

А.С. Манохин, к.т.н., м.н.с.

С.А. Клименко, д.т.н., проф.

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

## СТОЙКОСТЬ КОСОУГОЛЬНОГО ОДНОКРОМОЧНОГО РЕЗЦА, ОСНАЩЕННОГО ПСТМ НА ОСНОВЕ КНБ, ПРИ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ШХ15

*Приведены результаты исследования стойкости косоугольного однокромочного инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, при точении закаленной стали ШХ15. Показаны особенности влияния условий обработки на стойкость инструмента.*

**Введение.** Развитие современного машиностроения в значительной мере связано с повышением требований к эксплуатационным характеристикам деталей машин и механизмов и, соответственно, применением при их производстве материалов с высокими физико-механическими свойствами. К таким материалам относятся труднообрабатываемые железоуглеродистые сплавы высокой твердости, а именно закаленные стали. Их механическая обработка характеризуется низкой производительностью процесса резания, а также интенсивным изнашиванием режущих инструментов.

В настоящее время наибольшей эффективностью при обработке таких материалов характеризуются инструменты, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ) [1]. Традиционно для инструментов, оснащенный ПСТМ на основе КНБ, при обработке материалов высокой твердости величина подачи не превышает 0,10–0,15 мм/об., что связано с необходимостью получения поверхностей высокого качества с шероховатостью  $< Ra$  1,25. Как следствие ввиду малых подач производительность такой обработки относительно низка.

Эффективным способом интенсификации производительности обработки является такое изменение формы и геометрических параметров режущего инструмента, которое позволяет существенно увеличить режимный параметр, определяющий объем материала, снимаемый в единицу времени – величину продольной подачи. Одним из наиболее эффективных методов чистового точения с высокой производительностью является обработка косоугольным

однокромочным инструментом, позволяющим работать с подачами в несколько миллиметров на оборот.

Одной из важнейших областей промышленного производства и экспорта является продукция металлообработки и, в частности, крупногабаритные металлоемкие изделия, такие как валки прокатных станов, валы и шпиндели тяжелых станков, детали металлургических машин, судовых механизмов и др. При этом, требования, предъявляемые к таким деталям, обуславливают необходимость сочетания высокой производительности чистовой обработки со стойкостью инструмента, достаточной для обеспечения процесса обработки без смены режущего инструмента.

**Целью** настоящей работы было исследование стойкости косоугольного однокромочного инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ киборит, при точении закаленной стали ШХ15.

**Основная часть.** Для определения допустимого критерия стойкости косоугольного однокромочного инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, выполнены исследования по точению стали ШХ 15. Учитывая, что при чистовой обработке величина износа инструмента существенно влияет на качество обработанной поверхности, за критерий износа инструмента может быть принята величина фаски износа по задней поверхности инструмента, соответствующая достижению определенного качества обработанной поверхности, в процессе исследований контролировалась величина износа инструмента и, одновременно, соответствующее ей шероховатость обработанной поверхности (рис. 1).

Кинетика изнашивания однокромочного инструмента при косоугольном точении стали высокой твердости выглядит следующим образом. После этапа приработки, соответствующего 10 минутам времени резания и фаске износа  $h_3 = 0,1-0,12$  мм, в течении длительного времени износ инструмента по задней поверхности носит стабильный монотонный характер. Такой картине изнашивания инструмента отвечает практически постоянная шероховатость обработанной поверхности, которая в течении 80 мин резания составляет  $Ra 0,4-0,7$ . При износе инструмента 0,3 мм высота микронеровностей резко возрастает и на отметке 90 минут шероховатость обработанной поверхности составляет уже  $Ra 1,6-1,7$ . Отмеченный резкий рост высоты микронеровностей свидетельствует о том, что режущая кромка инструмента по достижении фаски износа  $h_3 = 0,3$  мм теряет прямолинейность, происходит микровыкрашивание фрагментов поликристалла, режущая кромка скалывается.

