

А.С. Мановицкий, к.т.н. с.н.с.

С.А. Клименко, к.т.н.

М.Ю. Копейкина, к.т.н., с.н.с.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины*

### Топография и площадь изношенной задней поверхности резца с радиусом при вершине из ПКНБ при чистовом точении закаленной стали ШХ-15

*Изложенные в статье закономерности изнашивания резцов из ПКНБ киборит с образованием достаточно регулярного микрорельефа изношенной задней поверхности позволяют предложить расчетный метод оценки фактической площади поверхности износа в зависимости от суммарной длины главной и вспомогательной режущих кромок, высоты фаски износа по задней поверхности и измеренного усредненного угла наклона стенок впадин микрорельефа. На основе проведенных исследований установлено, что наличие бороздообразного профиля на задней поверхности резца увеличивает фактическую площадь контакта с обрабатываемым материалом на 30 % в сравнении с площадью по номинальному контуру износа.*

**Ключевые слова:** *резцы из ПКНБ; киборит; закономерности изнашивания; расчетный метод; фактическая площадь; задняя поверхность; режущие кромки; угол наклона; стенки впадин; микрорельеф износа.*

**Введение.** Современные представления об изнашивании резцов из ПКНБ, основанные на многочисленных экспериментальных исследованиях, позволяют утверждать, что износ – это сложное термодинамическое явление, определяемое одновременно несколькими механизмами: абразивным, адгезионным, усталостным, химическим и диффузионным. В зависимости от природы контактирующих материалов и условий взаимодействия в той или иной степени превалирует один из перечисленных механизмов [2, 10].

Режущий инструмент подвергается абразивному, адгезионному, диффузионному, окислительному, химическому износу и совокупности действия этих факторов [3, 4]. Многие факторы влияют на износостойкость инструмента. Увеличение радиуса при вершине резца, например, упрочняет резец, поскольку с ростом радиуса фактический главный угол в плане уменьшается, и растет предельное значение толщины среза, при этом скальваемая площадь режущей кромки также превышает площадь контакта резца со снимаемым припуском [1]. Исследования [6] показали, что при цилиндрическом точении общая стойкость резцов примерно в два раза выше, нежели при криволинейном растачивании. Резцы, оснащенные ПКНБ, стабильно обеспечивают геометрические и физико-механические параметры состояния поверхностного слоя детали с одновременным его модифицированием [4, 5]. Важным этапом в исследовании механизма разрушения режущего инструмента следует считать работы А.И. Бетанели [1], Ф.Р. Арчибальда [8], Г.Л. Хаета [7] и других исследователей, главным результатом которых было определение предельной или «ломающей» толщины среза  $a$  для заданной пары «инструментальный – обрабатываемый материалы», при достижении которой наступает скальвание режущей части резца.

**Постановка задач.** Целью данной работы является расширение представлений о изнашивании режущих инструментов из ПКНБ при чистовом точении закаленных сталей на основе исследований топографии изношенных участков инструмента.

**Изложение основного материала.** Износ резцов из ПКНБ вследствие высокой твердости инструментального материала и высокой способности сопротивляться абразивному износу при точении закаленных сталей существенно ниже, чем у твердосплавных и керамических инструментов, поэтому они по праву занимают лидирующие позиции при обработке такого класса конструкционных материалов. Превалирующим видом является износ по задней поверхности, а характерные примеры таких поверхностей износа приведены на рис. 1 [9]. Следует отметить наличие на изношенных поверхностях характерных борозд, канавок и выступов, расположенных в направлении вектора скорости резания (в направлении действия силы стружкообразования).

В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, благодаря содействию представителей корпорации BRUKER были получены на приборе ContourGT 3D Optical Microscope оптические изображения участка изношенной задней поверхности круглой режущей пластины из киборита после точения стали ШХ-15 (рисунку 2).

