

Пронин А.И., Мокрицкий Б.Я., Виноградов С.В.
A.I. Pronin, B.Y. Mokritsky, S.V. Vinogradov

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
И РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**APPLICATION OF SUPERFIRM MATERIALS AND CERAMIC INSERTS TO TURNING
PROCESSING OF TOUGH MATERIALS**



Пронин Александр Иннокентьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (г. Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mdsov@knastu.ru.

Mr. Aleksandr I. Pronin – PhD in Engineering, senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, mdsov@knastu.ru.



Мокрицкий Борис Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (г. Комсомольск-на-Амуре). E-mail: boris@initkms.ru.

Mr. Boris Y. Mokritsky – PhD in Engineering, senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University



Виноградов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (г. Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

Mr. Sergey V. Vinogradov – PhD in Engineering, senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University

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

Summary: The paper presents the results of researches of performance of cutters made from various tool materials at the processing of hard materials. The mechanism of wear is revealed and ways to increase the performance of tools equipped with ceramic inserts and superfirm material components are specified.

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

Keywords: ceramic inserts superhard materials, rigidity, process system, hardening of the tool, wear, cubic boron nitride, stability, hardened steel, optimum speed of cutting, cutter.

УДК 621.941:621.9.025.7

Одной из тенденций развития машиностроительного производства является повышение его эффективности. В этой связи к режущему инструменту предъявляются высокие требования по безотказности его работы.

Режущая керамика и сверхтвёрдые материалы (СТМ) – 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.

Применение режущей керамики и СТМ позволит повысить скорость резания и качество обработанных поверхностей. Производители инструмента предлагают марки СТМ 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 прежде всего с низкой сопротивляемостью знакопеременному циклическому нагружению. Ниже приведены отдельные результаты повышения работоспособности таких инструментов за счёт применения их упрочнения, в частности за счёт применения релаксационной термообработки при отжиге и при нанесении покрытий.

Испытания работоспособности инструмента проводили на токарном станке модели 16К20Ф3С32. Заготовкой являлся цилиндр диаметром 90 мм, длиной 420 мм с продольным пазом шириной 8 мм (на глубину 20 мм). Материал заготовки – сталь марки ХВГ (HRC 62-65). 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 определения величины оптимальной скорости резания для таких условий обработки типовым инструментом приведены на рис. 1.

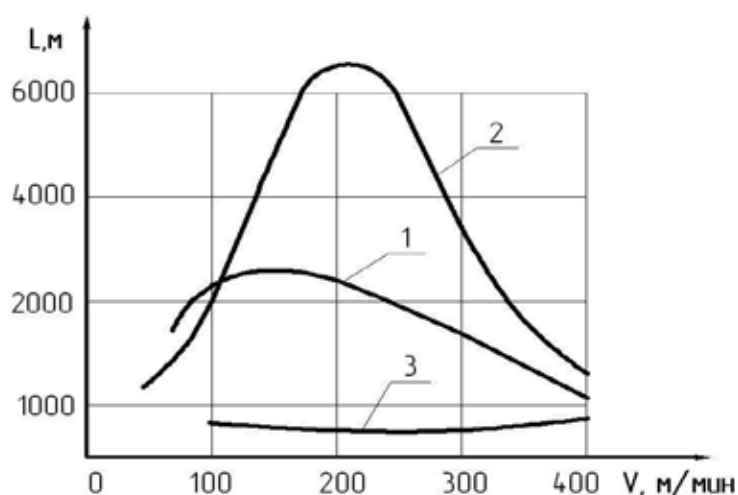


Рис. 1. Зависимость пути L, проходимого режущим лезвием до скола, от скорости V резания:
1 – томал, 2 – киборит, 3 – ВОК-60

Из рис. 1 следует, что работоспособность томала в 2 (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.

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. 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.

Для повышения хрупкой прочности и снижения окислительного характера износа применяли упрочнение инструмента. Это оказалось существенным для режущей керамики. Фактор температурного воздействия при отжиге благоприятно сказывался на процесс релаксации внутренних напряжений, сформировавшихся в керамике при размерной обработке 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, вызывая 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 микролегирования понятен. 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 из тугоплавких металлов (цирконий, ниобий). При его нанесении реализуется микролегирование связки и "заделка" 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. Результаты сравнительных испытаний при обработке точением закаленной стали 45 при скорости резания 250 м/мин, подаче 0,21 мм/об, глубине 0,5 мм приведены в табл. 1.

