

УДК 621.9.025.7

В.В. Мыльников<sup>1</sup>, А.И. Пронин<sup>2</sup>, Е.А. Чернышов<sup>1</sup>**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет<sup>2</sup>

Изложены результаты исследований работоспособности резцов из различных инструментальных материалов при прерывистой и непрерывной обработке труднообрабатываемых материалов. Выявлен механизм их разрушения и изнашивания, указаны пути повышения работоспособности инструмента, оснащенного режущей керамикой и сверхтвердыми материалами.

*Ключевые слова:* режущая керамика, сверхтвердые материалы, жесткость, технологическая система, упрочнение инструмента, износ, кубический нитрид бора, устойчивость, закаленная сталь, оптимальная скорость резания, резец.

Повышение производительности труда и качества изготавливаемых изделий остается нерешенной национальной и международной научно-технической проблемой. Большая роль в решении этой проблемы отводится машиностроению и металлообработке. В настоящее время отмечается наступление третьей научно-технической революции в машиностроении и металлообработке. Этот этап характеризуется заменой твердых сплавов минералокерамикой и поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора. Данный этап не отменяет полностью достижения предыдущих, но благодаря улучшенным физико-механическим свойствам новых материалов позволяет поднять скорость обработки в 2,5-5 раз, что позволяет повысить эффективность токарных станков в 2-3 раза и в значительной степени повышать эффективность всего народного хозяйства.

Режущая керамика и сверхтвердые материалы - это относительно новые инструментальные материалы. Таким инструментом можно обрабатывать детали из материалов с повышенными прочностными характеристиками и специальными свойствами, в том числе из закаленных сталей, жаропрочных сплавов, труднообрабатываемых чугунов, цветных металлов и абразивных неметаллических материалов.

Производители инструмента предлагают марки ПСТМ и режущей керамики с более высокой теплостойкостью и прочностными показателями, что существенно повышает износостойкость этих материалов, особенно в условиях переменных нагрузок и высоких скоростей резания. Однако ограничения по применению такого инструмента существуют и связаны они с низкой сопротивляемостью знакопеременному циклическому нагружению. Обработка прерывистых и, особенно, комбинированных поверхностей до сих пор остается малоизученной областью исследований.

Испытания работоспособности инструмента проводили на токарном станке модели 16K20ФЗС32. Заготовкой являлся цилиндр диаметром 90 мм, длиной 420 мм с продольным пазом шириной 8 мм и глубиной паза 20 мм. Материал заготовки – закаленная сталь марки ХВГ (HRC 62-65). Заготовка на станке устанавливалась в трехкулачковом патроне и поджималась задним центром. Режим резания: глубина 0,5 мм, подача 0,11 мм/об, скорость резания варьировали, наружное прерывистое точение. Режущие пластины (режущая керамика марки ВОК 60 и сверхтвёрдые материалы на основе кубического нитрида бора марок томал и киборит) механически закрепляли в державке сечением 25x25 мм, обеспечивая геометрию режущей части  $\alpha=7^\circ$ ;  $\gamma=-11^\circ$ .

Пластина киборита использовалась круглой формы диаметром 7 мм и толщиной 5 мм; пластина томала - квадратной формы с радиусом и размерами 7 x 7 x 4 мм; пластина ВОК-60 - треугольной формы с радиусом и размером стороны (16 мм и высотой 5 мм). Регистрировали путь, пройденный до скола, или величину износа по задней поверхности, предельным считали износ 0,4 мм. Результаты исследования на определение величины оптимальной скорости резания для таких условий обработки типовым инструментом приведены на рис. 1.

