

14. Sigl L. S. Thermal conductivity of liquid phase sintered silicon carbide // J. Europ. Ceram. Soc. – 2003. – 23. – N 7. – P. 1115–1122.
15. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов: справочник. – М.: ФИЗМАТГИЗ, 1959. – 356 с. (переиздана «Рипол Классик», 2013).
16. Изучение структуры и свойств керамики карбид кремния – нитрид алюминия при высоких температурах / В. А. Мельникова, В. К. Казаков, П. С. Кислый, В. К. Сульженко // Сверхтвердые матер. – 1991. – № 2. – С. 33–36.

Поступила 19.05.16

УДК 621.941:534.637

Л. М. Девін, д-р техн. наук¹; О. А. Осадчий, канд. техн. наук; В. М. Козін-Піддубний²

¹ Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВПЛИВ ДЕМПФУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІЗЦЯ НА ЙМОВІРНІСТЬ РУЙНУВАННЯ ПЛАСТИН З КНБ

Наведено результати дослідження впливу демпфуючих властивостей різця на ймовірність руйнування пластин з КНБ при чистовому точінні загартованих сталей. Встановлено оптимальні режими чистового точіння загартованих сталей з метою зменшення ймовірності руйнування різального інструменту з КНБ для різців з демпфуючими елементами з TiNi.

Ключові слова: кубічний нітрид бору, загартована сталь, ймовірність руйнування, демпфуюча властивість.

Вступ

Полікристалічні надтверді матеріали, які використовують для виготовлення різальних частин інструментів, вирізняються не лише високою твердістю і зносостійкістю, а й широким діапазоном характеристик міцності. Водночас 30–50% різців, які використовують у промисловості, виходять з ладу в результаті поломок. До 60% випадків втручання оператора для підтримання працездатності токарних верстатів з ЧПУ спричинено руйнуванням різального інструменту. Таким чином, потребується підвищення вимог до надійності різального інструменту.

Для оцінювання працездатності різальних інструментів застосовують різні критерії. Найчастіше оцінюють стійкість, тобто час від початку експлуатації до критичного зношування різального леза [1]. Для цього здійснюють тривалі випробування і визначають інтенсивність зношування різальних інструментів за фіксованих, як правило, оптимальних режимів різання, а також їх стійкість (час від початку експлуатації різця до повного його зносу).

Крім того, оцінюють стабільність роботи інструменту за таких самих режимів, застосовуючи різні методики, що враховують стохастичну природу міцності та безпосередньо процесу різання. Як критерій оцінювання стабільності використовують або гамма-відсотковий ресурс, або ймовірність руйнування при конкретних режимів оброблення і геометрії інструменту [2; 3].

Обидва зазначені підходи до оцінювання працездатності різців доповнюють один одного, оскільки стійкість і ймовірність руйнування характеризують різні аспекти якості інструменту і входять у загальному вигляді до поняття «надійність» згідно з ГОСТ 27.002-89. Випробування на стійкість дуже трудомісткі за затратами часу і витратою оброблюваного матеріалу, що переходить у стружку. Як альтернативу випробуванням на стійкість вимірюють твердість інструментальних матеріалів і згідно з нею здійснюють порівняльне оцінювання існуючих матеріалів або оптимізують структуру нових інструментальних матеріалів.

На жаль, ймовірність руйнування лезових інструментів за твердістю не оцінюють. Це зумовлено тим, що часто з підвищенням твердості знижується міцність і тріщиностійкість (тобто підвищується крихкість) інструментальних матеріалів. Крім того, на ймовірність руйнування може суттєво вплинути зміна геометрії різця, властивостей оброблюваного матеріалу, умов обробки, режимів різання, наявність і характер ударного навантаження, биття, коливання припуску на обробку та ін. Таким чином, очевидно, що оцінювання ймовірності руйнування потребує знання та врахування властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів, а також зміни напруження на гранях при різанні.

