УДК 621.9

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д.А. РЫЧКОВ*[1], *канд. техн. наук, доцент
В.А. СКРИПНЯК*[2], *доктор техн. наук, профессор
А.С. ЯНЮШКИН*[1], *доктор техн. наук, профессор
Д.В. ЛОБАНОВ*[1], *канд. техн. наук, доцент
(*[1]БрГУ, г. Братск, [2]ТГУ, г. Томск*)

Поступила 24 декабря 2013
Рецензирование 15 апреля 2014
Принята к печати 20 апреля 2014

Рычков Д.А. – 665709, г. Братск, Иркутская область, ул. Макаренко, 40,
Братский государственный университет,
e-mail: dielektrik84@mail.ru

Обработка композиционных материалов резанием затруднена из-за особенностей их свойств, вследствие чего происходит интенсивный износ режущего инструмента. Его режущая часть должна обладать высокой прочностью и твердостью и иметь малый угол заострения. Для выполнения этих требований режущая часть инструмента выполняется из твердых сплавов, однако формирование кромки с такой геометрией приводит к неудовлетворительному качеству изделия. В статье предлагается формировать режущую кромку инструмента затачиванием алмазными кругами с применением электрохимических процессов, облегчающих процесс резания. Для этого необходимо определить рациональные режимы комбинированного электроалмазного шлифования твердых сплавов со специфической геометрией режущей кромки. В результате лабораторных испытаний получены зависимости шероховатости обработанной поверхности и удельного расхода алмазного круга в зависимости от плотности тока правки круга и плотности тока травления детали. Установлено, что при повышении электрических параметров шлифования шероховатость снижается до значения 0,1 мкм, а удельный расход круга увеличивается до 2,3 мм^3/мм^3. Показано, что комбинированный метод электроалмазного шлифования имеет преимущества перед другими методами, обработанная поверхность имеет удовлетворительное качество, а величина сколов на режущей кромке не превышает 10 мкм. На основе представленных исследований разработаны рекомендации по назначению режимов затачивания режущего инструмента для обработки композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционные материалы, режущий инструмент, затачивание, качество поверхности, комбинированное шлифование.

Введение

Стремительное развитие современных промышленных технологий сопровождается непрерывным поиском новых возможностей обеспечения требуемых свойств деталей и конструкций различного назначения. При проектировании деталей конструкторы чаще всего стремятся уменьшить массу и себестоимость изделия, увеличить его прочность, твердость и модуль упругости, повысить стойкость к агрессивным средам и т. п. Обеспечить эти требования возможно за счет применения специально созданных композиционных материалов, спо-

* Работа выполнена в рамках проекта № 13-08-90707 мол_рф_нр «Разработка технологии подготовки режущего инструмента для обработки слоистых композиционных материалов» в Томском государственном университете.

собных сочетать в себе необходимые свойства. Однако при обработке таких материалов резанием происходит интенсивный износ режущего инструмента, который объясняется следующими особенностями свойств композитов [1, 2]:

- ярко выраженная анизотропия, высокие прочностные характеристики и твердость наполнителя;
- низкая теплопроводность, абразивное воздействие наполнителя, свойства которого во многом определяют износ режущего инструмента;
- деструкция полимерного связующего при резании;
- высокие упругие свойства композиционных материалов, что вызывает повышенный износ инструмента по задней поверхности из-за интенсивных контактных явлений.

Вследствие этого обработка композитов должна проводиться острозаточенным инструментом, режущая часть которого обладает высокой прочностью и твердостью и имеет увеличенные передний и задний углы. Подготовка такого режущего инструмента сводится к обеспечению рациональных рабочих параметров инструмента при минимальных трудозатратах. Одним из основных этапов подготовки режущего инструмента является формирование геометрии его режущей части механическим способом – затачиванием.

Одной из широко применяемых технологий затачивания является шлифование алмазными кругами [3], однако в данном случае остаются нерешенными ряд проблем, связанных с потерей режущей способности абразивного инструмента наряду с его интенсивным расходом, негативным влиянием температурных явлений в зоне обработки и высокой мощностью резания [4]. Минимизировать отрицательное воздействие этих явлений возможно за счет совершенствования технологии шлифования с применением электрохимических процессов.

К прогрессивным методам затачивания инструментов, режущая часть которых оснащена высокопрочными материалами, можно отнести комбинированный метод электроалмазного шлифования с одновременной непрерывной правкой круга и травлением обрабатываемого изделия [5–9]. Несмотря на то что данный способ шлифования изучен достаточно широко при обработке инструментальных материалов и твердых сплавов, нет однозначных данных по механическим и электрическим режимам затачивания режущих инструментов для обработки композиционных материалов со специфической геометрией режущей части, выполненной из высокопрочных инструментальных материалов таких, как твердые сплавы.

В связи с этим целью исследования является определение рациональных режимов резания при затачивании режущего инструмента для обработки композиционных материалов.