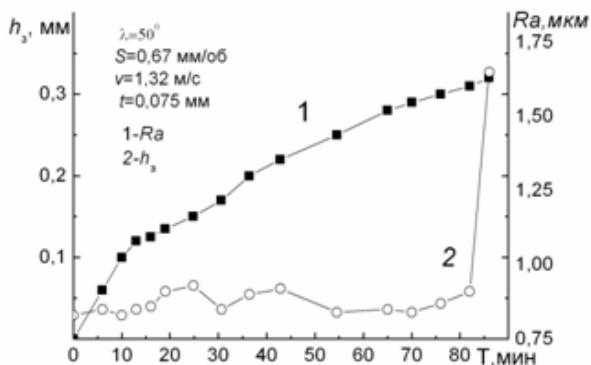


Рис. 1. Влияние времени работы на износ инструмента и шероховатость обработанной поверхности стали ШХ-15 (60–62 HRC) ( $S = 0,67$  мм/об;  $v = 1,32$  м/с;  $t = 0,075$  мм;  $\lambda = -50^\circ$ ):  
1 –  $h_3$ ; 2 –  $Ra$

Полученные результаты наглядно показывают, что для обеспечения в процессе обработки требуемой шероховатости поверхности следует уделять большое внимание состоянию режущей кромки инструмента. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о целесообразности использования в качестве критерия стойкости инструмента величины фаски износа по задней поверхности,  $h_3 = 0,3$  мм.

Как известно, на износ режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, большое влияние оказывает скорость резания, как фактор, определяющий температуру резания [2]. Это справедливо и для косоугольного однокромочного инструмента. На рис. 2 представлена зависимости изменения стойкости инструмента от скорости резания, полученные при точении с  $t = 0,1$  и  $\lambda = -50^\circ$ . Представленные результаты качественно отвечают данным, характерным для точения обычным инструментом – при больших скоростях резания стойкость инструмента интенсивно снижается, однако при условии равенства скоростей резания стойкость косоугольного однокромочного инструмента на 20–30% выше.

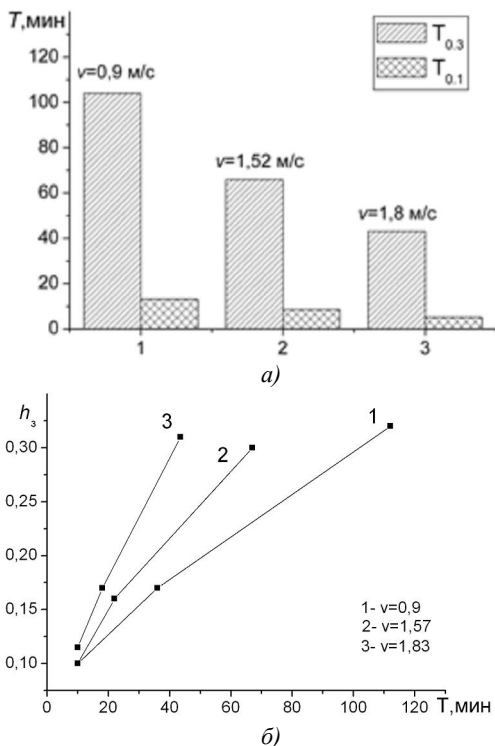


Рис. 2. Диаграммы изменения стойкости инструмента ( $T_{01}$ ,  $T_{03}$  – стойкость, отвечающая критерию износа 0,1 мм и 0,3 мм соответственно) от скорости резания (а), зависимость износа инструмента от времени резания (б)

В отличие от скорости, глубина резания, подача и угол наклона режущей кромки влияет на температуру резания опосредованно, и в этой связи зависимость стойкости инструмента от этих факторов не столь значима.

С целью минимизации числа проводимых опытов при стойкостных исследованиях применялась методика математического планирования эксперимента по схеме РЦКП. На основании данных поисковых экспериментов, теоретических предпосылок, а также с учетом технологических возможностей оборудования, условия обработки варьировались в диапазонах: глубина резания  $t = 0,05–0,15$  м/с, подача

$S = 0,10\text{--}1,33$  мм/об, угол наклона режущей кромки резца  $\lambda = -(10\text{--}60)^\circ$ . Скорость резания принималась постоянной  $v = 1$  м/с.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить адекватное при 95-% уровне значимости регрессионное уравнение:

$$T = -145,14 + 725,46 \cdot t + 116,16 \cdot S - 35,52 \cdot S^2 + \\ + 5,96 \cdot \lambda - 0,04 \cdot \lambda^2 - 490,02 \cdot tS - 13,00 \cdot t\lambda.$$

На рис. 3, 4 представлены зависимости стойкости косоугольного однокромочного инструмента от параметров процесса обработки, рассчитанные по приведенной модели.

Для процессов обработки резанием характерным является изменение условий, в которых осуществляется контактное взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов при изменении режимов обработки. В зависимости от температуры и величины напряжений, действующих в зоне резания, изменяется механизм изнашивания инструмента.