Методика дослідження

Для оцінювання ймовірності руйнування інструмента застосовували оригінальний метод, що базується на аналізі диференціальних функцій статистичного розподілу міцності при розтягуванні S_p та стисканні S_c інструментального матеріалу і диференціальних функцій

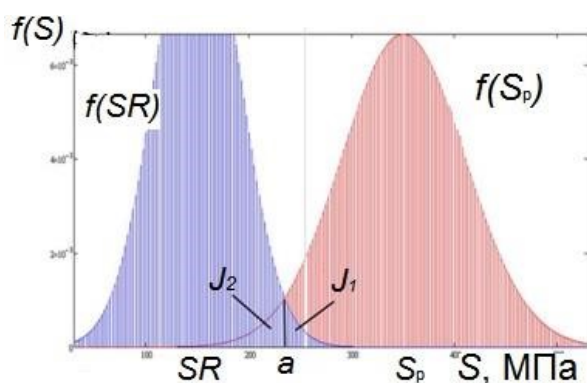


Рис. 1. Диференціальні функції розподілу міцності інструментального матеріалу $f(S_p)$ та напруження на гранях різця $f(S_R)$

(ймовірність руйнування різця):

$$I = J_1 + J_2 = \int_0^{S_A} f(S_p) dS + \int_{S_A}^{\infty} f(S_R) dS.$$

Для розрахунку функцій $f(S_p)$ необхідно знати середнє арифметичне міцності інструментального матеріалу (S_p) і її середньоквадратичне відхилення (СКВ S_p). Тоді припускаючи, що закон розподілу відомий (наприклад, нормальний чи інший відомий), можна однозначно визначити функцію $f(S_p)$ для межі міцності при розтягуванні та $f(S_c)$ для межі міцності при стисканні. Ці межі міцності, а також їх СКВ при динамічному навантаженні визначали за допомогою установки «Копер» [4].

Аналогічно для розрахунку диференціальних функцій розподілу напруження $f(S_R)$ визначали середнє напруження S_R у небезпечних точках на гранях інструменту та їх

розподілу напружень в небезпечних точках на передній (SR_n) і задній (SR_3) гранях різця [2]. Для визначення межі міцності інструментальних матеріалів за статичного і динамічного навантажень використовували зразки у формі круглих пластин, що за розмірами відповідали реальним різальним пластинам.

Сутність методу визначення ймовірності руйнування полягає в розрахунку інтеграла (площі) взаємного перетину диференціальних функцій розподілу J (рис. 1) [2].

Як бачимо на рис. 1, загальна площа під кривими $f(S_p)$ та $f(S_R)$

середньоквадратичні відхилення СКВ S_R . Методику визначення напружень на передній і задній гранях різця докладно описано в [5; 6]. Зауважимо, що найточніший аналітичний розв'язок плоскої задачі навів Бетанелі [5]. Розв'язання об'ємної задачі більш трудомістке, але принципово можливе при застосуванні методу кінцевих елементів [6].

З огляду на зазначене, середнє напруження в небезпечних точках на передній поверхні різця [7]

$$S_R = \frac{2R}{bk_0c} \left\{ \frac{\sin \beta/2 \sin[\gamma_0 - (\beta/2 + \gamma)]}{\beta - \sin \beta} - \frac{\cos \beta/2 \cos[v_0 - (\beta/2 + \gamma)]}{\beta + \sin \beta} \right\}$$

де R – рівнодійна сила різання; $b = t/\sin \varphi$ – ширина зрізу; k_0 – коефіцієнт, що враховує зміщення точки максимального напруження від вершини різця; β – кут загострення; v_0 – кут, що визначає напрямок осі різання; $\operatorname{tg} v_0 = P_z / \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$.

При точінні інструментом з ПНТМ, особливо за малої глибини різання, у міру його зношування складові сили різання P_y і P_x підвищуються інтенсивніше, ніж P_z . Це зумовлює зміну кута v_0 і, як наслідок, до появи напруження розтягу на задній поверхні та стискання на передній [7].

Напруження на обох поверхнях різця [7]

$$S_R = -\frac{2R}{br} \left\{ \frac{\cos[v_0 - (\frac{\beta}{2} + \gamma)] \cos[\theta - (\frac{\beta}{2} + \gamma)]}{\beta + \sin \beta} + \frac{\sin[v_0 - (\beta/2 + \gamma)] \sin[\theta - (\beta/2 + \gamma)]}{\beta - \sin \beta} \right\}$$

де r, θ – полярні координати.

Для розрахунку діючого напруження і ймовірності руйнування різців за описаною методикою розробили програму «VarTool» [7] у середовищі відомого пакету програм MathCad 14.

