

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ АЛМАЗНОМ ЗАТАЧИВАНИИ

© 2015

Д.В. Лобанов, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения»
А.С. Янюшкин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения»
П.В. Архипов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»
Братский государственный университет, Братск (Россия)

Ключевые слова: алмазная обработка; твердосплавный инструмент; качество обработки; моделирование напряжений и деформаций.

Аннотация: Отражено влияние на процесс резания, износ режущего инструмента во время работы и качество обработанных изделий технологии формирования режущих поверхностей и лезвия инструмента. Отмечена актуальность этой проблемы при затачивании композиционных инструментальных материалов, где наблюдается хрупкое разрушение инструментального материала под действием сил резания. Обозначена необходимость детального изучения напряженно-деформированного состояния режущей кромки и поверхностей вблизи ее при формообразовании (затачивании) инструмента со специфической для обработки композиционных неметаллических материалов геометрией. Рассмотрены вопросы формообразования качественного лезвия режущего инструмента из высокопрочных материалов при алмазном затачивании. Представлены начальные и граничные условия проведения исследований и методика создания расчетной модели напряженно-деформированного состояния в затачиваемой пластине. Для исследования формирования напряженно-деформированного состояния в зоне затачивания пластины из сплава высокой твердости была использована вычислительная модель, разработанная с учетом механики повреждаемых сред. Расчетная модель реализована на примере твердосплавных режущих элементов марки ВК6, обладающих специфической геометрией, характерной для инструмента по обработке изделий из композиционных неметаллических материалов. Проведена оценка исследуемых параметров при различном сочетании усилий резания, скорости и температуры. Выявлены параметры и условия затачивания для обеспечения удовлетворительного состояния лезвия режущих инструментов, оснащенных твердосплавными режущими элементами. Таким требованиям могут отвечать комбинированные методы электроалмазной обработки: алмазное затачивание с непрерывной электрохимической правкой поверхности алмазного круга; электрохимическое алмазное затачивание; комбинированный метод, сочетающий электрохимическое алмазное затачивание с одновременной непрерывной электрохимической правкой поверхности алмазного круга.

ВВЕДЕНИЕ

Качество готовой продукции в машиностроении зависит от многих взаимосвязанных факторов. Немаловажная роль при этом отводится режущему инструменту. Во внимание следует принимать не только надежность и точность его изготовления, но и качество изготовления (формообразования) режущего лезвия. Качественно сформированные режущие поверхности инструмента оказывают значительное влияние на процесс резания, износ режущего инструмента и качество обработанных поверхностей изделий [1–7]. Особо актуальна эта проблема при затачивании высокопрочных инструментальных материалов, где наблюдается хрупкое разрушение инструментального материала под действием сил резания.

Анализ технологий изготовления (формообразования) твердосплавных режущих элементов инструмента со специфической геометрией (например, для обработки композиционных неметаллических материалов) показал, что при подготовке инструмента к работе большое значение имеет качество формирования режущего лезвия, сведение к минимуму дефектов, возникающих на нем и непосредственно в его близи [8]. Кроме того, существенным фактором, влияющим на износостойкость инструмента, является уровень остаточных напряжений на поверхности и в приповерхностных слоях на режущем лезвии после операции затачивания. Практический интерес представляет изучение закономерностей формирования напряженно-деформированного состоя-

ния в элементах режущего инструмента из твердых материалов при затачивании алмазным кругом [3; 9–12].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для моделирования процесса затачивания твердосплавного режущего элемента рассмотрим схему обработки и действующие при этом динамические составляющие процесса (рис. 1).

Затачиваемый режущий элемент, имеющий форму клина с углом заострения β , закреплен неподвижно. Шлифовальный круг (в данном случае чашечный конический) вращается вокруг своей оси с постоянной скоростью V (м/с). Кроме того, шлифовальный круг поступательно движется в сторону затачиваемого режущего элемента с постоянной скоростью, равной величине продольной подачи $S_{пр}$ (мм/мин). В процессе затачивания с поверхности режущего элемента снимается слой материала, равный величине поперечной подачи $S_{поп}$ (мм/дв. ход).

В результате кинематического воздействия абразивного инструмента на обрабатываемую заготовку в зоне резания возникают технологические силы, которые достаточно просто измерить с высокой точностью.

Линейные скорости смещения поверхностного слоя материала зависят от радиальных размеров шлифовального круга в месте его непосредственного контакта с затачиваемым режущим элементом.

