

## МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ СВЕРХТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ cBN В КАЧЕСТВЕ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ

*Мартиновская О. В., Горбунов В. П., Нерода М. В.  
Брестский государственный технический университет,  
Республика Беларусь*

Использование лезвийного инструмента на основе кубического нитрида бора (cBN) на чистовых операциях, взамен обработки абразивными кругами, показало достаточно высокую эффективность его использования. Это в первую очередь достигается за счет повышения производительности обработки, уменьшения затрат на инструмент и оборудование. Однако анализ существующих литературных источников показывает, что большинство из них посвящены технологиям получения, составу и свойствам материалов, изготовленных на основе cBN, и лишь незначительная часть научных публикаций рассматривает режущие свойства инструментального материала из cBN и их оптимизацию.

Эффективность процесса резания оценивается как качественными характеристиками обработанной поверхности (волнистость, шероховатость), свойствами поверхностного слоя, так и стойкостью режущего инструмента. Обработка инструментом из поликристаллического кубического нитрида бора тонким точением обеспечивает высокую точность полученных поверхностей при низкой шероховатости. Сущность тонкого точения, которое в литературе при обработке cBN называется «твёрдым точением», заключается в снятии стружки очень малого сечения при высоких скоростях резания. Благодаря чему между деталью и инструментом возникает локальный кратковременный контакт, не позволяющий развиваться в соприкасающихся поверхностях серьёзным изменениям. При этом использование высокоскоростной обработки (ВСО) в качестве чистовой возможно только на станках высокой точности и жесткости.

Целью исследований, проводимых на кафедре машиностроения БрГТУ, является изучение режущих свойств вставок из сверхтвёрдых материалов на основе cBN: cBN-wBN-AlB<sub>2</sub>/AlN и cBN-Al, синтезированных в лаборатории наноструктурных и сверхтвёрдых материалов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси. В качестве деталей для исследования процесса токарной обработки выбраны валы, т. к. в машиностроении к понятию валы относят целую группу деталей машин (гильзы, штоки, пальцы...) образованных наружными продолжительными поверхностями вращения. Вследствие нагружения подобных деталей в процессе работы они испытывают сложные деформации на кручение, растяжение, изгиб. Поэтому основными требованиями к материалу валов являются прочность и твёрдость поверхностного слоя, спо-

собного сопротивляться интенсивному износу. Наиболее распространённым материалом на производстве для валов является сталь марок 35, 35X, 40, 40X, 45, 45X подвергнутая поверхностному упрочнению.

В настоящей статье представлена методика проведения экспериментальных исследований направленных на выявление возможности замены шлифования штоков гидроцилиндров «твёрдым точением» с использованием пластин из указанного материала. Эксперименты проводятся с целью установления влияния технологических факторов на шероховатость обработанной поверхности и стойкость инструмента.

Для изучения режущих свойств исследуемых материалов на основе cBN образцы для обтачивания выполнены в виде валов, материал – сталь 45, подвергнутая закалке ТВЧ, полученная твёрдость поверхностного слоя 45...50 HRC. Размеры образцов: диаметр 40...45 мм, длина обрабатываемой части 300 мм. На производстве для получения качества поверхности по 9 качеству и шероховатости поверхности  $Ra = 0,63$  и  $0,32$  в технологическом процессе предусматривается шлифование за два прохода, при этом снимается суммарный припуск  $0,2$  мм по всей длине заготовки.

Однако шлифование сопровождается высокими температурами в зоне резания и может приводить к изменению структуры материала, возникновению прижогов, микро- и макротрещин, царапин, вкраплений разрушившегося абразива [1], что недопустимо для поверхностей работающих при циклическом нагружении. К тому же шлифование длинных поверхностей приводит к интенсивному износу шлифовального круга, из-за чего возникает отклонение обработанной поверхности от цилиндричности. Заменяя шлифование тонким точением, мы устраняем возможность появления выше указанных недостатков благодаря тому, что зона контакта резца с поверхностью детали много меньше, чем шлифовального круга, температура в точке контакта резца и заготовки достигает  $1200^{\circ}\text{C}$ , однако, на глубине  $10$  мкм она не превышает  $100^{\circ}\text{C}$  [1]. На рабочих поверхностях инструмента образуется тонкий жидкий слой из соединений, имеющих более низкую температуру плавления, в результате чего контакт инструмента со стружкой и обрабатываемой деталью происходит через слой жидкой фазы, обуславливающей наличие жидкостного трения [2], поэтому ВСО возможна без применения смазочно-охлаждающих технологических сред.