Для розрахунку використовували такі дані:

- характеристики інструментального матеріалу (середню міцність інструментального матеріалу при розтягуванні S_p і стисканні S_c , МПа, а також відповідні їм середньоквадратичні відхилення);
- геометрію різця (γ, α, φ);
- умови різання (глибину різання S , подачу t , усадку стружки ζ , середні значення сил різання P_x, P_y, P_z , та відповідні їм середньоквадратичні відхилення).

З огляду на те, що ймовірність руйнування поверхонь – незалежна випадкова величина, ймовірність руйнування різця в цілому

$$P = P_n + P_z - P_n * P_z,$$

де P_n, P_z – ймовірність руйнування зі сторони передньої та задньої граней відповідно.

Результати дослідження та їх обговорення

Оцінювали надійність різця, розглянутим розрахунково-експериментальним методом визначення ймовірності його руйнування. Це особливо важливо при чистовому точінні загартованих сталей інструментом з ПНТМ, коли при малій товщині зрізаного шару матеріалу на задній поверхні площини зносу різця виникають великі контактні напруження. У міру зношування різця і зміни твердості оброблюваного матеріалу змінювалось напруження, що іноді зумовлювало перерозподіл знаку напружень між поверхнями. Для

інструменту з ПНТМ найнебезпечніше виникнення напруження розтягу на задній поверхні або стискаючого напруження на передній.

Вплив демпфування різця на ймовірність руйнування різальних пластин з КНБ досліджували при чистовому точінні загартованої сталі ХВГ твердістю 58–62 HRC. В якості різального інструменту використовували різець оригінальної конструкції, що має елементи з високодемпфуючих матеріалів [8; 9]. В якості демпфуючих вставок – матеріали з різними демпфуючими властивостями: сталь 40Х, твердий сплав ВК8, сірий чавун СЧ15, нікеліди титану TiNi (литий та «авібрит»), трифазну кераміку Ti–Al–C, Ti–Si–C [10; 11]. Демпфуючі характеристики демпфуючих елементів визначали за оригінальною методикою [12]. Напруження на гранях різального інструменту, а також ймовірність руйнування різця з КНБ розраховували за наведеною методикою.

Залежності ймовірності руйнування різця від подачі для різних матеріалів демпфуючих елементів показано на рис. 2.

