

Исследование процессов обработки

УДК 621.941

Л. Н. Девин, Н. Е. Стахнив (г. Киев)

Исследование влияния износа резца из композита на основе КНБ на вероятность его разрушения при чистовом точении закаленных сталей

Экспериментально установлено влияние величины износа на вероятность разрушения резца с круглой режущей пластиной из композита cBN/Si₃N₄ при чистовом точении закаленных сталей различной твердости. Определены максимальные напряжения и вероятность разрушения резца со стороны передней и задней поверхностей. Приведены рекомендации по использованию резцов, оснащенных композитом cBN/Si₃N₄.

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

Вибрации элементов технологической системы и износ резцов оказывают отрицательное влияние на работоспособность режущего инструмента [1]. Для снижения интенсивности износа и повышения работоспособности резцов 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/Si₃N₄ [2]. Исследование оснащенных им резцов показало, 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 резца с деталью и, как следствие, увеличению силы резания и уровня вибраций. Отмеченное обстоятельство отрицательно сказывается на качестве обработанной поверхности [4, 5].

Часто на практике при увеличении износа резца по задней поверхности наблюдаются сколы режущей кромки, т. е. вероятность его разрушения увеличивается. На рис. 1 приведены осциллограммы составляющих силы резания и ускорений вибрации во время обработки. Исходная величина износа резца по задней поверхности до момента скола составляла $h_3 \approx 0,28$ мм. В

момент времени τ_c , когда имел место скол режущей кромки, составляющие силы резания скачкообразно уменьшились, а амплитуда ускорений вибрации резко возросла (см. рис. 1). Таким образом, выбор оптимальных условий резания требует всестороннего изучения влияния износа на вероятность разрушения резца.

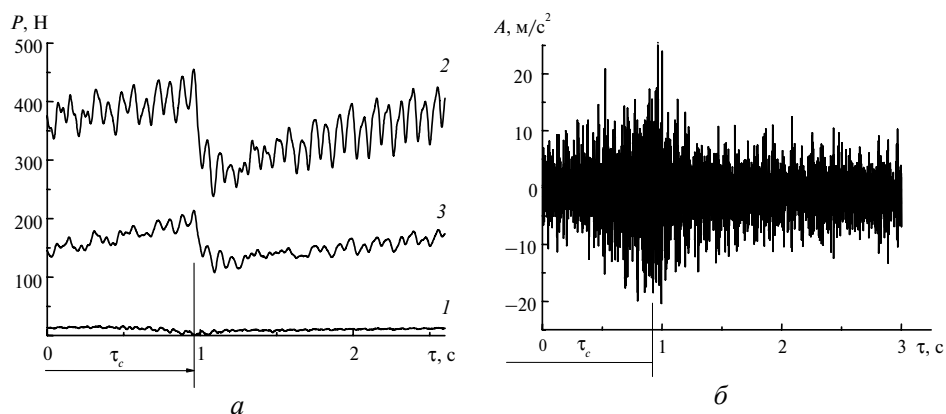


Рис. 1. Осциллограммы составляющих P_x (1), P_y (2), P_z (3) силы резания (а) и ускорений вибрации (б).

Цель данной работы – экспериментальное исследование влияния износа резца, оснащенного круглой режущей пластиной из композита cBN/Si_3N_4 , на вероятность его разрушения при чистовом точении закаленной стали.

Работоспособность резцов из композита cBN/Si_3N_4 изучали на автоматизированном стенде [1] на базе высокоточного токарного станка с ЧПУ мод. ТПК 125ВМ, оснащенного динамометром УДМ 100. Исследования выполняли при точении заготовок из закаленной стали ХВГ твердостью 56–60 и 59–60 HRC. Резец с механическим креплением круглой режущей пластины RNMN070300T из композита cBN/Si_3N_4 имел передний угол $\gamma = -10^\circ$ и задний угол $\alpha = 10^\circ$. Подача S , глубина резания t и скорость резания v были фиксированы: $S = 0,25$ мм/об, $t = 0,1$ мм, $v \approx 2$ м/с.

Образцы круглых режущих пластин диаметром 7 мм и толщиной 3,18 мм из композита cBN/Si_3N_4 были испытаны на прочность при одноосном растяжении по методике [6] в условиях динамического нагружения [7]. Скорость деформирования соответствовала оптимальной скорости резания для композита cBN/Si_3N_4 и составляла ~ 2 м/с, среднее значение предела прочности при растяжении и его среднеквадратическое отклонение были равны соответственно 964,5 и 73,4 МПа, среднее значение предела прочности при сжатии и его среднеквадратическое отклонение – 3497,2 и 311,4 МПа.