Анализ литературных источников показал, что геометрия режущей части вставок из сверхтвёрдых материалов на основе cBN, которыми оснащены резцы, работающие на больших скоростях, должна обеспечивать как прочность вершины, так и прочность режущих кромок резца. Для этого рекомендуется при обработке сталей переднему углу придать отрицательное значение от  $-5^{\circ}$  до  $-10^{\circ}$ , сопряжение между главной и вспомогательной режущими кромками выполнять с радиусом  $0,1...0,6$  мм или в виде прямолинейной кромки длиной  $0,3...0,8$  мм, а задний угол  $8...12^{\circ}$ . Для увеличения прочности вершины резца углы в плане рекомендуется принимать  $45^{\circ}$  и  $20^{\circ}$  [2].



а)

б)

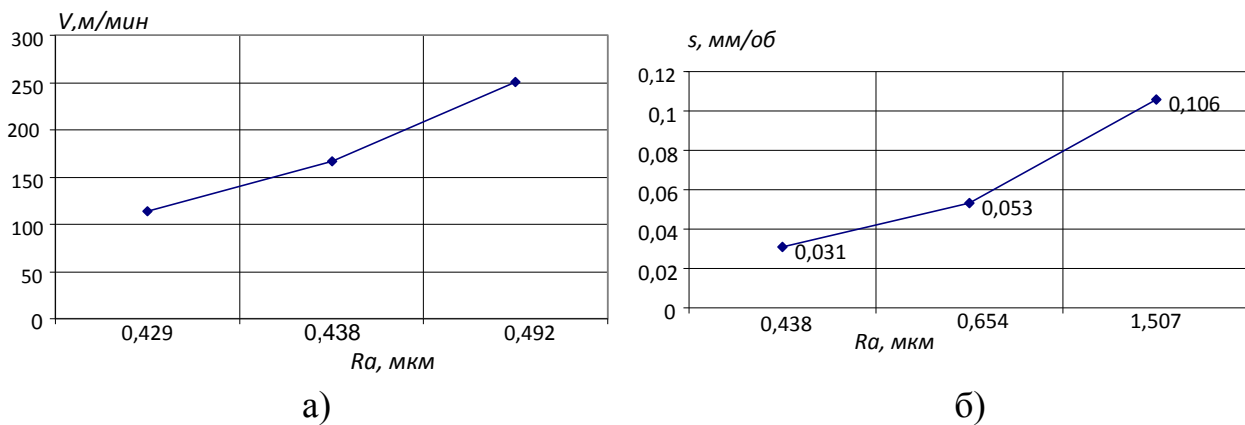
*а) вставки из cBN–Al изготовленные в объединенном институте машиностроения НАН Беларуси; б) резец с напаянной вставкой из cBN–Al*

**Рисунок 1 – Инструмент на основе VN**

В нашем случае инструмент для испытаний представляет собой прямой проходной резец со вставкой из cBN–Al (рисунок 1а), закреплённой на державке с помощью пайки (рисунок 1б). Рабочая поверхность заточена по переднему углу  $\gamma = -5^\circ$ ; заднему –  $\alpha = 10^\circ$ , радиус при вершине  $r = 0,6$  мм, углы в плане выполнены  $\phi = 45^\circ$ ,  $\phi_1 = 15^\circ$ . Следуя рекомендациям, для точения термообработанных сталей на инструменте выполнена упрочняющая фаска шириной  $h = 0,2$  мм.

