

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].

На практике при увеличении износа задней поверхности инструмента наблюдаются сколы режущей кромки. Для примера на рис. 1 показана осциллограмма вибраций в момент скола режущей кромки. Исходный износ задней поверхности резца до момента скола составлял $h_3 \approx 0,28$ мм. В момент τ_c (рис. 1) при сколе режущей кромки амплитуда ускорений A резко увеличилась. Таким образом, выбор оптимальных условий резания требует всестороннего изучения влияния износа на вероятность разрушения резца, а также реализации мониторинга вероятности разрушения инструмента в процессе обработки.

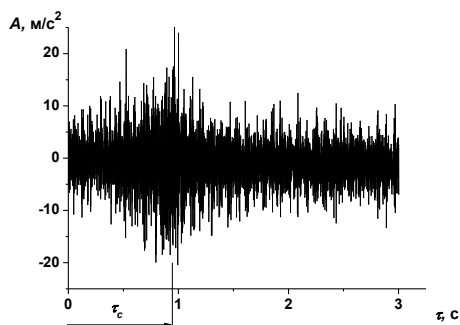


Рис. 1. Осциллограмма вибраций в момент скола режущей кромки резца

Работоспособность резцов из композита $\text{cBN/Si}_3\text{N}_4$ изучали с помощью автоматизированного стенда [1] на базе высокоточного токарного станка с ЧПУ модели ТПК 125ВМ, оснащенного динамометром УДМ 100. Исследования выполняли при точении заготовок из закаленной стали ХВГ твердостью 56-60 HRC. Резец с механическим креплением круглой режущей пластины RNMN070300T из ПСТМ $\text{cBN/Si}_3\text{N}_4$ имел передний угол $\gamma = -10^\circ$ и задний $\alpha = 10^\circ$. Были зафиксированы

подача $S = 0,25$ мм/об, глубина резания $t = 0,1$ мм и скорость резания $v = 2$ м/с

Образцы круглых режущих пластин диаметром 7 мм, толщиной 3,18 мм из композита $\text{cBN/Si}_3\text{N}_4$ испытывали на прочность при одноосном растяжении по методике приведенной в [6] в условиях динамического нагружения [7]. Средний предел прочности при растяжении составил 964,5 МПа, среднеквадратическое отклонение – 73,4 МПа, средний предел прочности при сжатии – -3497,2 МПа, среднеквадратическое отклонение – 311,4 МПа.

Сигналы динамометра P_x , P_y , P_z и акселерометра A поступали на АЦП ADA-1406. Частота опроса составляла 85 кГц. Управление АЦП ADA-1406 и обработку информации проводили с помощью пакета Power Graph [8]. Это позволяло измерять составляющие силы резания $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ и сформировать базы данных, которые в последующем использовали для расчета вероятности разрушения резца на всех этапах его работы [9].

Примеры участков осциллограмм составляющих силы резания $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ при износе инструмента $h_3 = 0,05$ мм и $h_3 = 0,35$ мм показаны на рис. 2. Увеличение износа с 0,05 до 0,35 мм приводило к увеличению составляющих силы резания в 1,5 – 3 раза.

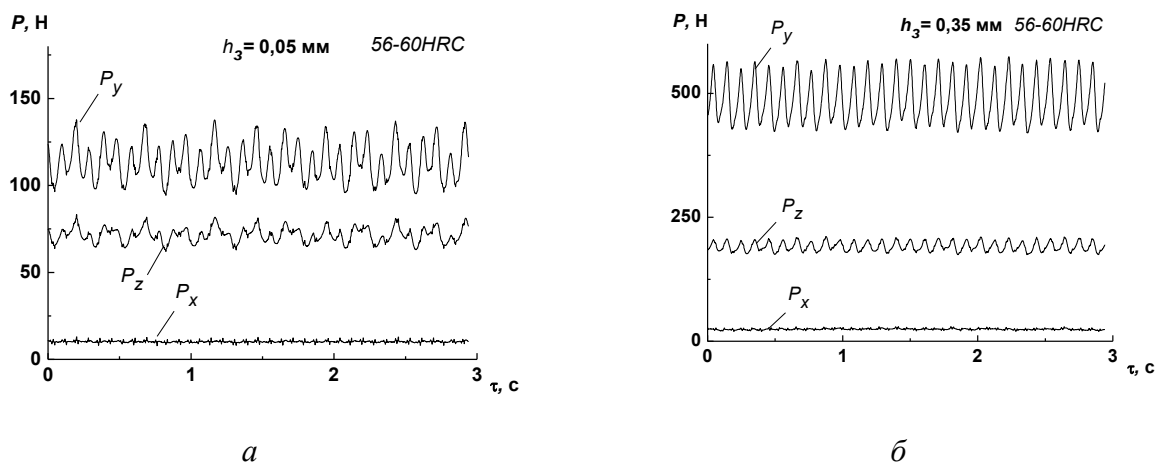


Рис. 2. Осциллограммы составляющих силы резания P_x , P_y , P_z при износе инструмента: а – $h_3 = 0,05$ мм; б – $h_3 = 0,35$ мм.