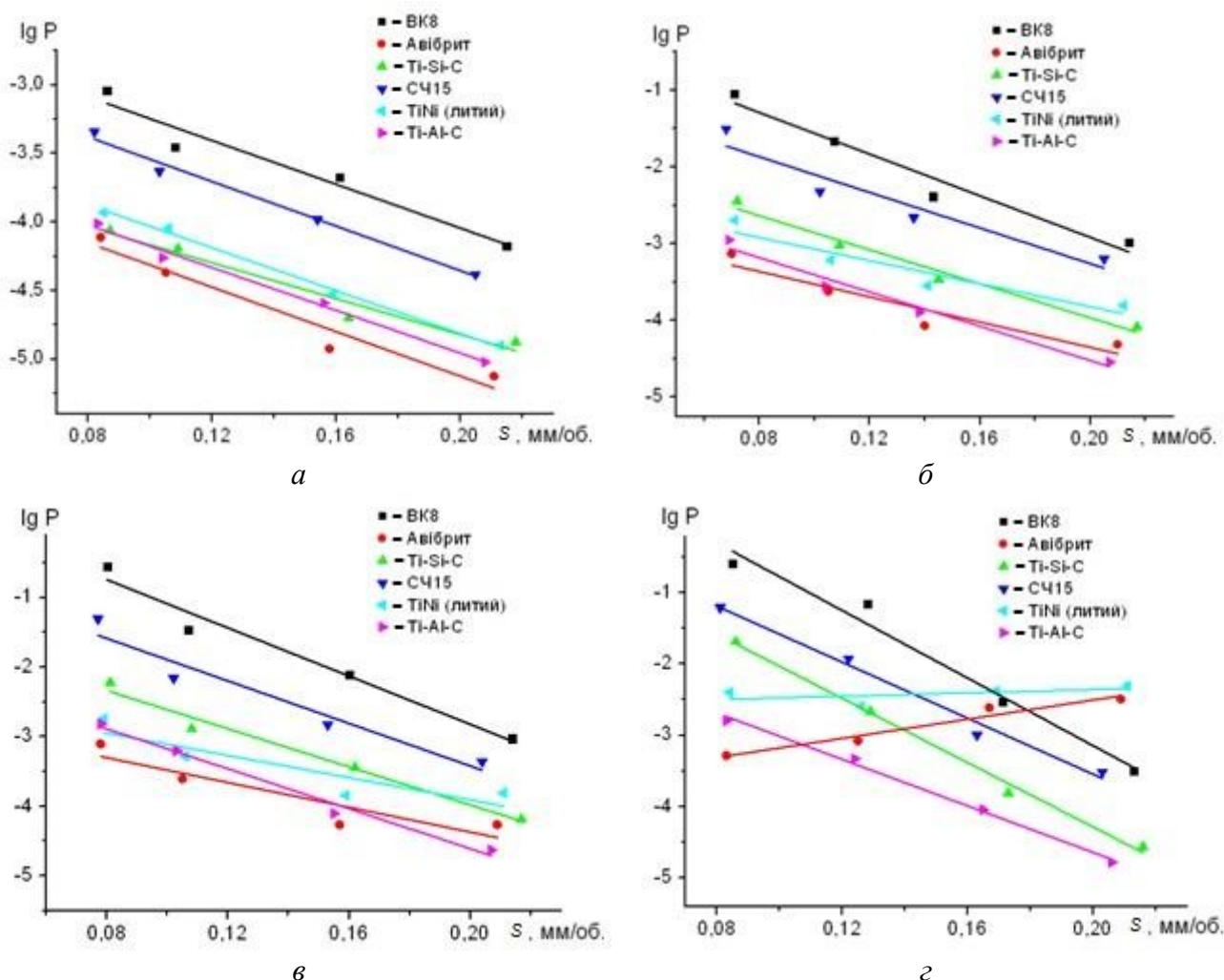


Рис. 2. Залежності ймовірності руйнування різального інструменту від подачі для демпфуючих елементів з різних матеріалів ($t = 0,1$ мм): а – $v = 1$ м/с; б – $v = 1,5$ м/с; в – $v = 2$ м/с; г – $v = 2,5$ м/с

З підвищенням подачі абсолютне напруження на гранях різального інструменту знижувалась, що сприяло зниженню ймовірності руйнування різців з КНБ.

Загалом застосування демпфуючих елементів позитивно впливало на ймовірність руйнування різця, що уможливило отримання в 1,2–1,5 рази нижче абсолютне напруження на поверхнях порівняно з інструментом без демпфування. Для різців зі вставками з TiNi при підвищенні швидкості різання до 2,5 м/с ймовірність руйнування зі збільшенням подачі починає посилюватись. Це зумовлено підвищенням температури в зоні різання за високої швидкості різання і частковою втратою демпфуючих властивостей нікелідом титану.

Залежності ймовірності руйнування різця від швидкості різання для різних матеріалів демпфуючих елементів показано на рис. 3.