Примем некоторые допущения для оценки напряженно-деформированного состояния режущей кромки

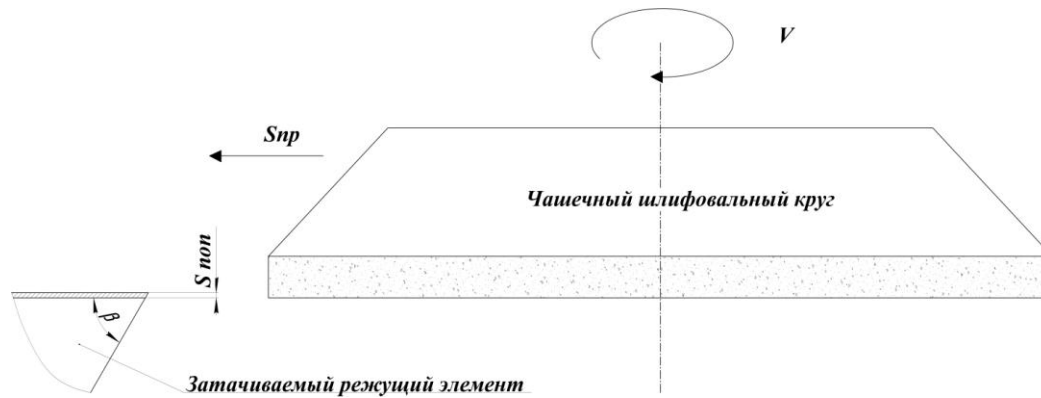


Рис. 1. Схема заточивания режущего элемента

и поверхностей вблизи ее при заточивании. Материал режущего элемента считается однородным сплошным и анизотропным. В процессе обработки он испытывает незначительные деформации. Разрушение материала считается хрупким, то есть при превышении предела прочности происходит отслаивание материала. Технологические силы, действующие на режущий элемент со стороны абразивного инструмента, распределены равномерно по передней поверхности вдоль режущей кромки заточиваемого инструмента. Предполагается, что режущая кромка является абсолютно острой (радиус округления равен нулю) и внешние силы распределены равномерно по ширине резца, а задняя поверхность не нагружена.

Упрощенно процесс шлифования рассматриваем как результат воздействия на обрабатываемую поверхность движущегося индентора (абразивного зерна). В действительности поверхность абразивного круга представляет собой распределенные по объему зерна-абразивы неодинакового размера, геометрически отличающиеся друг от друга. Поэтому каждое отдельное зерно снимает малую часть материала, а существенное влияние оказывает рабочий диаметр круга и скорость сдвига в месте обработки. Допущение об однородности поверхности круга может приводить к завышенным значениям параметра поврежденности вблизи области шлифования. Тем не менее распределение повреждений в режущем лезвии должно соответствовать данным, реализуемым на практике.

Уровень остаточных напряжений и степень поврежденности твердых материалов в зоне шлифования зависят от большого количества технологических и физических факторов. Определение рационального сочетания параметров процесса шлифования зависит не только от физико-механических свойств обрабатываемого материала, но и конкретных геометрических размеров изделия.

Для исследования формирования напряженно-деформированного состояния в зоне заточивания пластины из сплава высокой твердости была использована вычислительная модель, разработанная с учетом механики повреждаемых сред [8; 13].

Модель позволяет оценить давления, интенсивность напряжений и поврежденность, возникающие в объеме пластины в процессе алмазного заточивания.

Для численной реализации модели в качестве примера исследуем систему композиционного твердого

сплава марки ВК6, в состав которого входят карбиды вольфрама WC и кобальт Co в качестве связующего. Экспериментальные данные о механических характеристиках сплавов WC-Co широко представлены в литературе [3; 14; 15]. Анализ данных свидетельствует о том, что в сплавах WC-Co практически отсутствует зависимость прочности от давления.

Начальные условия выбраны в предположении об отсутствии во всей исходной области внутренних напряжений и равномерном распределении температуры.

Моделирование проводилось для граничных условий, имитирующих взаимодействие обрабатываемой пластины с алмазным кругом.

Для этого была построена расчетная область, соответствующая обрабатываемой пластине из сплава (рис. 2).

Габаритные размеры пластины в расчетной модели были приняты равными: высота $c=3$ мм, ширина пластины $a=21$ мм, длина пластины $b=12$ мм, угол заострения $\beta=50^\circ$.

