Разработка технологии и исследование качества заточки прецизионных резцов из сверхтвёрдых материалов

09, сентябрь 2012

DOI: 10.7463/0912.0482398

Лапшин В. В., Грубый С. В.

УДК 621.941.1

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

vasylap@mail.ru

grusv@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Прецизионные резцы из природного алмаза используют для обработки различных деталей, имеющих зеркальные поверхности: элементы лазерной оптики, ювелирные изделия, контактные линзы и др. Как правило, природные алмазы применяют при обработке цветных и драгоценных металлов, пластмасс, кристаллов кремния и германия, и других особо чистых материалов, не содержащих железа, никеля, и твёрдых включений.

В последнее время находят применение искусственные поликристаллические сверхтвёрдые материалы на основе плотных модификаций нитрида бора. Прецизионными резцами из нитрида бора обрабатывают детали топливно-регулирующей аппаратуры двигателей, гидравлических моторов и насосов, аэростатические подшипники и другие детали из закалённой стали.

Все перечисленные детали имеют в своём составе поверхности, шероховатость которых должна находиться в пределах 14 класса. Поэтому для прецизионных резцов из СТМ предъявляют высокие требования к качеству режущих поверхностей лезвия:

- шероховатость передней, задней поверхностей и режущей кромки резца должна составлять не более $Rz\ 0,05\ \mu\text{м}$;
- радиус округления кромки должен находиться в пределах от десятых до сотых долей микрометра;

- радиус закругления резца в плане должен контролироваться с высокой точностью для возможной коррекции управляющей программы.

В процессе эксплуатации прецизионные резцы изнашиваются, что приводит к изменению первоначальных показателей, характеризующих качество заточки: увеличивается площадка износа по задней поверхности лезвия, происходит разрушение режущей кромки, увеличивается радиус округления кромки и др. [1, 2]. Износ прецизионных резцов ухудшает качество обработанной поверхности. Поэтому для сверхточной обработки критерием затупления является выход показателей качества за пределы допустимого, а величину износа можно связать с общим путем резания как это сделано в работе [3].

Таким образом, вопросы первичной заточки и переточки прецизионных резцов после затупления являются актуальными, а технология заточки должна обеспечить указанные высокие требования к качеству поверхностей лезвия.

Абразивная обработка СТМ чрезвычайно затруднена из-за их высокой твёрдости, повышенной хрупкости, большой износостойкости затачиваемых поверхностей. Обработка может осуществляться двумя методами: с применением связанных абразивов и свободных абразивных порошков.

Заточку резцов из СТМ рекомендуется производить алмазными абразивными кругами. Одной из наиболее характерных особенностей процесса шлифования СТМ алмазным кругом является быстрая потеря его режущей способности в результате интенсивного изменения рельефа режущей поверхности и её свойств. Для обеспечения высокой эффективности алмазного шлифования необходимо производить периодическую правку и восстанавливать режущую способность кругов.

Наиболее производительными являются методы шлифования СТМ алмазными кругами на металлических связках с обязательным управлением их режущим рельефом. Оно достигается дозируемым разрушающим воздействием на связку и алмазные зёрна, находящиеся на рабочей поверхности круга, а также удалением из межзёрненного пространства продуктов шлифования и износа.

При обработке свободным абразивом удаление материала проводится в результате воздействия на обрабатываемую поверхность зёрен, шаржированных в поверхность притира, либо временно в нём закрепившихся, а также вследствие перекатывания остальных зёрен между заготовкой и притиром. Этим способом можно выполнять операции как предварительной, так и доводочной обработки. Для получения высококачественного лезвия инструмента рекомендуется проводить доводку мелкозернистым инструментом на сравнительно мягких режимах. Доводку алмазных резцов выполняют на притире,

шаржированном алмазным порошком АСМ зернистостью 7/5...10/7. Притир рекомендуется изготавливать из мелкозернистого серого чугуна с ферритной структурой твердостью 100...120 НВ [4].

1. ПРЕЦИЗИОННЫЕ РЕЗЦЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Отработка технологии заточки проведена на резцах из природного алмаза и плотноупакованного нитрида бора (Dense Boron Nitride - DBN).

В технологических исследованиях и при обработке поверхностей металлооптических элементов на сверхточных станках использовались резцы, оснащенные кристаллами природных алмазов в форме октаэдра и ромбододекаэдра плотной структуры, прозрачные и полупрозрачные, без трещин и других видимых дефектов в рабочей части. Методы отбора и аттестации кристаллов природных алмазов разработаны и приведены в работе [3].