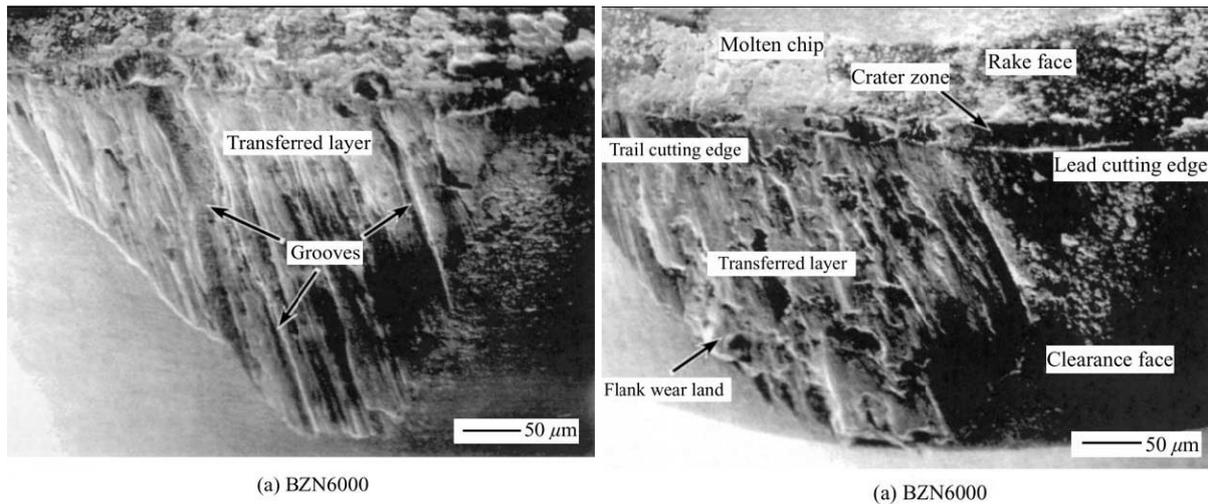


Рис. 1. Поверхности изношенных поверхностей при точении закаленной стали типа ШХ-15 резцом из ПКНБ [9]

На рисунку 2 хорошо просматривается радиусный контур режущей кромки. Приведенное к номинальной средней линии (спрямленное путем развертки длины окружности пластины) 3D изображение изношенного участка показано на рисунку 3. Такое изображение позволяет количественно определить глубину впадин и высоту выступов по отношению к номинальному положению режущих кромок. Профилограмма, полученная в результате цифровой обработки отсканированных изображений, позволяет увидеть линию выступов и впадин на участке изношенной поверхности пластины. Профилограммы и количественные значения высот выступов и глубин впадин, приведенные на рисунку 4, наглядно демонстрируют контур изношенного участка на задней поверхности пластины и показывают, что фактическая площадь контакта резца из ПКНБ с обработанной деталью намного больше номинальной. Это обстоятельство следует принимать во внимание при определении контактных нагрузок на заднюю поверхность инструмента из ПКНБ и расчете составляющих силы резания.

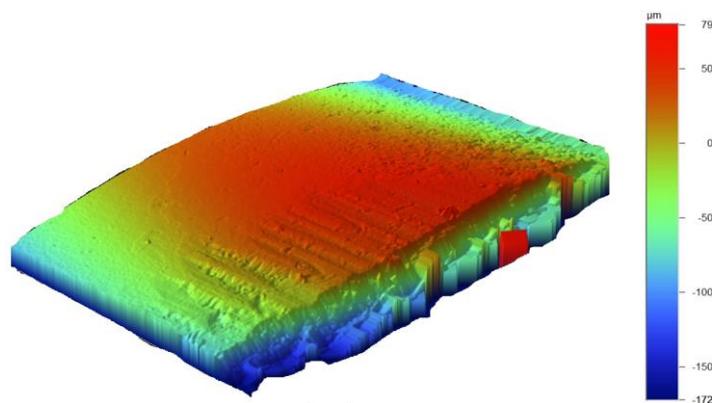


Рис. 2. 3D изображение участка изношенной поверхности резца из ПКНБ

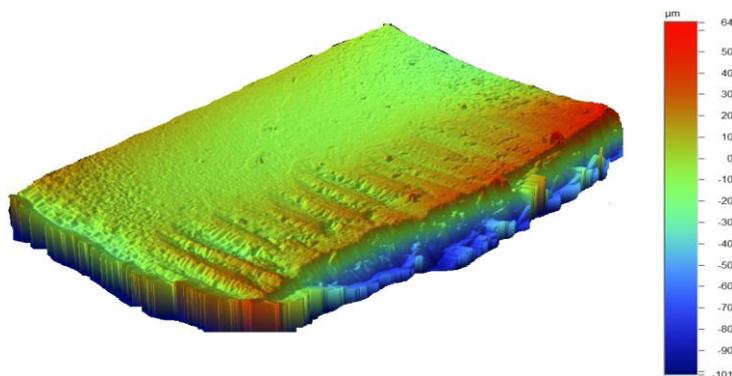


Рис. 3. Приведенное к спрямленной режущей кромке 3D изображение изношенного участка задней поверхности резца из ПКНБ