На основании полученных экспериментальных данных по методике, предложенной Т.Н. Лоладзе [10], рассчитали максимальное (по модулю) напряжение при растяжении и сжатии на передней и задней поверхностях резца. Максимальное напряжение и диапазоны его изменения на передней и задней поверхностях резца от износа инструмента h_3 показаны на рис. 3.

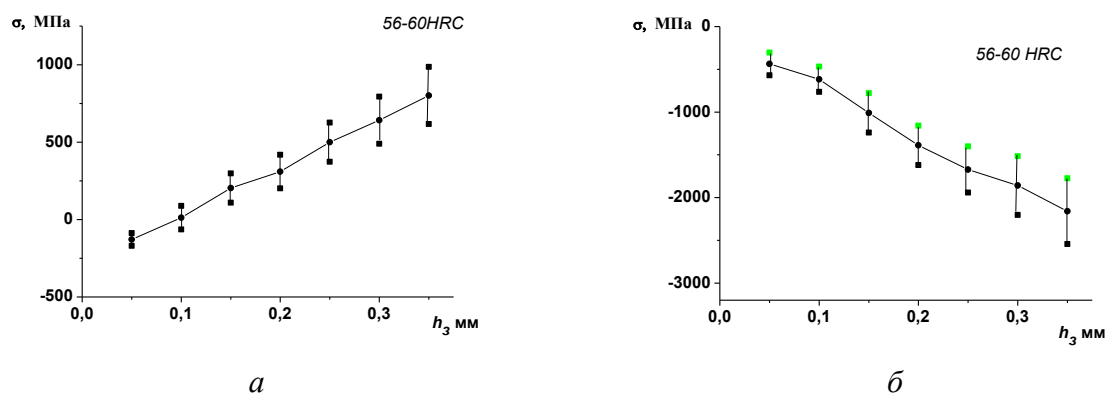


Рис. 3. Зависимость максимального напряжения от износа инструмента на поверхности резца: а – передней; б – задней

Из данных рис. 3 следует, что при незначительном (до 0,1 мм) износе на передней поверхности резца действует сжимающее напряжение. С увеличением износа инструмента сжимающее напряжение на его передней поверхности приближается к нулю, затем перераспределяется и на передней поверхности инструмента формируется растягивающее напряжение. Последнее по мере увеличения износа инструмента повышается, приближаясь к пределу прочности при растяжении материала резца. Особенность напряженно-деформированного состояния резца при износе 0,1 мм состоит в наличии знакопеременного напряжения на передней поверхности инструмента (рис. 3, а). Однако абсолютное значение этого напряжения не значительно и не способствует существенному снижению работоспособности инструмента.

Зависимости максимального напряжения и диапазоны его изменения на задней поверхности резца от износа инструмента h_3 при обработке заготовок показаны на рис. 3, б. Во всем исследуемом диапазоне износа инструмента по задней поверхности резца действовало сжимающее напряжение. По мере увеличения износа резца h_3 напряжение сжатия возрастает по модулю и при износе $h_3 = 0,35$ приближается к пределу прочности при сжатии материала инструмента. Это обстоятельство негативно влияет на работоспособность инструмента.

Для количественной оценки влияния износа резца на его работоспособность провели дополнительные исследования. Как показано в [11], для характеристики работоспособности резца можно использовать вероятность его разрушения, причем оценивать вероятности разрушения следует как со стороны передней p_n поверхностей инструмента, так и задней p_z . Общая вероятность разрушения резца определяется зависимостью $p = p_n + p_z - p_n \cdot p_z$ [12]. Такой подход можно использовать для непрерывного мониторинга вероятности разрушения p_n , p_z и p при резании, если эти параметры рассчитывать в каждый конкретный момент обработки.