Основные виды отечественных субмикронных и нанодисперсных поликристаллических СТМ на основе плотного нитрида бора были получены в 1970–1990 г.г. в ИФВД (г. Троицк) и ЦНИТИ (г. Москва) - композит 09, а также в ИФТПП (г. Минск) – Светланіт [4]. В настоящее время промышленный выпуск субмикронных и нанодисперсных СТМ на основе плотного нитрида бора проводит предприятие «Микротехника» (г. Мценск) и ЦНИТИ. Сверхтвердый материал DBN представляет особо чистый поликристаллический материал с рекордно высоким (до 99,5 %) содержанием плотных модификаций нитрида бора. Согласно результатам сканирующей электронной микроскопии и петрографического анализа максимальные размеры зерен DBN не превышают 200 нм при практическом отсутствии пористости. Упругие модули, определенные на основании измерений скорости прохождения ультразвуковых волн через образцы, оказались близкими к алмазу и составили 800-850 ГПа, а теплопроводность 350 Вт/(м К) – самая высокая среди известных СТМ из нитрида бора. Проведенный в Технологическом институте сверхтвердых и новых углеродных материалов (ТИСНУМ) анализ показал, что твердость DBN, измеренная методом склерометрии, приближается к 90 ГПа, а твердость по Кнупу превышает 55 ГПа.

Таким образом, DBN не имеет мировых аналогов по твердости и размеру зерна, являясь 100%-ным наноматериалом [5].

Рис. 1. Резец из плотноупакованного нитрида бора DBN (сверху) и резец из природного алмаза.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАТОЧКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ РЕЗЦОВ

Проведены технологические исследования, направленные на отработку технологии заточки радиуса резца при вершине и задней поверхности (для резцов из DBN), и заточку передней поверхности (для резцов из природного алмаза и DBN).

Технологические исследования проведены во "ВНИИИНСТРУМЕНТ" на сверхточном заточном станке. Станок имеет следующие конструктивные особенности:

- аэростатические опоры в основных формообразующих узлах - каретке продольной и поперечной подачи, инструментальном шпинделе, поворотном столе;
- использование встроенных синхронных безвибрационных моторов в шпиндельном узле и поворотном столе;
- использование пневмогидравлического усилителя в качестве привода каретки;
- станина установлена на виброизолирующих опорах, которые обеспечивают её изоляцию от внешних колебаний на частотах свыше 5 Гц.

Экспериментально отработан технологический процесс заточки радиуса прецизионного резца при вершине и задней поверхности.

Технологический процесс состоит из основных операций:

1. Установка контрольного микроскопа на станок и совмещение перекрестия микроскопа с центром вращения поворотного стола.

2. Совмещение центра радиуса предварительно заточенного резца с осью вращения поворотного стола через совмещение с перекрестием микроскопа.

3. Разворот шпинделя, с установленным шлифовальным кругом, на заданный задний угол резца и его фиксация в этом положении. Для заточки использован алмазный шлифовальный круг с размером зерна 14..20 мкм.

4. Совмещение по высоте оси вращения шлифовального круга со следом передней поверхности.

5. Обработка задней поверхности резца (закатка) с одновременным продольным движением подачи вдоль шлифовального круга.

Режимы обработки: частота вращения круга – 2000 об/мин; частота вращения поворотного стола – 2 об/мин.

Эта операция является наиболее трудоемкой. На ней снимается припуск ~ 0,04...0,05 мм. При этом резец совершает вращательные движения и продольные перемещения вдоль шлифовального круга. За один ход резца вдоль торцевой поверхности круга стол совершает несколько циклов кругового движения, при этом периодически осуществляется врезание на 2...3 мкм при помощи винта.

6. Операция выхаживания.

На этой операции вместо алмазного круга установлен чугунный диск, который шаржируют алмазной пастой размером 2..3 мкм.

В отличие от основной операции, здесь отсутствует движение резца вдоль шлифовального круга, а происходит только его поворот вокруг оси стола на заданный угол. При этом на круге образуется радиусная канавка, которая прирабатывается по задней поверхности резца. За счет этого удастся достигнуть лучшей шероховатости и формы затачиваемой поверхности.

Технологический процесс заточки передней поверхности состоит из операций:

1. Установка резца в державку под требуемым передним углом при помощи угломера.

2. Заточка передней поверхности.

При заточке резец совершает продольные движения вдоль поверхности шлифовального круга. Режимы обработки: частота вращения круга – 2000 об/мин; скорость перемещения резца вдоль круга – 60 мм/мин.

3. Доводка передней поверхности.

Для осуществления доводки алмазный шлифовальный круг заменен на чугунный диск, который шаржируется алмазной пастой с размером зерна 2..3 мкм.