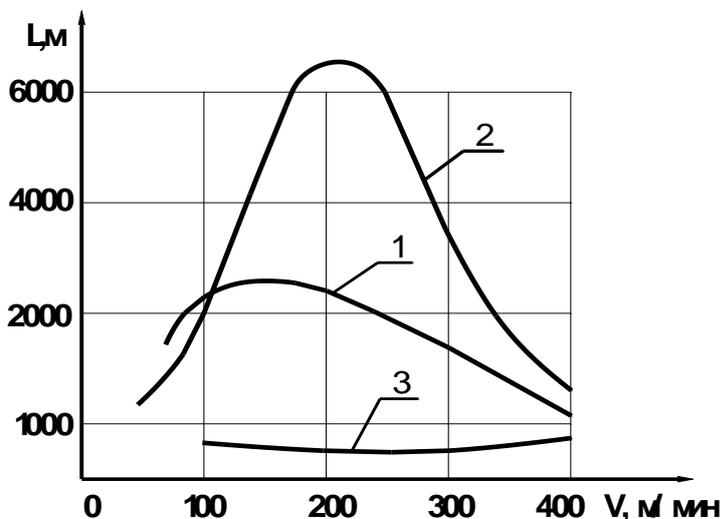


Рис. 1. Зависимость пути  $L$ , проходимого режущим лезвием до скола, от скорости  $V$  резания:

1 – томал; 2 – киборит; 3 - ВОК-60

Из рис. 1 следует, что работоспособность томала в два (и более) раза выше, чем у керамики, но существенно ниже, чем у киборита. Оптимальные скорости резания этих материалов различны, и экстремум стойкости у томала смещен по отношению к кибориту в область меньших скоростей резания. Зависимость  $L = L(V)$  для пластины киборит носит экстремальный характер, эффективная скорость резания находится в интервале  $V = 180 - 250$  м/мин.

Рядом дополнительных исследований установлено [1, 2, 3]:

1. На величину рекомендуемых режимов резания влияет жесткость технологической системы.

2. Отклонение скорости резания от оптимальной приводит к росту шероховатости обработанной поверхности. Оптимальным считался параметр шероховатости  $Ra_{0,8}$ . Такой характер зависимости шероховатости от изменения скорости резания объясняется появлением вибраций. Увеличение подачи и глубины резания приводит к росту шероховатости обработанной поверхности из-за недостаточной жесткости технологической системы.

3. Применение смазывающе-охлаждающих технологических сред позволяет повысить скорость резания на 50–70% без ущерба стойкости инструмента и качеству обработанной поверхности.

4. Низкая работоспособность керамических пластин в условиях прерывистого точения в основном вызвана скалыванием режущей кромки из-за образования микротрещин на межзеренных границах и, как следствие, межзеренный вырыв и скол зерен  $Al_2O_3$ .

Приведем отдельные результаты повышения работоспособности инструментов из режущей керамики и ПСТМ за счёт применения их упрочнения, в частности за счёт применения релаксационной термообработки при отжиге и нанесении покрытий.

Для повышения хрупкой прочности и снижения окислительного характера износа [2, 3] применяли упрочнение инструмента. Это оказалось существенным для режущей керамики. Фактор температурного воздействия при отжиге благоприятно сказывался на процессе релаксации внутренних напряжений, сформировавшихся в керамике при размерной обработ-

ке пластин у производителя в ходе алмазного шлифования. Это способствует повышению объемной прочности пластины. Установлено [1, 3], что термообработка на воздухе не дает существенного повышения работоспособности в силу того, что связка и зерна упрочняющей фазы, активно взаимодействуя с воздухом при нагреве, образуют на поверхности соединения с низкой энергоемкостью, кислород проникает в поры поверхностного слоя и образует окислы, выполняющие функцию расклинивания в порах и вызывающие коробление и вспучивание поверхности. В силу этого термообработку целесообразно проводить в защитной среде либо в вакууме. Химико-термическую обработку осуществляли азотированием как заключительный этап термообработки. Роль ионного азотирования состоит в легировании связки и инициировании выкрашивания наиболее разрушенных при заточке зерен. Механизм выкрашивания состоит в том, что внедрение азота наиболее интенсивно происходит в предварительно разрушенные при заточке микрообъемы (расколотые зерна, границы зерен). Это ведет к разрушению границ зерен и снижению сил их сцепления. Трансформация напряженного состояния таких зерен ведет к их короблению, размельчению, выкрашиванию с поверхности, т.е. часть разрушенных зерен заранее удаляется с поверхности пластины. В результате такого "залечивания" дефектов повышается сдвиговая устойчивость и, соответственно, трещиностойкость керамики.