Сигналы от динамометра по трем каналам и от акселерометра поступали на аналоговый цифровой преобразователь АЦП ADA-1406. Частота опроса составляла 85 кГц. Управление АЦП ADA-1406 и обработку информации проводили при помощи пакета программ Power Graph [8]. Это позволяло измерять значения составляющих силы резания $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$, а также формировать базы данных, которые в последующем использовали для расчета вероятности разрушения резца на всех этапах его работы [9].

На рис. 2 приведены осциллограммы составляющих $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ силы резания для износа резца $h_3 = 0,05$ и 0,35 мм при обработке заготовок с твердостью 56–60 и 59–60 HRC. Видно, что увеличение разброса твердости

заготовки приводит к значительному росту амплитуды колебаний, особенно при $h_3 = 0,35$ мм. Изменение h_3 от 0,05 до 0,35 мм привело к увеличению составляющих силы резания в 1,5–3,0 раза.

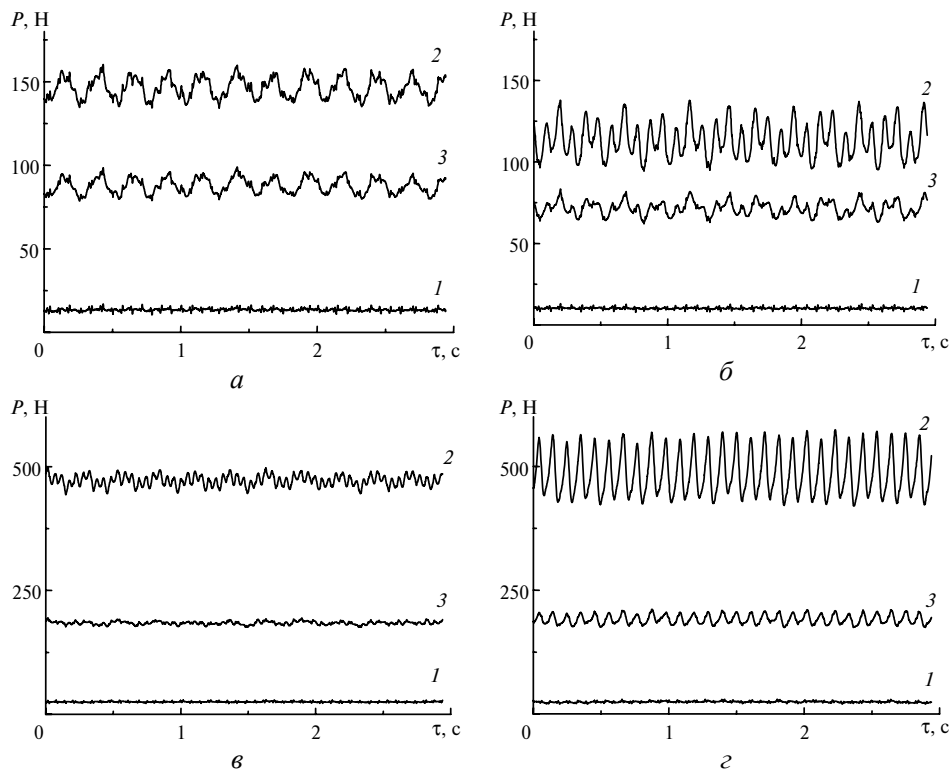


Рис. 2. Осциллограммы составляющих P_x (1), P_y (2), P_z (3) силы резания при обработке заготовок твердостью 59–60 (а, в), 56–60 (б, г) HRC: величина износа резца $h_3 = 0,05$ (а, б), 0,35 (в, г) мм.

На основании полученных экспериментальных данных по методике, предложенной Т. Н. Лоладзе [10], были рассчитаны максимальные (по модулю) напряжения на передней и задней поверхностях резца. По мере износа резца эти напряжения изменялись. На рис. 3 приведены зависимости максимальных напряжений и диапазон их изменения на передней поверхности резца от величины его износа h_3 при обработке заготовок различной твердости.