Рис. 2. Доводка передней поверхности прецизионного резца

3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАТОЧКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ РЕЗЦОВ

Контроль качества заточенных поверхностей осуществлен с помощью конфокального микроскопа μ Surf NanoFocus AG. Микроскоп имеет разрешение 1..2 нм вдоль оптической оси объектива. Использован принцип конфокальной фильтрации отражённых от образца лучей. Размер сканируемого участка 160x160 мкм, увеличение 100^x. Результаты сканирования поверхности передаются в компьютер, который формирует изображение и выводит его на экран монитора. Программное обеспечение позволяет не только оцифровать объект, но сразу же визуализировать его как 3-D объект. Цифровая модель может быть сохранена на компьютере и в дальнейшем вызвана для обработки и сравнения.

На рис. 3 показано направление сканирования передней поверхности алмазного резца, заточенного по изложенной выше технологии. Программное обеспечение позволяет вычислить шероховатость поверхности отсканированного участка. На рис. 4 представлен рельеф поверхности вдоль направления красной стрелки.

Рис. 3. Исследуемый участок передней поверхности алмазного резца в поперечном направлении.

Рис. 4. Шероховатость поверхности исследуемого участка.

Для участка, изображённого на рис. 3, получены следующие результаты: R_z 0,043 мкм, R_a 0,006 мкм, R_q 0,008, что соответствует 14 классу шероховатости.

На рис. 5 показана шероховатость передней поверхности алмазного резца в продольном направлении. Шероховатость также соответствует 14 классу.

Рис. 5. Шероховатость передней поверхности алмазного резца в продольном направлении

Также были проведены исследования качества заточки резца из DBN. Шероховатость передней поверхности в продольном направлении показана на рис. 6, шероховатость задней поверхности - на рис. 7.

Как и для алмазных резцов, шероховатость заточенных резцов из DBN соответствует 14 классу.

Радиус закругления вершины резца в плане может составлять несколько миллиметров для алмазного резца и десятые доли миллиметра для резца из DBN. Измерение радиуса закругления вершины резца из DBN показано на рис. 8.

Рис. 6. Шероховатость передней поверхности резца из DBN в продольном направлении

Рис. 7. Шероховатость задней поверхности резца из DBN

Рис. 8. Измерение радиуса закругления резца из DBN

4. ИСПЫТАНИЯ РЕЗЦОВ

Методика исследований и испытания резцов была отработана на кафедре "Инструментальная техника и технологии" МГТУ им. Н.Э. Баумана при наружном продольном точении заготовки типа гильзы из стали марки ШХ15, подвергнутой закалке (твердость в пределах HRC 60 – 62). Режущими инструментами были выбраны резцы различных конструкций и геометрических параметров из поликристаллических композиционных материалов на основе кубического нитрида бора. По результатам экспериментальных исследований установлена предельная скорость резания при заданной стойкости инструмента и уточнены условия применения резцов [6].

Отработанная методика распространена на сверхточную обработку и использованием прецизионных резцов.

Прецизионные резцы из природного алмаза и плотноупакованного нитрида бора, заточенные по выше приведенной технологии, были испытаны на сверхточных

обрабатывающих станках и различных операциях. Резцом из природного алмаза были обработаны зеркальные плоские и сферические поверхности из меди и алюминиевого сплава. Контроль шероховатости обработанных поверхностей показал, что шероховатость соответствует оптическому 14 классу, и составляет Rz 0,032 мкм.

Резцом с режущей частью из DBN произведена высокоточная обработка отверстия корпуса аэростатического подшипника из закалённой нержавеющей стали. В результате обработки было достигнуто для отверстия диаметром 78 мм отклонение от цилиндричности не более 2 мкм (рис. 7).

Рис. 9. Расточка корпуса аэростатического подшипника.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология заточки прецизионных резцов из сверхтвердых материалов, обеспечивающая высокое качество заточки лезвия и возможность использования этих резцов на различных операциях сверхточной обработки. Проведено исследование качества заточки, подтверждена шероховатость заточенных поверхностей в пределах 14 класса. Резцы испытаны на сверхточных обрабатывающих станках при обработке зеркальных поверхностей и расточке отверстия в корпусе из закаленной стали.