Для оценки закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния и повреждения в зоне шлифования в расчетах были зарегистрированы изменения данных параметров во времени в лагранжевых точках 1, 2, 3 (рис. 2). Расчетные значения интенсивности сдвиговых напряжений, возникающих при шлифовании с заданными комбинациями распределенного по обрабатываемой поверхности прижимающего усилия резания (10 Н, 100 Н, 300 Н), линейной скорости сдвига материала с обрабатываемой поверхности (15 м/с, 33 м/с, 45 м/с), температуры (430 °С, 1000 °С) в зоне шлифования.

Решение вычислительной модели выполнено с помощью конечно-разностного метода, реализованного в решателе программного комплекса *AUTODYN TM / ANSYS Workbench – 13*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведена оценка исследуемых параметров при различном сочетании усилий резания, скорости и температуры. Примеры распределения давления и интенсивности напряжений в теле исследуемой пластины представлены на рис. 3 и рис. 4.

Наибольший интерес, с точки зрения качества подготовки режущего лезвия, имеет распределение значений параметра поврежденности вблизи режущей кромки. Пример распределения поврежденности в теле

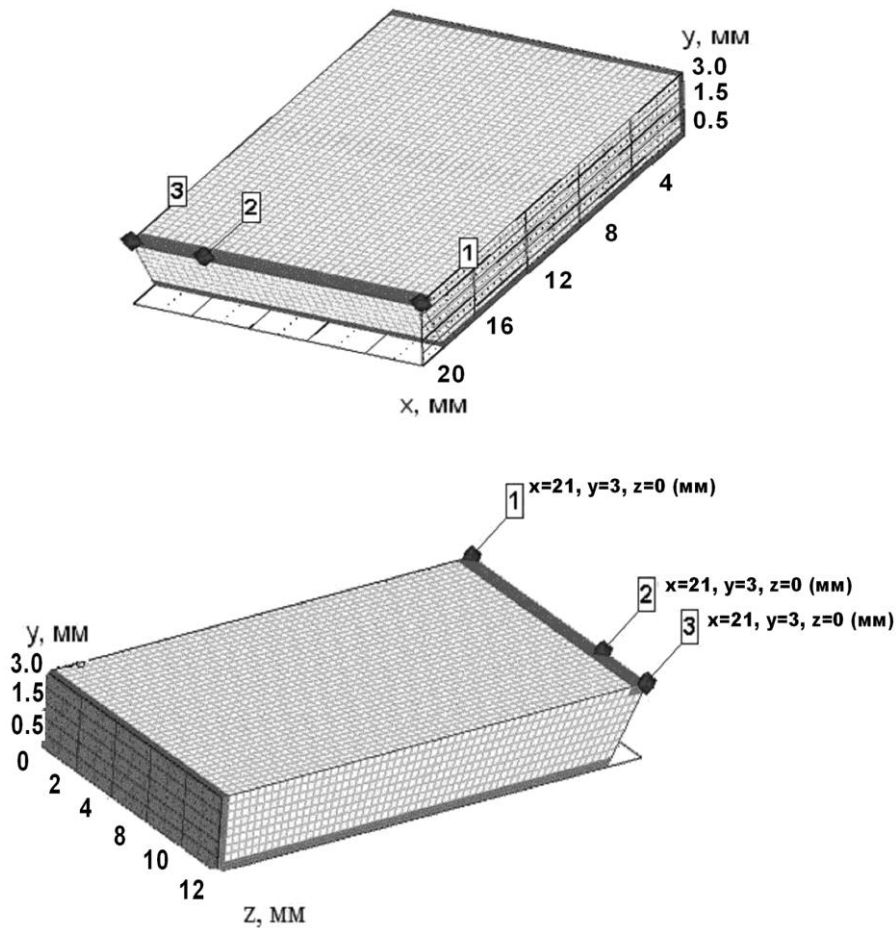