Таблица 1

Период стойкости, мин, режущей керамики до износа 0,4 мм или скола пластины

Состояние инструмента	ВО-13	ВО-13 + термо-обработка	ВО-13+термо-обработка+Zr	ВО-13+термо-обработка+ Nb+Zr
Период стойкости, мин	7	11	15	18

Для развития 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 в табл. 2.

Таблица 2

Период стойкости инструмента из режущей керамики до износа 0,4 мм или скола кромки

Состояние инструмента	ВОК-60	ВОК-60+науглераживание + термообработка	ВОК-60+науглераживание + термообработка+ ионная очистка	ВОК-60+ науглераживание + термообработка+ ионная очистка +Zr+ ZrN	ВОК-60+науглераживание + термообработка+ ионная очистка+ Zr+ZrN+ термообработка
Период стойкости, мин	11	17	21	26	31

Таблица 3

Период стойкости, мин, инструмента из СТМ

Состояние инструмента	Киборит в состоянии поставки	Киборит с вакуумной термообработкой	Киборит с вакуумной термообработкой и осаждением слоя никеля толщиной 0,5 мкм	Киборит с вакуумной термообработкой и осаждением слоев никеля и циркония толщиной по 0,5 мкм
Период стойкости, мин	12	21	27	32

Инструменту из сверхтвердых материалов свойственна дефектность поверхностного слоя, связанная с алмазно-абразивной 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".

Испытания проводились при различных условиях резания. Так, в табл. 3 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...0,8 мм, наружное тече-

ние "на удар" цилиндрической заготовки с двумя продольными пазами) приведены на рис. 2. Из данных рисунка видно не только повышение работоспособности упроченного инструмента, но также изменение интенсивности износа на различных этапах работы инструмента.

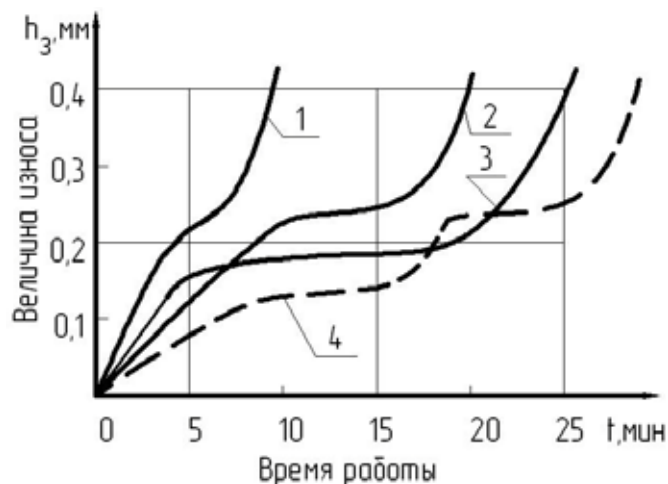


Рис. 2. Период стойкости инструмента из СТМ:
 1 – киборит в состоянии поставки; 2 – киборит с вакуумной термообработкой; 3 – киборит с вакуумной термообработкой и металлическим слоем циркония; 4 – киборит с ионным азотированием + (Ti, Zr)+ZrN

ВЫВОД: Работоспособность инструмента из СТМ и режущей керамики можно существенно повысить за счет упрочнения релаксационной термообработкой и путем «залечивания» дефектов за счёт нанесения покрытий. Это позволяет существенно расширить область применения инструмента и режимов резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабалдин, Ю.Г. Принципы конструирования композиционных инструментальных материалов с повышенной работоспособностью. Препринт / Ю.Г. Кабалдин. – Владивосток: Институт машиностроения и металлургии ДВО АН СССР, 1990. – С. 58.
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. Кабалдин, Ю.Г. Работоспособность резцов из различных инструментальных материалов при обработке высокопрочного чугуна / Ю.Г. Кабалдин, А.И. Шепелев, А.А. Киле, А.И. Пронин // Сверхтвердые материалы. – 1991. – № 6. – С. 29-33.