Как известно [1; 10], на передней и задней поверхностях резца в зависимости от условий резания может возникать напряжение растяжения или сжатия, которое рассчитывают по аналитическим зависимостям. Предположим, на поверхности резца действует максимальное напряжение растяжения σ_r (рис. 4). В этом случае, при известной

плотности распределения предела прочности при растяжении $f_p(\sigma)$ вероятность разрушения определяют по зависимости

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

Геометрическая интерпретация вероятности p_p – площадь фигуры (рис. 4) под графиком плотности распределения предела прочности при растяжении $f_p(\sigma)$, ограниченная осью абсцисс и вертикальной линией с абсциссой σ_p .

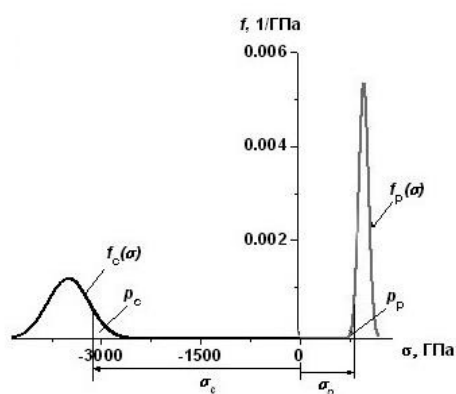


Рис. 4. Графики плотностей распределения пределов прочности при растяжении и сжатии материала инструмента для расчета вероятности разрушения

Если на поверхности резца действует максимальное по абсолютной величине напряжение сжатия σ_c (рис. 4) при известной плотности распределения предела прочности при сжатии $f_c(\sigma)$, вероятность разрушения определяют по зависимости

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

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

В разработанной программе расчета вероятности разрушения передней p_n и задней p_z поверхностей режущего инструмента учтен характер напряжения (растяжения или сжатия) на них в каждый конкретный момент времени. По зависимостям (1) и (2) оценивают вероятность разрушения резца непосредственно во время обработки и, таким образом, осуществляют мониторинг работоспособности инструмента в любой момент резания.

Графики изменения вероятности разрушения по передней p_n и задней p_z поверхностях резца и общей вероятности его разрушения p во время обработки показаны на рис. 5. Результаты

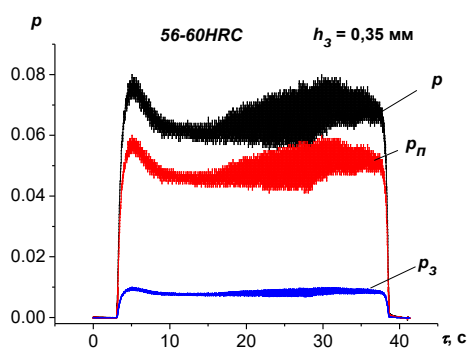


Рис.5. Графики вероятности разрушения резца

исследования показывают, что вероятность разрушения инструмента изменяются в широком диапазоне. Для характеристики надежности инструмента выбирали максимальные значения вероятностей p_n, p_z, p как наиболее опасные.

Изменение максимальной вероятности разрушения p_n, p_z и p в линейной и логарифмической шкалах в зависимости от износа инструмента h_3 показано на рис. 6. Как видно до износа инструмента $h_3 = 0,3$ мм на вероятность разрушения резца существенно влияют сжимающее напряжение на задней поверхности резца (см. рис 3, а). При износе инструмента $h_3 > 0,3$ мм преобладает напряжение растяжения на

передней поверхности резца (см. рис. 3,б). Особенно опасно увеличение износа инструмента более 0,3 мм, когда резко увеличивается вероятность его разрушения (рис. 6, б).