В частности низкопрочную режущую керамику ВО-13 после термообработки подвергли "залечиванию" дефектов путем нанесения покрытия. Покрытие выполняли металлическим из тугоплавких металлов (цирконий, ниобий). При его нанесении реализуется микролегирование связки и ликвидация трещин и пор в поверхностном слое. Толщины слоев чистых металлов незначительны, а именно: ниобий 0,2 - 0,5 мкм, цирконий 0,5 - 0,8 мкм. Испытания работоспособности инструмента проводили на токарном станке модели 16К20Ф3С32. Материал заготовки – закаленная сталь марки 45 (HRC<sub>30</sub>-45). Режущие пластины механически закрепляли в державке сечением 25x25 мм, обеспечивая геометрию режущей части  $\alpha=7^\circ$ ;  $\gamma=-11^\circ$ . Режим резания: глубина 0,5 мм, подача 0,21 мм/об, скорость резания 250 м/мин, наружное точение. Регистрировали время работы режущих пластин до скола или величину износа по задней поверхности, предельным считали износ 0,4 мм. Сравнительные результаты стойкости инструмента приведены на рис. 2.

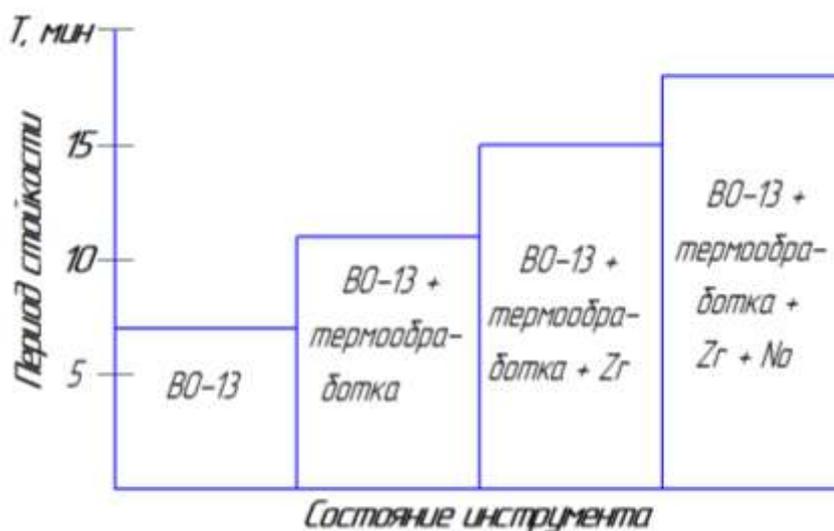


Рис. 2. Сравнительная стойкость режущей пластины ВО-13 до и после различных этапов упрочнения пластины

В развитие указанных решений после осаждения металлического или нитридного покрытия предложено проводить дополнительную термообработку. До нанесения покрытия термообработанную основу можно подвергать науглероживанию и ионной очистке, т.е. эффективная технологическая последовательность упрочнения керамики представляет собой

следующее: керамика + науглероживание + термообработка + ионная очистка + слой металла + нитридное покрытие + термообработка. Дополнительная термообработка после нанесения покрытия позволяет снять напряжения на границе раздела основа-покрытие и инициировать диффузионные процессы между основой и покрытием. Результаты испытания такого инструмента из режущей керамики при точении стали ШХ15 (HRC 52-56) со скоростью резания 120 м/мин, подачей 0,1 мм/об, глубиной 1 мм приведены на рис. 3.

Инструменту из сверхтвердых материалов свойственна дефектность поверхностного слоя, связанная с алмазноабразивной размерной обработкой. В силу этого предлагаемые решения по повышению работоспособности инструмента из сверхтвердых материалов носят технологический характер и связаны с термообработкой (для перераспределения напряжений и дислокационной структуры) и с "залечиванием" поверхностного дефектного слоя (путем осаждения металлических слоев). Так, после термообработки инструмент из кубического нитрида бора подвергали "залечиванию" путем металлизации, которое реализуется за счет осаждения металла (хрома), либо за счет никелирования и осаждения слоя циркония. Оценка работоспособности упрочненных термообработкой и "залечиванием" сверхтвердых материалов проводилась в основном на инструментальном материале с торговой маркой "киборит".