При температурах, ниже оптимальной, изнашивание осуществляется за счет абразивного взаимодействия с твердыми включениями в составе обрабатываемого материала и механического разрушения инструмента. С ростом температуры интенсифицируются адгезионный, диффузионный и химический механизмы изнашивания. Очевидно, что существует такой диапазон температур, в котором указанные механизмы износа сочетаются таким образом, что изнашивание характеризуется минимальной интенсивностью. Соответственно при анализе зависимостей, отражающих характер влияния режимов и геометрических параметров инструмента на его стойкость, необходимо соотносить их с закономерностями влияния условий обработки на температуру резания.

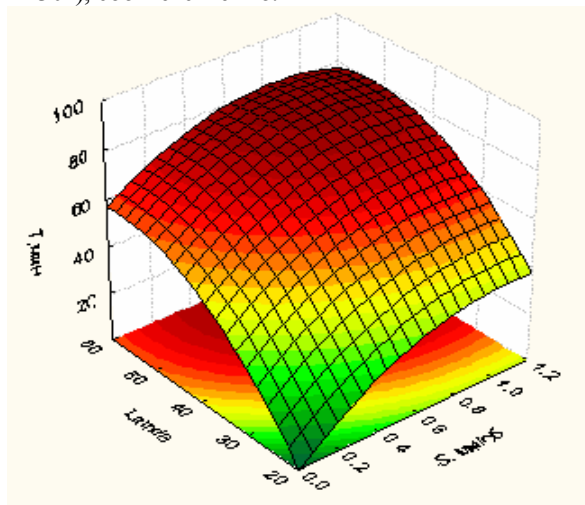
Анализ графика на рис. 3, а показывает, что для принятых условий обработки с ростом  $\lambda$  и подачи  $S$  стойкость инструмента возрастает, достигая своего максимума  $T = 80\text{--}90$  мин в диапазоне  $\lambda = -(50\text{--}55)^\circ$ ,  $S = 0,8\text{--}1,0$  мм/об. Скорость и глубина резания составляют при этом  $v = 1,3$  м/с и  $t = 0,1$  мм.

Влияние угла наклона режущей кромки  $\lambda$  и подачи  $S$  на стойкость инструмента  $T$  качественно одинаково, хотя изменение угла наклона влияет на параметр оптимизации более значимо. Известно [3], что с увеличением подачи растет толщина среза, что приводит к росту температуры в зоне контакта. Ранее было установлено [4], что при увеличении угла  $\lambda$  толщина среза, а, значит, и температура резания также возрастает. Сравнивая поверхности отклика моделей,

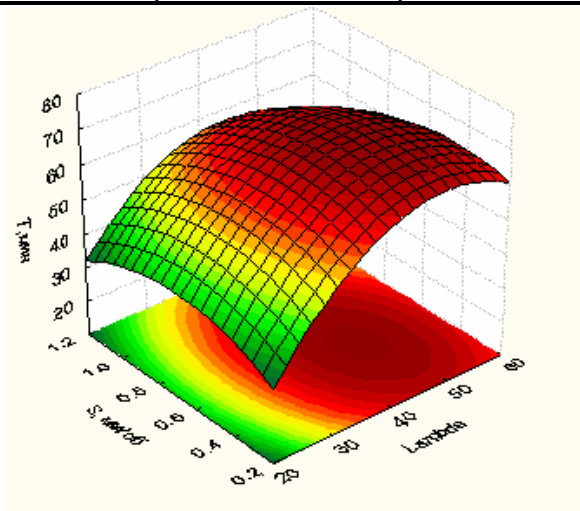
описывающих стойкостную и температурную [5] зависимости, можно отметить, что максимальная стойкость инструмента наблюдается при температурах 1020–1040 °С. Нужно отметить, что формы поверхностей отклика для указанных зависимостей качественно схожи.

С увеличением скорости и/или глубины резания на графике более отчетливо выделяется участок экстремума (рис. 3, б). Оптимальные значения подачи и угла наклона режущей кромки несколько меньше значений отмеченных раньше:  $S = 0,6–0,8$  мм/об,  $\lambda = -(45–50)^\circ$ .