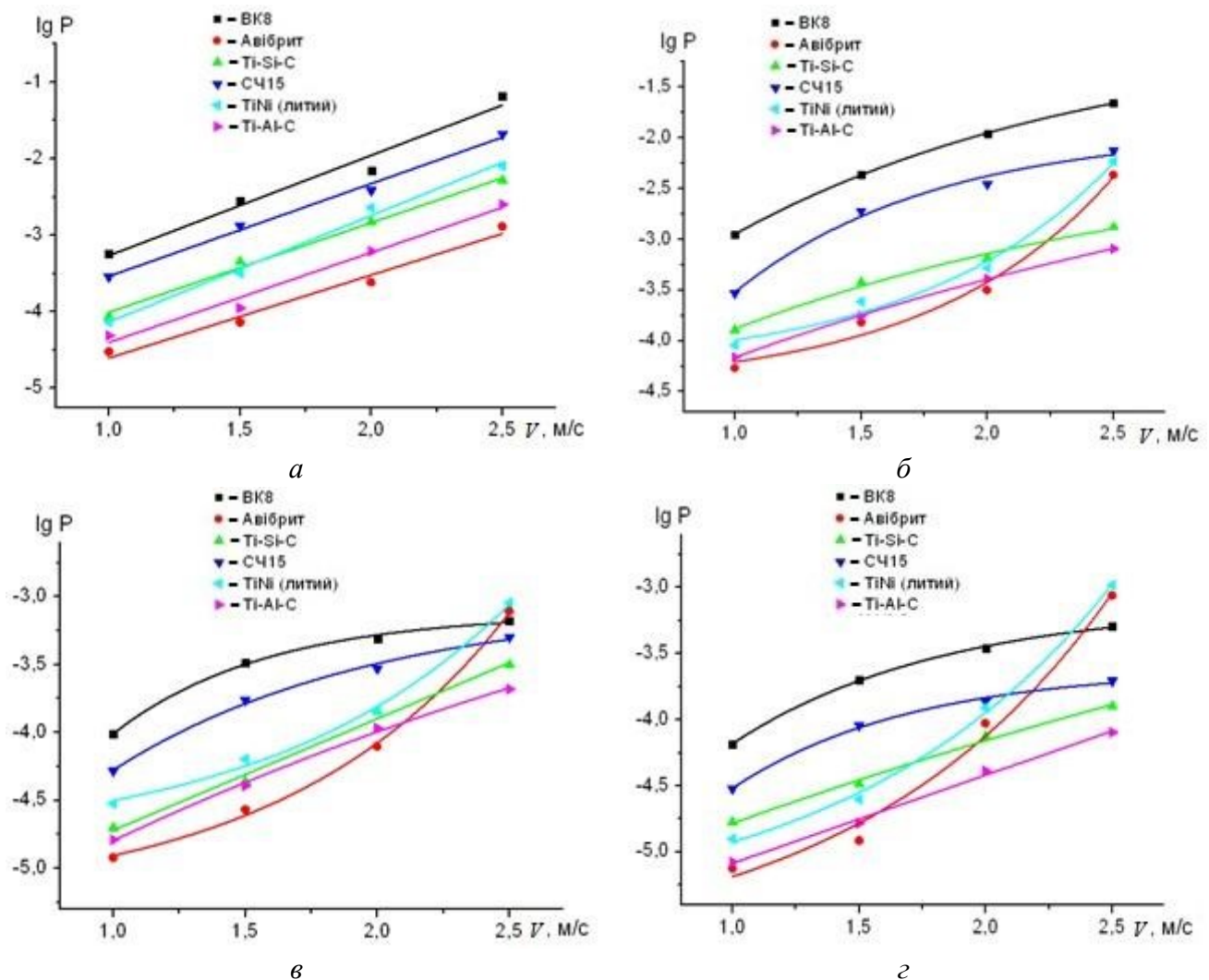


Рис. 3. Залежності ймовірності руйнування різального інструменту від швидкості різання для демпфуючих елементів з різних матеріалів ($t = 0,1$ мм): а – $S = 0,08$ мм/об.; б – $S = 0,11$ мм/об.; в – $S = 0,16$ мм/об.; з – $S = 0,22$ мм/об.

З підвищенням швидкості різання абсолютне напруження на гранях різального інструменту підвищувалось, що призводило до збільшення ймовірності руйнування

різального інструменту з КНБ. При швидкості різання понад 2,0 м/с як демпфуючі елементи Мах-фаз доцільно використовувати Ti–Al–C та Ti–Si–C, що не втрачають демпфуючих властивостей за високої швидкості різання на відміну від вставок з TiNi.

Висновки

Встановлено, що при обробленні загартованих сталей твердістю 58...62 HRC за швидкості різання понад 2 м/с доцільно використовувати демпфуючі вставки з трифазної кераміки Ti–Al–C та Ti–Si–C, які не втрачають демпфуючих властивостей за високої швидкості різання на відміну від вставок з TiNi.

Визначено оптимальний режим чистового точіння загартованих сталей для зниження ймовірності руйнування різального інструменту з КНБ для різців із демпфуючими елементами з TiNi: $v = 1-2$ м/с, $S = 0,08-0,2$ мм/об.

Приведены результаты исследования влияния демпфирующих свойств резца на вероятность разрушения пластин из КНБ при чистовом точении закаленных сталей. Установлены оптимальные режимы чистового точения закаленных сталей в целях уменьшения вероятности разрушения инструмента из КНБ для резцов с демпфирующими элементами из TiNi.