Рис. 2. Расчетная модель затачиваемой твердосплавной пластины

$F=100 \text{ Н}$, $V=33 \text{ м/с}$, $T=430^\circ\text{C}$

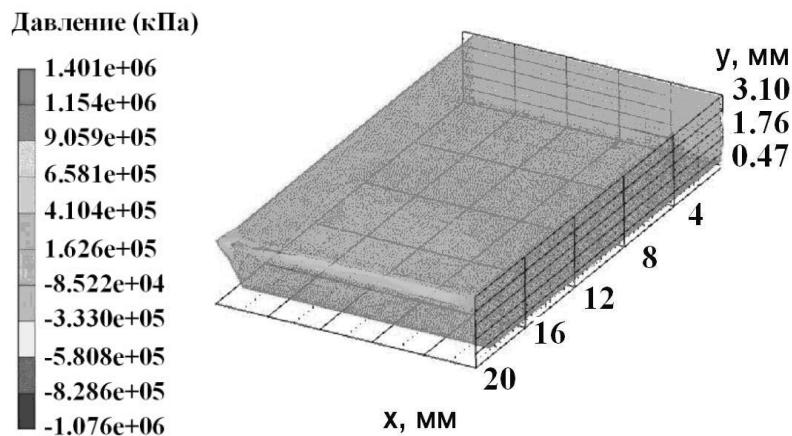


Рис. 3. Распределение давления в теле пластины ВК6 в процессе алмазного шлифования

исследуемой пластины и результаты оптического исследования поверхностей твердосплавных элементов после затачивания в тех же условиях представлены на рис. 5.

Сопоставление данных, полученных в одинаковых условиях в результате экспериментальных исследований и при численной реализации модели, выявило расхождения, не превышающие 10...15 %, что позволяет сделать вывод об адекватности полученной модели [8].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предложена адекватная физико-математическая модель процессов деформации, повреждения и разрушения твердых композиционных материалов системы WC-Co, позволяющая проводить оценку напряженно-деформированного состояния режущего элемента при алмазном затачивании. Расчетная модель реализована на примере твердосплавных режущих элементов марки ВК6,

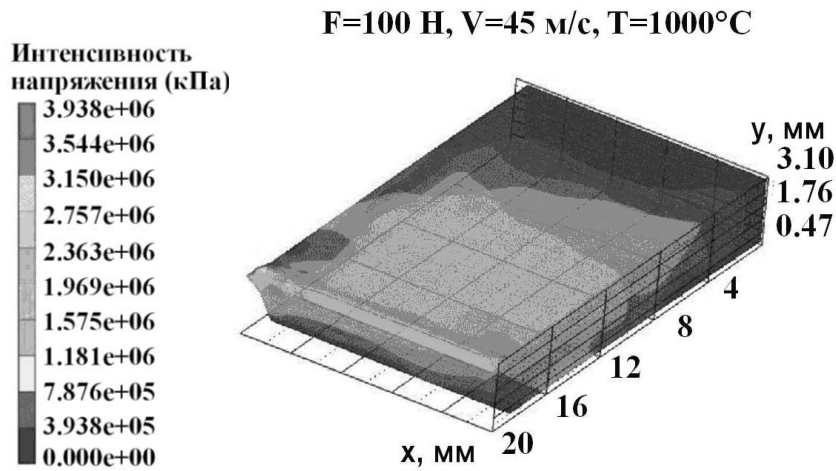


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений в теле пластины ВК6 в процессе алмазного шлифования