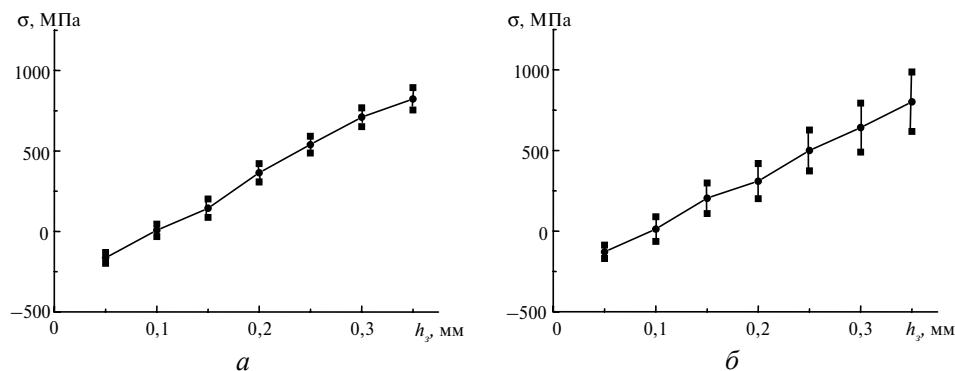


Рис. 3. Зависимость максимального напряжения на передней поверхности резца от его износа при обработке заготовок твердостью 59–60 (а), 56–60 (б) HRC.

Из результатов анализа зависимостей (см. рис. 3) следует, что при незначительном (до 0,1 мм) износе резца на его передней поверхности действуют сжимающие напряжения. С ростом износа резца величины сжимающих напряжений на передней поверхности снижаются до нуля, затем происходит перераспределение напряжений и появление на передней поверхности резца растягивающих напряжений. Эти напряжения по мере увеличения износа резца возрастают, приближаясь к пределу прочности при растяжении материала резца. Особенностью напряженно-деформированного состояния резца при износе 0,1 мм является наличие знакопеременных напряжений на его передней поверхности (см. рис. 3). Однако абсолютная величина этих напряжений невелика и они не приводят к существенному снижению работоспособности резца. Кроме того, установлено, что диапазон изменения напряжений в резце при обработке заготовок твердостью 56–60 HRC возрастает более чем в 2 раза по сравнению с таковыми при обработке заготовок твердостью 59–60 HRC, что необходимо учитывать при оценке вероятности разрушения резца.

На рис. 4 приведены зависимости максимальных напряжений и диапазонов их изменения на задней поверхности резца от величины износа резца h_3 при обработке заготовок с различным диапазоном изменения твердости. Во всем исследуемом диапазоне износа по задней поверхности резца действуют сжимающие напряжения. По мере увеличения h_3 напряжения сжатия возрастают по модулю и при $h_3 = 0,35$ мм приближаются к пределу прочности при сжатии материала резца. Следует отметить, что диапазон изменения сжимающих напряжений в резце при обработке заготовок твердостью 56–60 HRC в 2 раза больше чем таковой при обработке заготовок твердостью 59–60 HRC, и это отрицательно сказывается на надежности работы резца.

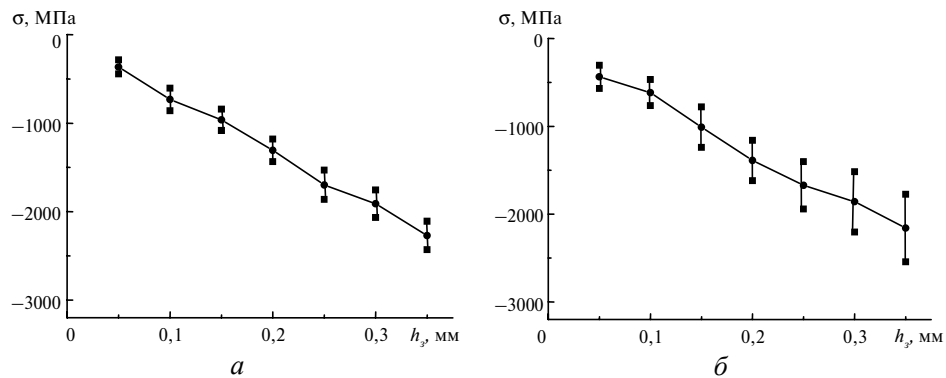


Рис. 4. Зависимость максимального напряжения на задней поверхности резца от его износа при обработке заготовок твердостью 59–60 (а) и 56–60 (б) HRC.