Зависимость стойкости инструмента от глубины резания (рис. 4, а) имеет монотонно убывающий характер при малых ( $S = 0,2–0,4$  мм/об) подачах либо монотонно возрастающий вид при более высоких ( $S = 0,6–1,0$  мм/об) ее значениях. Сравнивая приведенные на рис. 4 а, б поверхности отклика стойкостной модели при величинах угла  $\lambda = -50^\circ$  и  $\lambda = -30^\circ$  соответственно, отметим, что для больших значений угла наклона режущей кромки, при прочих равных условиях, стойкость инструмента выше. Максимальная величина периода стойкости инструмента и для малых, и для больших углов наклона режущей кромки находится в диапазоне  $S = 0,8–1,2$  и  $t = 0,025–0,050$  мм и достигает величины  $T = 110$  мин ( $\lambda = -50^\circ$ ) и  $T = 75$  мин ( $\lambda = -30^\circ$ ), соответственно.

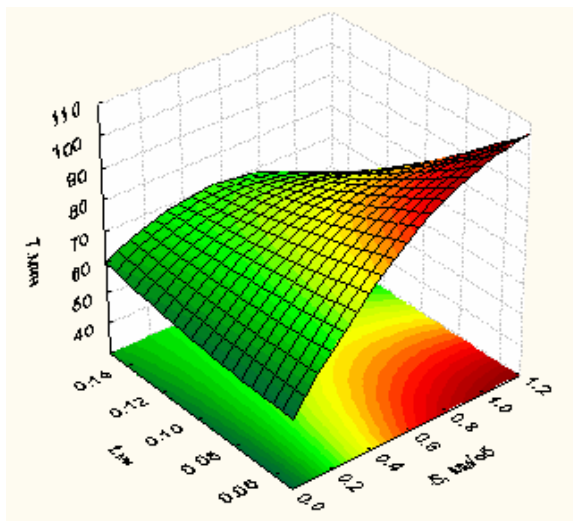


а)

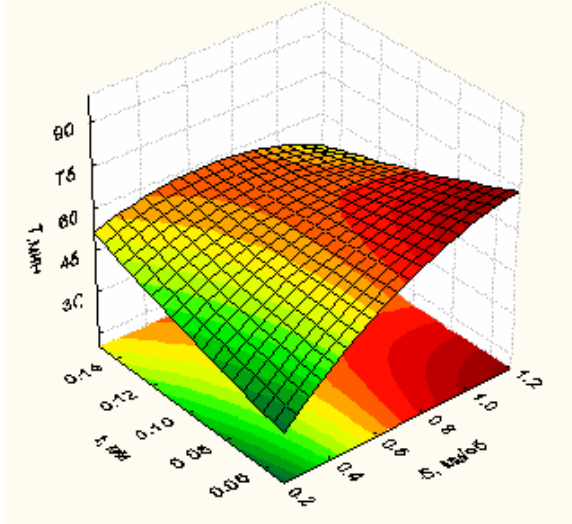


б)

Рис. 3. Зависимость стойкости инструмента от угла наклона режущей кромки и подачи: а –  $t = 0,10$  мм; б –  $t = 0,15$  мм



а)



б)

Рис. 4. Зависимость стойкости инструмента от подачи и глубины резания: а –  $\lambda = 50^\circ$ ; б –  $\lambda = 30^\circ$

**Вывод.** Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о наличии на поверхности отклика модели областей, где функция имеет максимальное значение, а стойкость инструмента достигает наибольшей величины. Исходя из условия обеспечения наибольшего периода стойкости и соответственно достижения необходимого качества обработанной поверхностей при минимальном расходе инструмента, следует выделить диапазоны оптимальных условий обработки. Вне зависимости от величины  $\lambda$ , период стойкости наибольший при глубине резания 0,04–0,06 мм. Для меньших значений угла наклона режущей кромки стойкость инструмента снижается. Подача должна составлять 0,6–0,8 мм/об при  $t \leq 0,1$  мм и 0,8–1,2 мм/об при  $t > 0,1$  мм. Угол наклона следует выбирать из диапазона – (45–55)°, назначая большие его значения при меньших подачах и глубинах резания. Скорость резания следует принимать 1,0–1,3 м/с.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. – М. : Машиностроение, 2005. – 555 с.



2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-ти т. / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Т. 5: Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 316 с.
3. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
4. *Клименко С.А.,* Манохин А.С. Расчет параметров сечения среза при «бреющем» точении // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. Праць / Сер. Г / Процеси механічної обробки, верстати і інструменти. – Київ: ІНМ НАН України, 2009. – В печати.
5. *Манохин А.С.* Температура резания при безвершинном точении закаленных сталей // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. науч. пр. – Житомир: ЖДТУ, 2009. – Вип. 6. – С. 19–29.

МАНОХИН Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты;
- повышение работоспособности режущих инструментов.

КЛИМЕНКО Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты;
- повышение работоспособности режущих инструментов.

Подано 12.08.2009