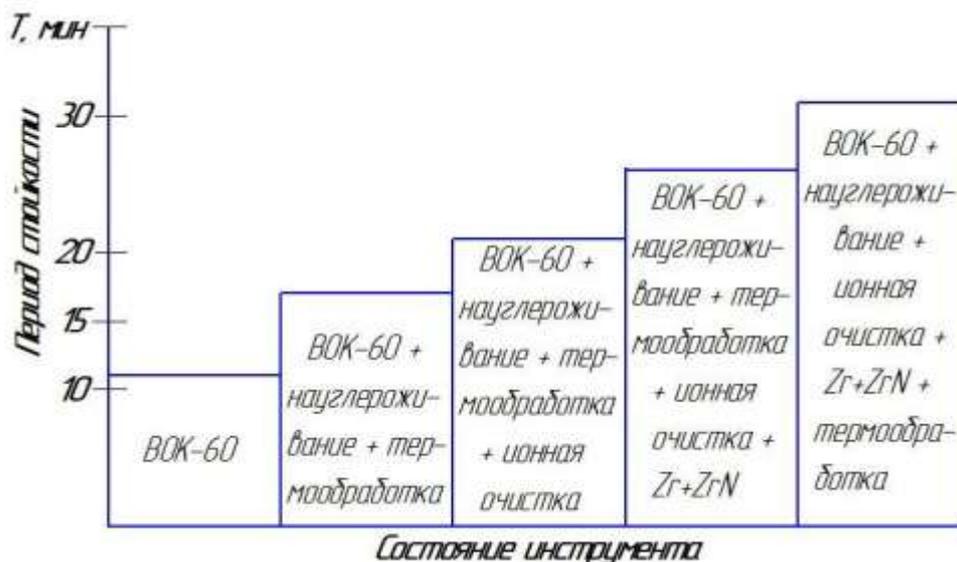


Рис. 3. Сравнительная стойкость пластины ВСК-60 до и после различных этапов упрочнения пластины

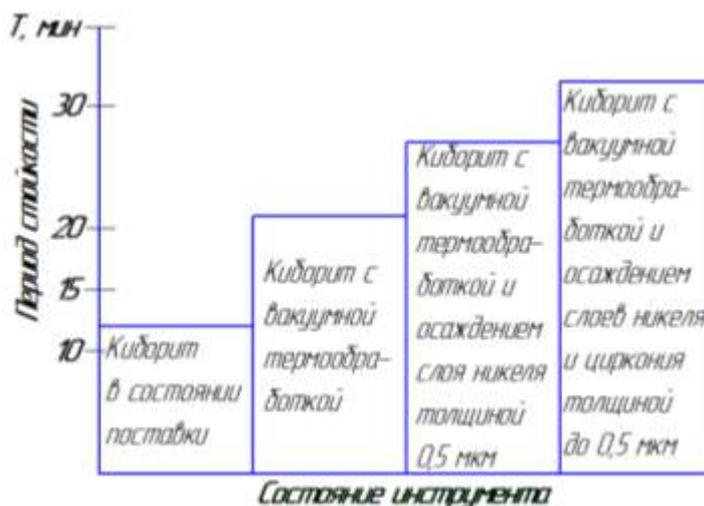
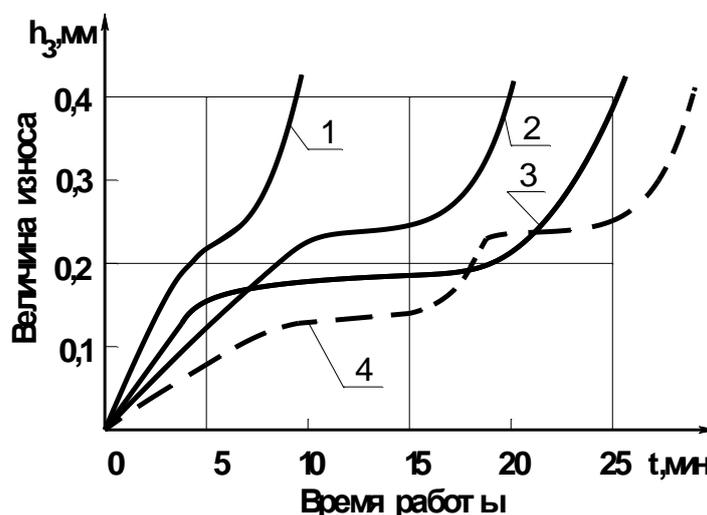