Ключевые слова: кубический нитрид бора, закаленная сталь, вероятность разрушения, демпфирующее свойство.

EFFECT OF DAMPING PROPERTIES OF CUTTERS ON THE PROBABILITY OF FAILURE OF THE cBN PLATES

Studies of influence of the damping properties of the tool on the probability of destruction the plates of the CBN during finish turning of hardened steels were carried out. The optimal regimes for finish turning of hardened steels to reduce the probability of destruction the instrument with CBN for cutting tools with damping elements of TiNi were investigated.

Key words: cubic boron nitride, hardened steel, probability of destruction, damping properties.

Література

1. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
2. Девин Л. Н., Вильгельм М. Прогнозирование вероятности разрушения резцов на основе КНБ // Сверхтвердые матер. – 1992. – № 6. – С. 41–46.
3. Ивченко Т. Г. Вероятностная модель отказов режущего инструмента // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: сб. науч. тр. – 2003.– Вып. № 13. – С. 31–36.
4. Новиков Н. В., Девин Л. Н., Иванов С. А. Силоизмерительное устройство для динамических испытаний // Завод. лаб. – 1980. – № 7. – С. 665–667.
5. Бетанели А. И. Прочность и надежность режущего инструмента. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1973. – 304 с.
6. Остафьев В. А. Расчет динамической прочности режущего инструмента.– М.: Машиностроение, 1979. – 18 с.
7. Новиков Н. В., Девин Л. Н. Расчет вероятности разрушения лезвийных инструментов с использованием пакета программ «Mathcad» // Инструмент. світ. – 2010.– № 4 (48). – С. 4–6.
8. Пат. UA 57353 U, В 23 В 27/16. Різальний інструмент / Л. М. Девін, О. А. Осадчий. – Заявл. 19.07.2010; Опубл. 25.02.2011; Бюл. № 4.

9. Девин Л. Н., Осадчий А. А. Повышение эксплуатационных характеристик резцов из КНБ путем увеличения их демпфирующих свойств // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 5. – С. 62–71.
10. Шевченко А. Д., Шульженко А. А. Новый материал с высокой демпфирующей способностью // Физика и техника высоких давлений. – 1991. – 1. – № 3. – С. 26–31.
11. Исследование демпфирующих свойств материалов на основе МАХ фазы Ti_3AlC_2 / А. В. Старостина, Т. А. Прихна, А. В. Осадчий и др. // Пробл. современ. физ. материаловедения. – 2011. – № 20. – С. 73–79.
12. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys / L. M. Devin, V .P. Bondarenko, O. A. Osadchy, T. V. Nimchenko // Mater. Sci. – 2009. – №45(3). – P. 392–398.

Надійшла 16.06.16

УДК 621.941

Н. Е. Стахнив, канд. техн. наук, **Л. Н. Девин**, д-р. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА РЕЗЦА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЕГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ ИЗ КОМПОЗИТА cBN/Si_3N_4

Экспериментально установлено влияние износа на вероятность разрушения резцов с круглой режущей пластиной из композита cBN/Si_3N_4 при чистовом точении закаленных сталей различной твердости. Определены максимальное напряжение и вероятность разрушения резцов с передней и задней поверхностями резца. Приведены рекомендации по использованию инструментов, оснащенных композитом cBN/Si_3N_4 .

Ключевые слова: *точение закаленных сталей, напряжения, вероятность разрушения инструмента, круглая режущая пластина, композит на основе КНБ.*

Вибрации элементов технологической системы и износ инструмента негативно влияют на работоспособность режущего инструмента [1]. Для снижения интенсивности износа и повышения работоспособности резцов специалисты разрабатывают новые инструментальные материалы со специальными свойствами [2]. Так, в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработан перспективный инструментальный материал – композит cBN/Si_3N_4 [2]. Результаты исследования оснащенных им резцов показали, что при чистовом точении закаленных сталей существуют режимы обработки, обеспечивающие высокую стабильность процесса резания [3]. Однако по мере увеличения износа резца его геометрические параметры изменяются. Это приводит к изменению условий контакта инструмента с деталью и, как следствие, увеличению силы резания и повышению уровня вибраций. Отмеченное обстоятельство негативно влияет на качество обработанной поверхности [4; 5].