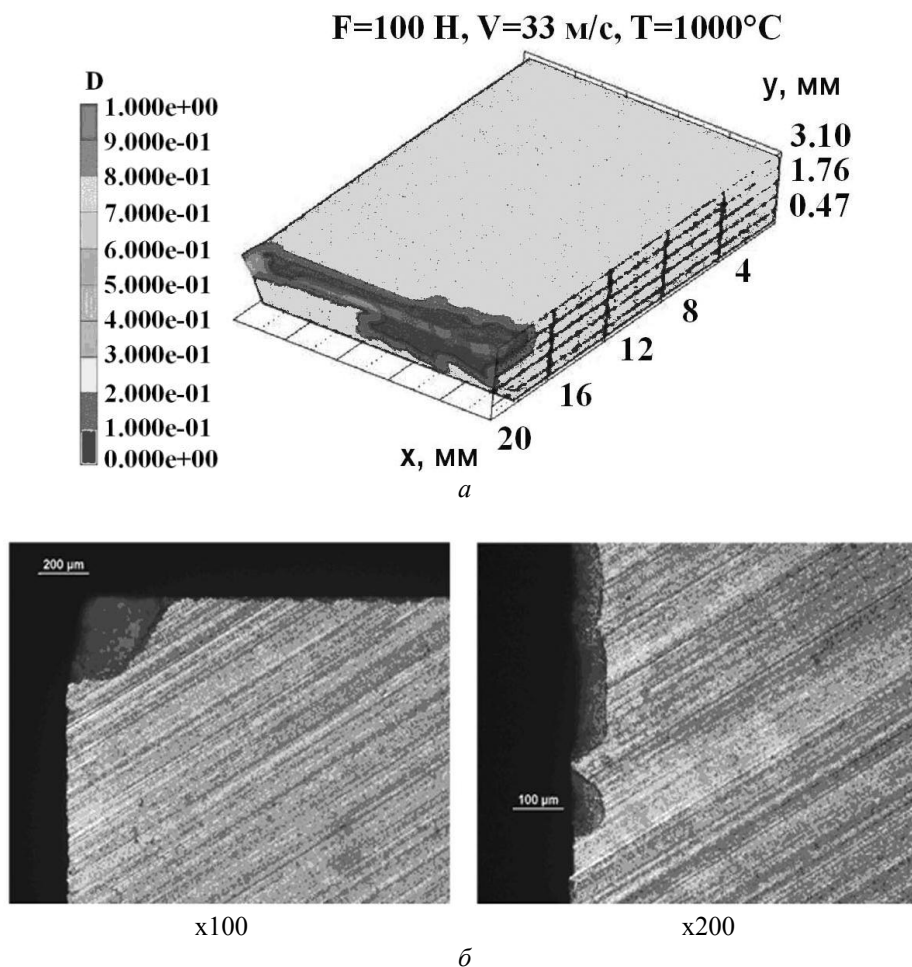


Рис. 5. Расчетное распределение параметра поврежденности в теле пластины ВК6 (а) и оптическое исследование участков поверхности режущих элементов после затачивания в тех же условиях (б)

обладающих специфической геометрией, характерной для инструмента по обработке изделий из композиционных неметаллических материалов. Модель может быть адаптирована и для других композиционных высокопрочных и труднообрабатываемых материалов, что позволит выполнять оценку напряженно-деформированного состояния при различных со-

четаниях абразивного инструмента и обрабатываемых материалов.

Физико-математическая модель позволила выявить формирование сложного напряженного состояния в объеме пластины при взаимодействии с алмазным кругом. При силах резания до 100 Н серьезных разрушений режущей кромки не наблюдается. Зонами наибольшей

концентрации напряжений являются участки режущей кромки по краям образца режущего элемента, где могут проследиваться частичные разрушения. При достижении сил резания свыше 100 Н и скоростей резания более 33 м/с наблюдается разрушение режущей кромки на протяжении всей длины лезвия.

Зоной опасных напряжений, приводящих к разрушению, является контактная площадка затачиваемой поверхности с абразивным инструментом. С удалением от режущей кромки на величину, превышающую вдвое размер контактирующих поверхностей, напряжения снижаются и не способствуют возникновению серьезных дефектов.

Критическими, находящимися вблизи области обработки и вызывающими интенсивное развитие микроповреждений в приповерхностных слоях и зонах, являются условия шлифования (скорость – сила резания): 15 м/с – 300 Н, 33 м/с – 300 Н, 45 м/с – 300 Н.

Результаты моделирования процесса шлифования пластины из сплава ВК6 при линейной скорости ~ 45 м/с и прижимающим усилию 300 Н свидетельствуют о возможности образования повреждений в объеме пластины на глубине свыше 1 мм под обрабатываемой поверхностью.

Анализ данных по распределению параметра поврежденности в обрабатываемой пластине свидетельствует о том, что при температуре 1000 °С критические условия для возникновения микроповреждений в приповерхностных слоях возникают при более низких силах резания, чем при температуре 430 °С.

Следовательно, для затачивания алмазным кругом режущих элементов из композиционных инструментальных материалов группы ВК (WC-Co) со специфической геометрии и габаритными размерами, предназначенных для инструмента по обработке композиционных неметаллических материалов, рекомендуется добиваться линейных скоростей на контактирующих поверхностях в пределах от 33 м/с до 45 м/с.

Для достижения удовлетворительного качества подготовленных режущих поверхностей и лезвия инструмента из твердых сплавов необходимо применять методы и условия обработки, гарантирующие силы резания, не превышающие 100 Н. Таким требованиям могут отвечать комбинированные методы электроалмазной обработки.