Анализ полученных данных профиля изношенной поверхности позволяет установить примерный средний шаг впадин износа и угол наклона профиля впадины, что позволяет установить соотношение суммарной длины образующей наклонной стенки впадины к измеренному среднему шагу впадин изношенной поверхности. Для упрощения представим, что впадины изношенного рельефа имеют треугольное сечение в основной плоскости резания, а контур изношенной задней поверхности также представляет собой криволинейный треугольник с основанием, равным суммарной длине главной и вспомогательной режущих кромок ( $l+l_1$ ) и высотой, равной величине износа по задней поверхности  $h_3$ . Как видно из таблицы (рисунку 5), средний угол наклона стенки впадины составляет  $24,6^\circ$ , а средний шаг впадин на изношенной поверхности примерно равен 100 мкм.

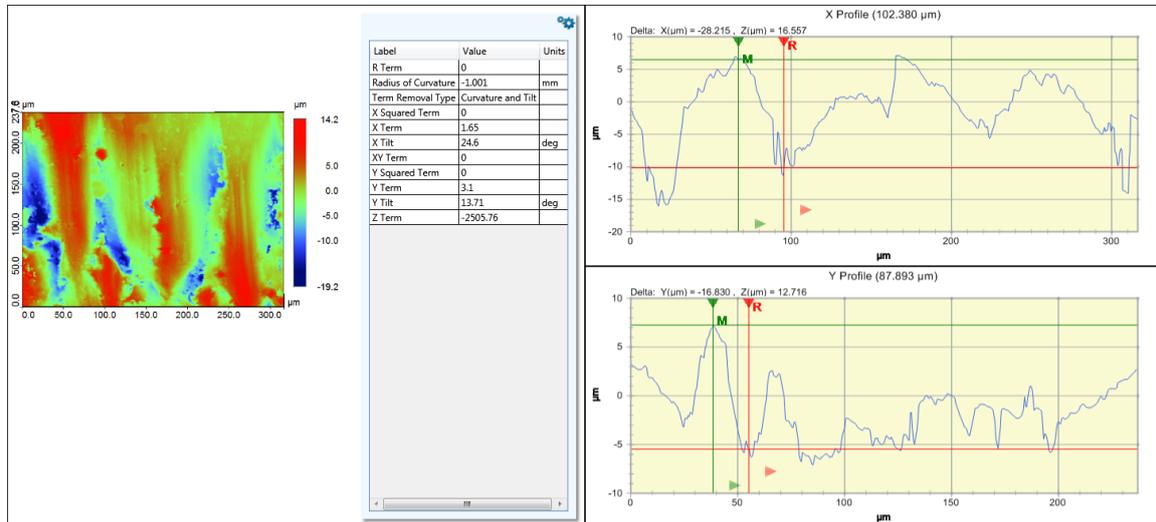


Рис. 4. 2D профилограммы изношенного участка резца из киборита

Учитывая сделанные нами допущения, можем представить средневзвешенную длину стенки впадины на режущей кромке гипотенузой треугольника с основанием, равным шагу впадин. Тогда, зная угол наклона стенки впадины ручья износа на задней поверхности, находим длину стенки впадины на режущей кромке, как половину шага впадин, деленную на  $\sin 24,6^\circ$ .