Для количественной оценки влияния износа резца на надежность его работы были проведены дополнительные исследования. В [11] показано, что в качестве характеристики работоспособности резца можно использовать вероятность его разрушения. Причем оценку вероятности разрушения следует проводить как со стороны передней (p_n), так и задней (p_3) поверхностей резца, общая вероятность его разрушения тогда определяется зависимостью $p = p_n + p - p_n p_3$ [12]. Такой подход можно использовать для непрерывного мониторинга вероятностей разрушения p_n , p_3 и p в процессе резания, если эти параметры рассчитывать в каждый конкретный момент обработки.

Как известно [1, 10], на передней и задней поверхностях резца в зависимости от условий резания могут возникать напряжения растяжения или сжатия. Для их расчета можно использовать различные аналитические зависимости. Предположим, на поверхности резца действует максимальное напряжение растяжения σ_p (рис. 5). В этом случае, зная плотность распределения предела прочности при растяжении $f_p(\sigma)$, вероятность разрушения вычисляем по зависимости

$$p_p = \int_0^{\sigma_p} f_p(\sigma) d\sigma. \quad (1)$$

Геометрическая интерпретация вероятности p_p – это площадь фигуры (см. рис. 5), образованной кривой плотности распределения предела прочности при растяжении $f_p(\sigma)$, осью абсцисс и вертикальной линией с абсциссой равной σ_p .

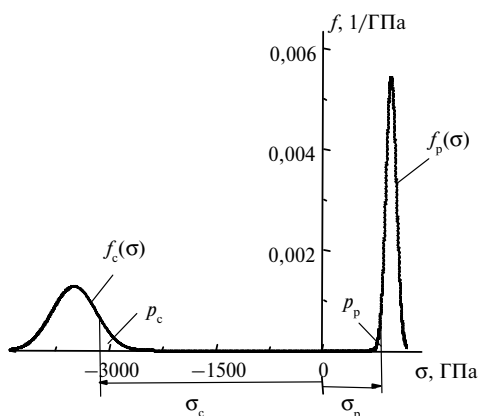


Рис. 5. Плотность распределения предела прочности при растяжении и сжатии материала резца.

Если на поверхности резца действуют максимальные по абсолютной величине напряжения сжатия σ_c (см. рис. 5), то, используя плотность распределения предела прочности при сжатии $f_c(\sigma)$, вероятность разрушения определяем по зависимости

$$p_c = \int_{\sigma_c}^0 f_c(\sigma) d\sigma. \quad (2)$$

Геометрическая интерпретация вероятности p_c – это площадь фигуры, образованной кривой плотности распределения предела прочности при сжатии $f_c(\sigma)$, осью абсцисс и вертикальной линией с абсциссой равной σ_c .

Разработанная программа расчета вероятности разрушения резца со стороны передней (p_n) и задней (p_3) поверхностей учитывает характер напряжений (растяжение или сжатие), которые имели место на его поверхностях в каждый конкретный момент времени. Зависимости (1) и (2) позволяют оценить вероятность разрушения резца непосредственно во время обработки и, следовательно, осуществлять мониторинг надежности работы резца в любой момент резания.

На рис. 6 приведено изменение вероятности разрушения резца со стороны передней (p_n) и задней (p_3) поверхностей и общей вероятности разрушения p

во время обработки. Для характеристики надежности резца выбирали максимальные значения вероятностей разрушения p_n, p_3, p .

Анализ вероятности разрушения резца при обработке заготовок разной твердости (см. рис. 6) показывает, что увеличение разброса твердости заготовки приводит к значительному увеличению диапазона изменения силы резания (см. рис. 2, в, з), а соответственно, и диапазона изменения напряжений на поверхностях резца (см. рис. 3, 4). Это обуславливает возрастание вероятности разрушения резца (см. рис. 6).