По результатам проведенных работ определены пути дальнейших исследований:

- повышение качества заточки прецизионных резцов из СТМ для обеспечения заданного радиуса при вершине резца и минимального радиуса округления режущей кромки;
- отработка методики измерения радиуса округления кромки прецизионных резцов;
- моделирование процесса изнашивания лезвийных инструментов, теоретический расчет износа и стойкости инструментов из сверхтвердых материалов как намечено, например, в работах [7, 8];
- экспериментальная отработка и оптимизация режимных параметров обработки сверхточных поверхностей различного назначения для инструментов из современных марок сверхтвердых инструментальных материалов на основе нитрида бора плотной структуры и природного алмаза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ge Yingfei, Xu Jiuhua, Yang Hui. Diamond tools wear and their applicability when ultra-precision turning of SiCp/2009Al matrix composite. - Wear, 269 (2010), p.699-708.
2. B.M. Lane, M. Shi, T.A. Dow, R. Scattergood. Diamond tool wear machining Al6061 and 1215 steel. – Wear, 268 (2010), p. 1434-1441.
3. Грубый С.В., Татьяна Н.А. Исследование и применение кристаллов природных алмазов и резцов повышенной износостойкости// Вестник машиностроения. - 1997, №4. - С. 19 - 23.
4. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова. - Машиностроение, 2005. - 555 с.
5. Опыт промышленного применения сверхтвердых инструментальных наноматериалов/ Малышев С.Н., Филоненко В.П., Захаревич Е.М., Перфилов С.А. – РИТМ, 2011, №2 (60), с. 42-44, http://www.ritm-magazine.ru/pdf/RITM_60.pdf
6. Грубый С.В., Лапшин В.В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора// Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. - 2012. - №6. DOI: [10.7463/0612.0423622](https://doi.org/10.7463/0612.0423622)
7. Yong Huang, Steven Y.Liang. Modeling of CBN Tool Flank Wear Progression in Finish Hard Turning // Trans. of the ASME: Journal of Manuf. Science and Engineering, February 2004, vol. 126, p. 98-106.
8. Грубый С.В. Моделирование процесса изнашивания резцов из нитрида бора при обработке закаленных сталей // Технология металлов. 2003, №11, с. 11-16.

Development of technology and research of quality of sharpening precision cutters from ultra-hard materials

09, September 2012

DOI: 10.7463/0912.0482398

Lapshin V.V., Grubyy S., V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

vasylap@mail.ru

grusv@yandex.ru

The article describes the process of sharpening of precision cutting tools made of ultra-hard materials for ultra-precise cutter-grinding machines. These are the requirements to be met by the sharpened surface and by the means by which they are achieved. The authors present the results of their research of the quality of sharpened surfaces, and the results of tests of different cutters operations.

Publications with keywords:[cutter](#), [quality](#), [diamond](#), [boron nitride](#), [sharpening technology](#)

Publications with words:[cutter](#), [quality](#), [diamond](#), [boron nitride](#), [sharpening technology](#)

References

1. Ge Yingfei, Xu Jiuhua, Yang Hui. Diamond tools wear and their applicability when ultra-precision turning of SiCp/2009Al matrix composite // Wear. 2010. Vol. 269, no. 11-12. P. 699-708. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2009.09.002>
2. Lane B.M., Shi M., Dow T.A., Scattergood R. Diamond tool wear machining Al6061 and 1215 steel // Wear. 2010. No. 268, no. 11-12. P. 1434-1441. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2010.02.019>
3. Grubyy S.V., Tat'ianina N.A. Issledovanie i primeneniye kristallov prirodnykhalmazov i reztsov povyshennoi iznosostoikosti [The study and application of the crystals of natural diamonds and cutters raised wear resistance]. *Vestnik mashinostroeniia* [Herald of Mechanical Engineering], 1997, no. 4, pp. 19 - 23.
4. Novikov N.V., ed. *Instrumenty iz sverkhтвердых материалов* [Tools of superhard materials]. Moscow, Mashinostroenie, 2005. 555 p.

5. Malyshev S.N., Filonenko V.P., Zakharevich E.M., Perfilov S.A. Opyt promyshlennogo primeneniia sverkhhtverdykh instrumental'nykh nanomaterialov [Experience of industrial application of superhard tools nanomaterials]. RITM, 2011, №2 (60), pp. 42-44. Available at: http://www.ritm-magazine.ru/pdf/RITM_60.pdf , accessed 08.07.2012.
6. Grubyi S.V., Lapshin V.V. Issledovanie rezhushchikh svoistv reztsov iz nitrída bora [Research of cutting properties of boron nitride cutters]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, no. 6. DOI: [10.7463/0612.0423622](https://doi.org/10.7463/0612.0423622)
7. Huang Y., Liang S.Y. Modeling of CBN Tool Flank Wear Progression in Finish Hard Turning. *Trans. of the ASME: Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2004, vol. 126, no. 1, pp. 98-107. DOI: 10.1115/1.1644543
8. Grubyi S.V. Modelirovanie protsessa iznashivaniia reztsov iz nitrída bora pri obrabotke zakalennykh stalei [Modeling of the process of wearing of cutters of boron nitride in the processing of hardened steels]. *Tekhnologiya metallov*, 2003, no. 11, pp. 11-16.