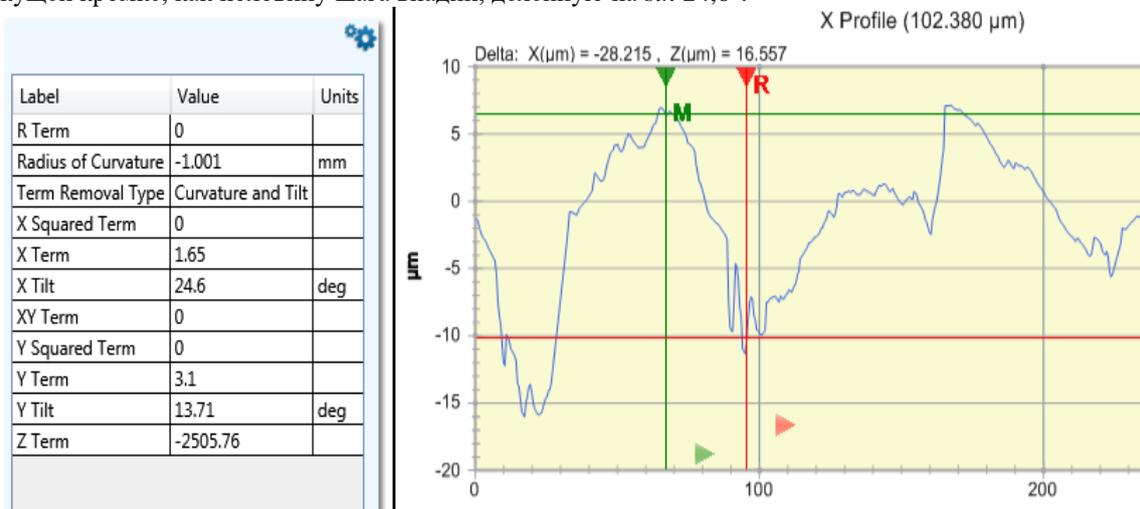


Рис. 5. Усредненные количественные характеристики оценки профиля изношенной поверхности резца из киборита

Однако, глубина впадин, а, соответственно, и длина стенок впадин будет уменьшаться от измеренного значения на передней поверхности до нуля на границе износа на задней поверхности, соответствующей величине  $h_3$ . Поскольку в первом приближении мы представили контур изношенной поверхности треугольником, то его площадь можно представить, как произведение полусуммы длин режущих кромок на величину  $h_3$ . Это и будет номинальная площадь контакта задней поверхности резца с обработанной поверхностью детали.

Анализ профилограммы изношенной поверхности позволяет сделать допущение о примерной симметричности стенок впадин и тогда их суммарная длина на режущей кромке будет примерно в два раза больше, а усредненная длина самих борозд на изношенной поверхности будет равна половине  $h_3$ . Тогда расчетное среднее значение площади поверхности одной впадины будет равно произведению высоты одной из стенок впадины на половину величины износа резца по задней поверхности. Для нахождения расчетной величины площади всех впадин изношенной задней поверхности нужно определить их число, которое находим из соотношения суммарной длины режущих кромок  $(l+l_1)$  и величины шага впадин  $\Delta X$ .

Если посчитать номинальную (1) и фактическую (2) площади изношенной поверхности и найти их соотношение, то после произведения элементарных математических операций находим, что фактическая площадь изношенной поверхности с учетом рельефа впадин будет равно номинальной, разделенной на две величины синуса угла наклона стенки поверхности борозды впадины относительно высоты этой впадины.

$$A_{\zeta}^i = \frac{(l+l_1) \cdot h_{\zeta}}{2}; \quad (1)$$

$$A_3^{\Phi} = \frac{(l+l_1) \cdot h_3}{4 \sin 24,6^\circ}. \quad (2)$$

Для табличного значения  $\sin 24,6^\circ$  это составляет величину 0,3854, а величина фактической площади износа будет примерно в 1,3 раза больше:

$$\frac{A_3^H}{A_3^{\Phi}} = \frac{1}{2 \sin 24,6^\circ} = 1,297 \approx 1,3. \quad (3)$$

**Выводы.** В результате проведенных измерений и расчетов можно установить, что наличие бороздообразного профиля на изношенной задней поверхности при точении закаленной стали ШХ-15 резцом, оснащенным круглой режущей пластиной из киборита, увеличивает фактическую площадь контакта задней поверхности резца с обрабатываемой поверхностью примерно на 30 % по сравнению с номинальной по площади контура износа.

