V.S. Sranitelnyye ispytaniya rezhushchikh svoystv nitridnoy keramiki s mnogo-funktionalnymi pokrytiyami / V.S. Antonyuk, A.V. Rutkovskiy // Вісник Сумського державного університету.- Суми: Vidavnitstvo SumDU. 2003. № 3 (49). - pp. 162 – 167.
4. Antonyuk V.S. Issledovaniye vliyaniye funktsionalnykh pokrytiy na rezhushchiye svoystva keramiki / V.S. Antonyuk, A.V. Rutkovskiy, S.N. Fomenko // Sb. "Oborudovaniye i tekhnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov" (Chast II) (Sbornik dokladov 4-y Mezhdunarodnoy konferentsii «Oborudovaniye i tekhnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov»). – Khar'kov: NNTS KHFTI, IPTS «Kontrast», 2003. – pp. 111 – 116.