Согласно ранее проведенным исследованиям, экспериментально определенные силы резания при различных методах алмазного шлифования твердого сплава составляют [14; 15]:

- традиционное алмазное затачивание без применения электрических процессов $F=200$ Н;
- алмазное затачивание с непрерывной электрохимической правкой поверхности алмазного круга $F=80$ Н;
- электрохимическое алмазное затачивание $F=55$ Н;
- комбинированный метод, сочетающий электрохимическое алмазное затачивание с одновременной непрерывной электрохимической правкой поверхности алмазного круга $F=30$ Н.

Следовательно, последние три метода могут быть рекомендованы для качественного формообразования твердосплавных режущих элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Е.В. Повышение работоспособности сборных режущих инструментов на основе исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сменных твердосплавных пластин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2003. 34 с.
2. Артамонов Е.В., Чернышов М.О. Модель разрушения и прочности твердосплавных элементов сборных сверл // Омский научный вестник. 2014. № 1 (127). С. 44–46.
3. Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Тверяков А.М., Утешев М.Х. Механика разрушения и прочность сменных режущих пластин из твердых сплавов. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. 148 с.
4. Силич А.А., Утешев М.Х., Некрасов Р.Ю., Путилова У.С., Некрасов Ю.И. Геометрические параметры и модель разрушений режущего лезвия инструмента // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2012. № 2. С. 108–113.
5. Некрасов Р.Ю., Путилова У.С., Некрасов Ю.И. Диагностика процессов нагружения и накопления повреждений инструмента при обработке на станках с ЧПУ. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. 120 с.
6. Петрушин С.И., Баканов А.А., Махов А.В. Геометрический и силовой анализ сборных сверл со сменными многогранными пластинами // Технология машиностроения. 2007. № 10. С. 27–30.
7. Petrushin S.I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 379. P. 95–100.
8. Лобанов Д.В. Разработка и реализация технологических методов создания, изготовления и выбора фрезерного инструмента для эффективной обработки композиционных неметаллических материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2013. 36 с.
9. Деренговский А.Г. Напряженно-деформированное состояние линейно-упругого материала в окрестности вершины остроугольного концентратора напряжений : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Орел, 2007. 19 с.
10. Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю., Деренговский А.Г. Конечность напряжений в окрестности вершины плоского клина // Механика XXI века. 2010. № 9. С. 89–93.
11. Шоркин В.С., Фроленкова Л.Ю. Модель состояния поверхностного слоя твердого тела // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4-4. С. 1876–1878.
12. Шоркин В.С. Напряженно-деформированное состояние в окрестности концентратора напряжений // Прикладные проблемы прочности и пластичности. 1996. Т. 54. С. 207–213.
13. Скрипняк В.В., Лобанов Д.В., Скрипняк В.А., Янюшкин А.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния в пластине из композиционного материала (WC-Co) при алмазном затачивании // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2013. № 4. С. 99–110.
14. Янюшкин А.С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. М.: Машиностроение, 2003. 242 с.

15. Янюшкин А.С. Технология электроалмазного затачивания режущих инструментов и методы ее реализации. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 336 с.