С целью установления области экспериментирования и выявления степени влияния режимов точения на шероховатость поверхности были проведёны предварительные эксперименты, которые показали, что с увеличением подачи и скорости резания шероховатость увеличивается (рисунок 2), а изменение глубины резания в пределах  $t = 0,025 \dots 0,1$  мм, практически не сказывается на величине шероховатости. Выбор диапазона изменения параметров проведён в соответствии с научными публикациями [3–5] и согласно рекомендациям инструментальных фирм Sandvik, Seco. Диапазон подач изменялся в пределах  $S = 0,031 \dots 0,106$  мм/об, скорость резания –  $V = 114 \dots 251$  м/мин, глубина резания –  $t = 0,025 \dots 0,075$  мм. На рисунке 2 показаны зависимости шероховатости обработанной поверхности от изменения скорости резания и подачи, при постоянной глубине резания 0,05 мм.

Для контроля шероховатости поверхности использовали портативный измеритель шероховатости TR200 (профилометр), выпущенный компанией Time Group Inc, сертифицированный Госстандартом РФ и внесенный в Государственный реестр средств измерений.



*а) скорости резания, при постоянных  $t = 0,05 \text{ мм}$ ,  $s = 0,031 \text{ мм/об}$ ;*

*б) подачи при постоянных  $t = 0,05 \text{ мм}$ ,  $V = 167 \text{ м/мин}$*

**Рисунок 2 – Зависимости шероховатости обработанной поверхности**

На увеличение шероховатости в процессе обработки будет влиять интенсивность износа инструмента. Максимально допустимый износ по задней поверхности при чистовой обработке не должен превышать  $h_z = 0,25 \text{ мм}$  [4]. Исходя из этого, одной из задач исследования является изучение процессов износа режущего инструмента. Контроль износа по задней поверхности проводится периодически при помощи отсчётного микроскопа МПБ-2, цена деления 0,05 мм.

При проведении экспериментов по обработке заготовок используется токарно-винторезный станок немецкой компании Optimum D460x1000 DPA, который относится к средним станкам, отличающимся повышенной плавностью хода и отсутствием вибраций. Измеренное радиальное биение шпинделя составляет 0,005 мм, что соответствует условиям «твёрдого точения». Диапазоны подач и частот вращения шпинделя станка удовлетворяют выбранным для экспериментирования диапазонам варьирования.



**Рисунок 3 – Станок Optimum D460x1000 DPA**

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о возможности проведения ускоренных испытаний для составления модели, определения параметров модели и диапазона их варьирования. На основе разработанной методики планируется проведение дальнейших исследований:

– экспериментальное определение оптимальных соотношений подачи скорости резания для композитов, изготавливаемых в лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси;

– моделирование процесса изнашивания материалов  $cBN-wBN-AlB_2/AlN$  и  $cBN-Al$ , используемых в качестве вставок лезвийных инструментов для «твёрдого точения»;

– определение эффективности замены шлифования длинных валов «твёрдым точением» инструментом, оснащённым вставками вышеуказанных материалов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зубарь, В. П. Лезвийная обработка закалённых сталей и чугунов взамен шлифования [Электронный ресурс] / В. П. Зубарь, А. Г. Тимчук, М. В. Чопенко. – Режим доступа: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/20359/1/STvMS\\_2010\\_5\\_Zubar\\_Lezviynaya.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/20359/1/STvMS_2010_5_Zubar_Lezviynaya.pdf).

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

3. Клименко С. А. Технологические возможности инструментов оснащённых композитами на основе кубического нитрида бора / С. А. Клименко, М. Ю. Копейкина, А. О. Чумак // «Сучасні технології в машинобудуванні». – 2017. – вип. 12. – С. 54–60.

4. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко [и др.]; под общ. ред. М. Л. Хейфеца и С. А. Клименко. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 463 с.

5. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора / С. В. Грубый, В. В. Лапшин. – М. : Наука и образование, ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 61–74.

УДК 681.5

### РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА БЫСТРОСМЕННЫХ ЗАХВАТОВ И СБОРОЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

*Матрунчик Ю. Н.<sup>1</sup>, Шлейко Т. А.<sup>2</sup>*

*1) Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск Республика Беларусь*

*2) Учреждение образования «Национальный детский технопарк»,  
г. Минск Республика Беларусь*

Исследовательский проект «Роботизированная система быстросменных захватов и сборочных инструментов промышленных роботов» является результатом реализации индивидуальной программы дополнительного образования одаренных детей и молодежи заочной (дистанционной) формы получения образования УО НДТП РБ.