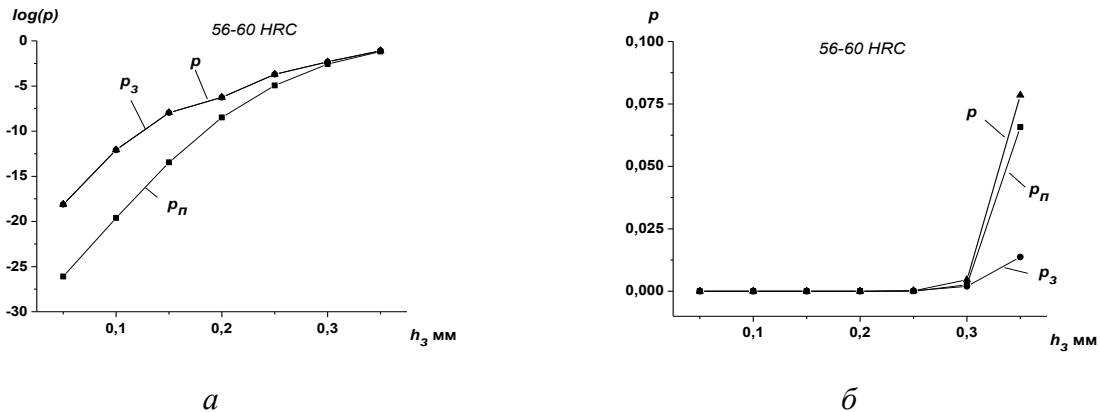


Рис. 6. Зависимости: а – логарифмов вероятности; б – вероятности разрушения резца

Согласно полученным результатам приходим к выводу, что износ инструмента, оснащенного пластиной из композита cBN/Si_3N_4 , $h_3 = 0,3$ мм является критической величиной, определяющей работоспособность. При меньшем износе вероятность разрушения инструмента не превышает 0,005.

Выводы

1. Описаны аналитические зависимости для расчета вероятности разрушения резца в каждый конкретный момент обработки, что позволит реализовать мониторинг его надежности в процессе эксплуатации.
2. При точении закаленной стали резцами с круглой режущей пластиной RNMN070300T из ПСТМ cBN/Si_3N_4 особо опасно растягивающее напряжение на передней поверхности инструмента при износе $h_3 > 0,3$ мм.
3. Критический износ инструмента, оснащенного режущими пластинами из композита cBN/Si_3N_4 , составляет 0,3 мм. Этому значению соответствует не только увеличение интенсивности изнашивания резца, но и резко возрастает вероятность его разрушения.

Експериментально встановлено вплив зносу на ймовірність руйнування різців з круглою різальною пластинною із композиту cBN/Si_3N_4 при чистовому точінні загартованих сталей різної твердості. Визначено максимальне напруження і ймовірність руйнування передньої і задньої поверхонь різців. Наведено рекомендації з використання інструментів, обладнаних композитом cBN/Si_3N_4 .

Ключові слова: *точіння загартованих сталей, напруження, ймовірність руйнування інструменту, кругла різальна пластинна, композит на основі КНБ.*

STUDY OF CBN BASED COMPOSITE CUTTERS WEARING AND ITS INFLUENCE ON THE FRACTURE TOOL PROBABILITY AT THE FINE TURNING OF THE HARDENED STEELS

The influence of the round cutters wearing value from composite cBN/Si_3N_4 on the fracture tool probability at the fine turning of the hardened steels is determined. The maximum stress and the fracture tool probability front and back surfaces are determined. The recommendations for the use of tools, equipped with a composite on the cBN base, are given.

Key words: *turning of the hardened steels, the stress, the fracture tool probability, round cutting insert, composite on the cBN base.*

Литература

1. Девин Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента – К.: Наук. думка, 1992. – 131 с.
2. Різальний композит кубічного нітриду бору з низькомодульною добавкою жароміцного нітриду кремнію // А. І. Петруша, О. С. Осіпов, Т. І. Смирнова, та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 206-212.
3. Dynamic phenomena in finish turning of hardened steels with cBN-based tools N. E. Stakhniv, L. N. Devin, I. A. Petrusha, A. S. Osipov // J. of Superhard Mater. – 2009. – 31. – N 3. – P. 196–202
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 // Сверхтвердые матер. – 2011. – № 2. – С. 77–85.
5. Стахнив Н. Е., Девин Л. Н. Исследование влияния износа инструмента с композитом на основе КНБ на вибрации при чистовом точении закаленных сталей // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 3. – С. 62–69.
6. Девин Л. Н. Определение предела прочности при растяжении поликристаллических сверхтвердых материалов // Сверхтвердые матер. – 1988. – № 2. – С. 24–27.
7. Новиков Н. В., Девин Л. Н., Иванов С. А. Силовой измерительное устройство для динамических испытаний // Заводская лаб. – 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.– 2008. – № 3. – С. 24–26.
9. Новиков Н. В., Девин Л. Н. Расчет вероятности разрушения лезвийных инструментов с использованием пакета программ «Mathcad» // Инструмент. світ – 2010. – № 4 (48). – С. 4–6.
10. Лоладзе 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 // Сверхтвердые матер. – 1992. – № 6 – С. 41–46.
12. Вентцель Е. С. Теория вероятности. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

Поступила 19.05.16