REFERENCES

1. Artamonov E.V. *Povyshenie rabotosposobnosti sbornikh rezhushchikh instrumentov na osnove issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i prochnosti smennikh tverdospлавnikh plastin*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Efficiency improvement of modular cutting tools based on studies of the deflected mode and strength of replaceable carbide inserts]. Tomsk, 2003, 34 p.
2. Artamonov E.V., Chernyshov M.O. Model of fracture and strength of carbide cutting element of assembled drills. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2014, no. 1 (127), pp. 44–46.
3. Artamonov E.V., Pomigalova T.E., Tveryakov A.M., Uteshev M.Kh. *Mekhanika razrusheniya i prochnost' smennikh rezhushchikh plastin iz tverdikh splavov* [Fracture mechanics and strength of interchangeable carbide inserts]. Tyumen, TyumGNGU Publ., 2013, 148 p.
4. Silich A.A., Uteshev M.N., Nekrasov R.Yu., Putilova U.S., Nekrasov Yu.I. Geometric parameters and a model of destructions produced by tool cutting end. *Izvestiya vysshikh uchebnikh zavedeniy. Neft' i gaz*, 2012, no. 2, pp. 108–113.
5. Nekrasov R.Yu., Putilova U.S., Nekrasov Yu.I. *Diagnostika protsessov nagruzheniya i nakopleniya povrezhdeniy instrumenta pri obrabotke na stankakh s ChPU* [Diagnostics and processes of loading and damage accumulation in the tool processing with a CNC machine]. Tyumen, TyumGNGU Publ., 2013, 120 p.
6. Petroushin S.I., Bakanov A.A., Makhov A.V. Geometrical and force evaluation of removable-facet-plated build-up drills. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2007, no. 10, pp. 27–30.
7. Petrushin S.I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 379, pp. 95–100.
8. Lobanov D.V. *Razrabotka i realizatsiya tekhnologicheskikh metodov sozdaniya, izgotovleniya i vybora frezernogo instrumenta dlya effektivnoy obrabotki kompozitsionnikh materialov*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Development and implementation of technological methods of creation, production and selection of cutting tools for the efficient processing of composite non-metallic materials]. Novosibirsk, 2013, 36 p.
9. Derengovsky A.G. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie lineynno-uprugogo materiala v okrestnosti vershiny ostrougol'nogo kontsentratora napryazheniy*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Deflected mode of linear-elastic material in the vicinity of the top of an acute stress concentrator]. Orel, 2007, 19 p.
10. Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu., Derengovskiy A.G. Voltage finiteness in the vicinity of the top of a flat wedge. *Mekhaniki XXI veku*, 2010, no. 9, pp. 89–93.
11. Shorkin V.S., Frolenkova L.Yu. The model of thermoelastic state of the surface layer of a solid. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2011, no. 4-4, pp. 1876–1878.
12. Shorkin V.S. Deflected mode in the vicinity of a stress concentrator. *Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti*, 1996, vol. 54, pp. 207–213.
13. Skripnyak V.V., Lobanov D.V., Skripnyak V.A., Yanyushkin A.S. Modeling of the stress-strain state in a plate of a composite material (WC – Co) at diamond grinding. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*, 2013, no. 4, pp. 99–110.
14. Yanyushkin A.S. *Tekhnologiya kombinirovannogo elektroalmaznogo zatachivaniya tverdospлавnikh instrumentov* [Technology of combined electro-diamond sharpening of carbide tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003, 242 p.
15. Yanyushkin A.S. *Tekhnologiya elektroalmaznogo zatachivaniya rezhushchikh instrumentov i metody ee realizatsii* [Technology of electro-diamond sharpening of carbide tools and methods of its implementation]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013, 336 p.

DEFLECTED MODE OF HARD-ALLOY CUTTING ELEMENTS AT DIAMOND SHARPENING

© 2015

D.V. Lobanov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of Chair “Mechanical Engineering”
A.S. Yanyushkin, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Chair “Mechanical Engineering”
P.V. Arkhipov, Ph.D. (Engineering), assistant professor of Chair “Mechanical Engineering”
Bratsk State University, Bratsk (Russia)

Keywords: diamond machining; hard-alloy tool; processing quality; simulation of stresses and deformations.

Abstract: The paper shows the influence of the technology forming the cutting surfaces and blades of the tools on the cutting process and tool wear during operation, and the quality of the processed products. The importance of this problem is emphasized for sharpening tools made of composite materials when a brittle fracture of the tool material occurs under the influence of cutting forces. The authors communicate the necessity a detailed study of deflected mode of the cutting edge and surfaces near it during formation (sharpening) of a tool with a geometry specific for the processing of non-metallic composite materials. The paper considers the questions of shaping the quality cutting blade of a tool made of high-strength materials in diamond machining. Initial and boundary conditions for research are presented as well as methodology for creation of a computational model of deflected mode in the sharpened plate. To research the formation of the deflected mode in the sharpened plate made of hard alloy, there has been used a computational model developed with account for mechanics of the damaged environment. The computational model has been implemented on the example of carbide cutting elements of the brand VK6 (WC + Co) having a specific geometry typical for a tool used for processing the items made of non-metallic composite materials. Evaluation of the test parameters in various combinations of cutting force, velocity and temperature has been performed. Sharpening parameters and terms that ensure a satisfactory condition of the cutting tools blade with carbide cutting elements are determined. Such requirements can be met by combined methods of electro-diamond machining: diamond grinding with continuous electrochemical dressing of the diamond wheel surface; electrochemical diamond grinding; a mixed method which combines electrochemical diamond grinding with simultaneous electrochemical dressing of the diamond wheel surface.