#### Список использованной литературы:

1. Бетанели А.И. Прочность и надежность режущего инструмента / А.И. Бетанели. – Тбилиси : Сабчота сакартвело, 1973. – 304 с.
2. Клименко С.А. Основы лезовой обработки зносостойких захисних покриттів : дис. ... доктора техн. наук : спец. 05.03.01 / С.А. Клименко. – К., 1999. – 461 с.
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – М. : Машиностроение, 1976. – 278 с.
4. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : в 6-ти т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. Т. 5 : Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.
5. Создание режущего инструмента из ПСТМ на основе КНБ для высокоскоростной обработки Ni-сплавов : отчет о НИР (закл.) / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – № ГР 0100U004916 ; инв. № 0203U006457 ; арх. № 7051. – К., 2003. – 143 с.
6. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. – М. : Машиностроение, 1989. – 296 с.
7. Хаем Г.Л. Надежность режущего инструмента / Г.Л. Хаем. – М. : Машиностроение, 1975. – 168 с.
8. Archibald F.R. Analyses of the Stresses in a Cutting Edge / F.R. Archibald // Trans of the ASME. – 1956. – Vol. 78, № 6.
9. Chou Y.K. Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel / Y.K. Chou, C.J. Evans, M.M. Barash // Journal of Materials Processing Technology. – Vol. 124. – Pp. 274–283.
10. Klimenko S.A. Advanced Ceramics Tool for Machining Application-2 / S.A. Klimenko, Yu.A. Mukovoz, L.G. Polonsky ; in ed. I.M. Low and X.S. Li // Trans Tech Publications. – Ch. 1 : Cutting Tools of Superhard Materials. – Switzerland, 1996. – Pp. 1–66.

#### References:

1. Betaneli, A.I. (1973), *Prochnost' i nadezhnost' rezhushchego instrumenta*, Sabchota Sakartvelo, Tbilisi, 304 p.
2. Klimenko, S.A. (1999), *Osnovi lezovoi obrobki znosostyikikh zahisnih pokrittiv*, diss. doktora tehn. nauk, spec. 05.03.01, INM NAN Ukraine Publ., Kyiv, 461 p.
3. Makarov, A.D. (1976), *Optimizatsia protsessov rezania*, Mashinostroenie Publ., Moskva, 278 p.

4. Novikov, N.V. (ed.) (2006), *Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie*, in 6 volumes, Vol. 5 «Obrabotka materialov lezviynym instrumentom», in Klimenko, S.A. (ed.), ISM im. V.N. Bakulja, IPC «ALKON» NANU, Kiev, 316 p.
5. «Sozdanie rezhushchego instrumenta iz PSTM na osnove KNB dlia vysokoskorostnoi obrabotki Ni-splavov», otchet o NIR (zakliuchitel'nyi) (2003), *Institut sverkhverdnykh materialov im. V.N. Bakulia NANU*, Kiev, 143 p.
6. Starkov, V.K. (1989), *Obrabotka rezaniem. Upravlenie stabilnostiu i kachestvom v avtomatizirovannom proizvodstve*, Mashinostroenie Publ., Moskva, 296 p.
7. Haet, G.L. (1975), *Nadezhnost' rezhushchego instrumenta*, Mashinostroenie Publ., Moskva, 168 p.
8. Archibald, F.R. (1956), «Analyses of the Stresses in a Cutting Edge», *Trans of the ASME*, Vol. 78, No. 6.
9. Chou, Y.K., Evans, C.J. and Barash, M.M. (2002), «Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 steel», *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 124, pp. 274–283.
10. Klimenko, S.A., Mukovoz, Yu.A. and Polonsky, L.G. (1996), «Advanced Ceramics Tool for Machining Application-2», in Low, I.M. and Li, X.S. (ed.), *Trans Tech Publications*, Ch. 1 *Cutting Tools of Superhard Materials*, Switzerland, pp. 1–66.

**Мановицький Александр Степанович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

– лезвийная обработка сложнопровильных изделий инструментами из сверхтвердых материалов.

E-mail: msm5@i.ua.

**Клименко Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, научный сотрудник ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

– закономерности процесса резания инструментами из сверхтвердых материалов;

– состояние поверхностного слоя.

E-mail: atmu@meta.ua.

**Копейкина Марина Юрьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник старший научный сотрудник ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

– изучение влияния термобарических условий течения на механическую и физико-химическое взаимодействие инструмента с ПНТМ на основе КНБ с обрабатываемым материалом.

E-mail: atmu1@meta.ua.

Статья поступила в редакцию 04.10.2017.