Рис. 4. Сравнительная стойкость пластины киборит в состоянии поставки и после различных этапов упрочнения пластины

Испытания проводились при различных условиях резания. Так, на рис. 4 приведены результаты испытания киборита при токарной обработке по литейной корке чугуна СЧ-21 (НВ-230) при скорости резания 300 м/мин, подаче 0,1 мм/об, глубине 0,7 мм. Обработка велась до скола или затупления по задней грани до 0,4 мм. Лунка износа по передней грани отмечалась, но имела незначительные размеры.

Результаты сравнительных стойкостных испытаний упрочненных инструментов из киборита при циклическом нагружении и жестко заданных условиях резания (сталь 45 закаленная, скорость резания 240 м/мин, подача 0,1 мм/об, глубина  $0,5 \div 0,8$  мм, наружное точение "на удар" цилиндрической заготовки с двумя продольными пазами) приведены на рис. 5. Из данных рисунка видно не только повышение работоспособности упрочненного инструмента, но также изменение интенсивности износа на различных этапах работы инструмента.



**Рис. 5. Период стойкости инструмента из ПСТМ:**

- 1 - киборит в состоянии поставки; 2 - киборит с вакуумной термообработкой;  
3 - киборит с вакуумной термообработкой и металлическим слоем циркония;  
4 - киборит с ионным азотированием + (Ti, Zr)+ZrN

### Выводы

1. Режущие пластины из ПСТМ в условиях прерывистого резания проявляют большую сопротивляемость хрупкому разрушению по сравнению с режущей керамикой. Хрупкое разрушение режущей керамики и ПСТМ реализуется сколом и межзерненным разрушением. Зарождению трещин способствуют дефекты их структуры и алмазной заточки.

2. Работоспособность инструмента из ПСТМ и режущей керамики можно существенно повысить за счет оптимизации режима алмазной обработки, устраняющей образование микротрещин в поверхностных слоях пластин, а также упрочнения релаксационной термообработкой и путем «залечивания» дефектов нанесением покрытий. Это позволяет существенно расширить область применения инструмента и режимов резания.

3. Эффективное использование инструментов из ПСТМ и режущей керамики достигается на высокоточных станках, обладающих жесткостью и виброустойчивостью, при тщательном контроле технологических параметров.

### Библиографический список

1. Кабалдин, Ю. Г. Принципы конструирования композиционных и инструментальных материалов с повышенной работоспособностью / Ю. Г. Кабалдин. – Владивосток.: Изд. ин-та машиноведения и металлургии, 1990. – 58 с.

2. **Кабалдин, Ю.Г.** Стойкость режущего инструмента, оснащенного керамикой и сверхтвердыми материалами / Ю.Г. Кабалдин, Б.Я. Мокрицкий, А.И. Пронин // Станки и инструмент. 1991. № 12. С. 19–21.
3. Работоспособность резцов из различных инструментальных материалов при обработке высокопрочного чугуна / Ю.Г. Кабалдини [и др.] // Сверхтвердые материалы. 1991. №6. С. 29–33.

*Дата поступления  
в редакцию 01.02.2011*

**V.V. Mylnikov, A.I. Pronin, E.A. Chernyshov**

### **THE RESEARTCH OF CERAMIC MATERIALS' INFLUENCE ON FUNCTIONALITY OF CUTTING INSTRUMENT**

In work results of researches of serviceability of cutters from various tool materials are stated at faltering and continuous processing of hard of materials. The mechanism of their destruction and wear process is revealed, ways of increase of serviceability of the tool equipped with cutting ceramics and superfirm materials are specified.

*Key words:* cutting ceramics, superfirm materials, rigidity, technological system, hardening of the tool, deterioration, cubic nitride of a pine forest, stability, hardened steel, optimum speed of cutting, cutting tool.