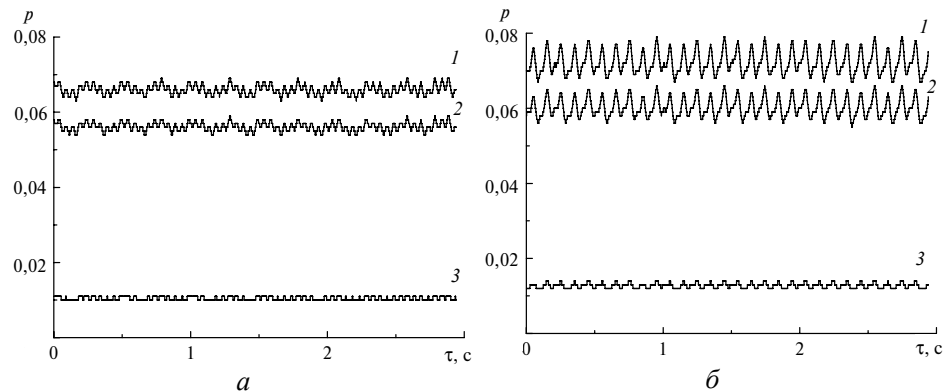


Рис. 6. Вероятности p (1), p_n (2), p_3 (3) разрушения резца при обработке заготовок твердостью 59–60 (а) и 56–60 (б) HRC при $h_3 = 0,35$ мм.

На рис. 7 показано изменение максимальных вероятностей разрушения p_n, p_3 и p в линейном и логарифмическом масштабах в зависимости от величины износа резца h_3 при обработке заготовок твердостью 59–60 и 56–60 HRC. Видно, что до того момента, когда износ резца не превышает $h_3 = 0,3$ мм основное влияние на вероятность его разрушения оказывают сжимающие напряжения на задней поверхности (см. рис. 7, а, б). Особую опасность представляет увеличение износа резца более 0,3 мм, когда преобладают напряжения растяжения на его передней поверхности и наблюдается резкое увеличение вероятностей разрушения (см. рис. 7, в, з).

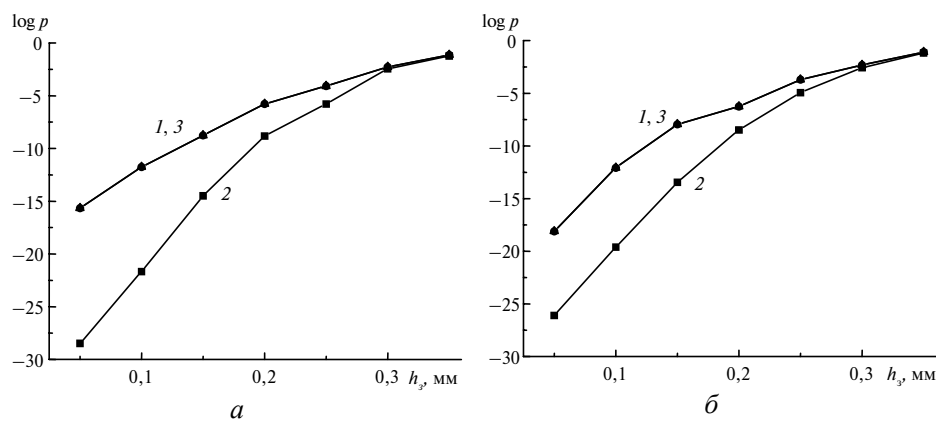


Рис. 7. Изменение максимальных вероятностей p (1), p_n (2), p_3 (3) разрушения резца в зависимости от величины его износа при обработке заготовок твердостью 59–60 (а, в) и 56–60 (б, з) HRC в логарифмическом (а, б) и линейном (в, з) масштабах.

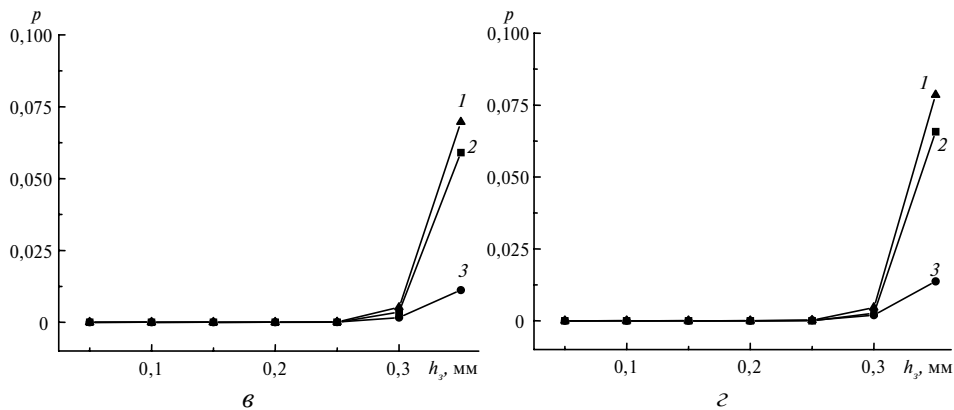


Рис. 7. (Продолжение)ю

Полученные результаты позволяют считать величину износа резца, оснащенного пластиной из композита cBN/Si_3N_4 , равную 0,3 мм, критической величиной, определяющей его работоспособность. При меньшем износе вероятность разрушения резца не превышает 5 %.

ВЫВОДЫ

Предложены аналитические зависимости для расчета вероятности разрушения резца в каждый конкретный момент обработки, что позволяет реализовать мониторинг его надежности в процессе эксплуатации.

При точении закаленной стали резцом с круглой режущей пластиной RNMN070300T из композита cBN/Si_3N_4 особо опасными являются растягивающие напряжения на его передней поверхности при величине износа $h_3 > 0,3$ мм.

Увеличение разброса твердости заготовки приводит к значительному увеличению амплитуды изменения силы резания, что обуславливает возрастание вероятности разрушения резца, особенно при величине износа $h_3 = 0,35$ мм.

Критическая величина износа для резца, оснащенного режущими пластинами из композита cBN/Si_3N_4 , составляет 0,3 мм. При таком износе резца не только увеличивается интенсивность изнашивания, но и резко возрастает вероятность его разрушения.

Експериментально встановлено вплив величини зносу на ймовірність руйнування різців з круглою ріжучою пластиною із композиту cBN/Si_3N_4 при чистовому точінні загартованих сталей різної твердості. Визначено максимальні напруження і ймовірність руйнування різців зі сторони передньої і задньої поверхонь. Приведено рекомендації з використання інструментів, що оснащені композитом cBN/Si_3N_4 .

Ключові слова: точіння загартованих сталей, напруження, ймовірність руйнації інструмента, кругла ріжуча пластина, композит на основі КНБ.

The authors have experimentally clarified the influence of the tool wear on the tool fracture probability in finish turning of hardened steels of various hardness values using a tool with a round cutting insert of cBN/Si_3N_4 composite. The maximum stresses and fracture probability have been determined for the tool face and flank. Recommendations regarding the use of cBN/Si_3N_4 -inserted cutting tools are provided.

Keywords: turning of hardened steels, stresses, tool fracture probability, round cutting insert, cBN -based composite.

1. Девин Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента – Киев: Наук. думка, 1992. – 131 с.

2. *Петруша І. А., Осипов О. С., Смірнова Т. І. та ін.* Різальний композит кубічного нітриду бору з низькою модульною добавкою жароміцного нітриду кремнію // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления.* – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 206–212.
3. *Стахнив Н. Е., Девин Л. Н., Петруша І. А., Осипов А. С.* Динамические явления при чистовом точении закаленных сталей инструментом из композита на основе КНБ // *Сверхтв. материалы.* – 2009. – № 3. – С. 75–83.
4. *Стахнив Н. Е., Девин Л. Н.* Исследование износа резцов с композитом на основе КНБ и его влияния на силы резания при чистовом точении закаленных сталей // *Там же.* – 2011. – № 2. – С. 77–85.
5. *Стахнив Н. Е., Девин Л. Н.* Исследование влияния износа резца, оснащенного пластиной из композита на основе КНБ, на его вибрации при чистовом точении закаленных сталей // *Там же.* – 2012. – № 3. – С. 62–69.
6. *Девин Л. Н.* Определение предела прочности при растяжении поликристаллических сверхтвердых материалов // *Там же.* – 1988. – № 2. – С. 24–28.
7. *Новиков Н. В., Девин Л. Н., Иванов С. А.* Силоизмерительное устройство для динамических испытаний // *Заводская лаборатория.* – 1980. – 46, № 7. – С. 665–667.
8. *Девин Л. Н., Сулима А. Г.* Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // *Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика (ПиКАД).* – 2008. – 3. – С. 24–26.
9. *Новиков Н. В., Девин Л. Н.* Расчет вероятности разрушения лезвийных инструментов с использованием пакета программ Mathcad // *Инструментальный світ.* – 2010. – № 4 (48). – С. 4–6.
10. *Лолодзе Т. Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
11. *Девин Л. Н., Вильгельм М.* Прогнозирование вероятности разрушения резцов на основе КНБ // *Сверхтв. материалы.* – 1992. – № 6. – С. 41–46.
12. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 13.02.12