Для достижения поставленной цели нами был проведен ряд экспериментальных исследований для установления взаимосвязи шероховатости и удельного расхода алмазного круга и электрических режимов затачивания комбинированным электроалмазным шлифованием режущих инструментов, оснащенных твердыми сплавами с соблюдением специфической геометрии режущей части для обработки композиционных материалов.

Методика проведения исследований

Лабораторные испытания качественных и количественных характеристик методов затачивания проводились с применением пластин твердых сплавов марок ТН20, ВК15, ВК8, ВК6, ВК6М, ВК3М, поскольку они имеют высокую прочность, теплостойкость и твердость и рекомендуются для обработки высокопрочных материалов, к которым относятся композиционные материалы, а также широко применяются в промышленности при оснащении режущей части сборных инструментов.

В качестве формообразующего инструмента использовался алмазный круг на металлической связке, имеющий следующие характеристики: форма круга 12А2-45; типоразмер 150×10×3×40×32; марка алмазов АС6; связка М1-01; зернистость 100/80; относительная концентрация алмазов в алмазоносном слое 100 %.

Затачивание твердосплавных пластин проводилось на заточном станке модели 3Д642Е, модернизированном под процессы комбинированного электроалмазного шлифования с одновременной правкой круга и травлением поверхности детали при помощи специального устройства [10].

При этом применялся электролит, представляющий раствор солей: 0,5 % Na_2CO_3 и 1 % NaCl

в воде с добавлением ингибитора коррозии 0,5 % $NaNO_2$. Проводимость электролита составила 26 мСм/см, содержание солей – 20 г/л.

В настоящей работе исследовалась зависимость удельного расхода круга и шероховатости обработанной поверхности от электрических параметров комбинированного электроалмазного затачивания: плотности тока правки круга $i_{пр}$ и плотности тока травления детали $i_{тр}$.

Согласно рекомендациям по комбинированному электроалмазному шлифованию быстрорежущих сталей [9] плотность тока правки круга должна быть не более $i_{пр} < 0,3$ А/см^2, плотность тока травления детали – $i_{тр} < 20$ А/см^2, продольная подача – $S_{пр} < 2,5$ м/мин, поперечная подача – $S_{поп} < 0,04$ мм/дв.ход, скорость резания – $V < 52$ м/с, поскольку в противном случае возрастает удельный расход алмазного круга, появляются прижоги на поверхности инструмента и детали. Отмечено, что данные режимы нуждаются в корректировке в зависимости от обрабатываемого материала.

При обработке представленных марок твердых сплавов комбинированным электроалмазным затачиванием увеличение электрических режимов резания до значений $i_{пр} > 0,07$ А/см^2, $i_{тр} > 5$ А/см^2 приводит к увеличению удельного расхода алмазного круга и ухудшению качества обработанных поверхностей. Также хрупкость и высокая прочность твердых сплавов не позволяют устанавливать высокие механические режимы резания и их значения должны быть ниже, чем при обработке быстрорежущих сталей.

Для лабораторных исследований использовалось ортогональное планирование первого порядка, значения плотности тока травления и плотности тока правки круга варьировались в таких пределах: $i_{пр} = 0…0,06$ А/см^2; $i_{тр} = 0…4,0$ А/см^2. Механические режимы обработки следующие: $S_{пр} = 1,5$ м/мин; $S_{поп} = 0,02$ мм/дв. ход; $V = 19,6$ м/с.

Формирование режущей кромки твердосплавных пластин осуществлялось обработкой образцов по передней и задней поверхностям с образованием угла заострения $\beta = 55°$, в результате чего для каждой марки твердого сплава получено по 4 образца, заточенных разными способами алмазного шлифования: без электрохимии ($i_{пр} = 0$ А/см^2 , $i_{тр} = 0$ А/см^2), с правкой круга ($i_{пр} = 0,06$ А/см^2, $i_{тр} = 0$ А/см^2), с травлением детали ($i_{пр} = 0$ А/см^2, $i_{тр} = 4,0$ А/см^2) и комбинированным ($i_{пр} = 0,06$ А/см^2, $i_{тр} = 4,0$ А/см^2).

Для оценки качественных и количественных параметров электроалмазного затачивания твердых сплавов использованы методы статистической обработки данных и оборудование Томского государственного университета: сканирующий электронный микроскоп *SEM* 515 (*Philips*), микроскоп оптический металлографический *Olimpus BX*-51.

Результаты и обсуждение

По результатам лабораторных исследований с применением методов статистической обработки данных получены математические модели удельного расхода круга q и шероховатости R_a от плотности тока правки и плотности тока травления при затачивании твердых сплавов:

для ВК8:

$$q = 0,49 + 4,20i_{пр} - 0,01i_{тр} + 2,07i_{пр}i_{тр},$$

$$R_a = 0,39 + 1,73i_{пр} - 0,05i_{тр} - 0,18i_{пр}i_{тр}, \text{ мкм};$$

для ВК15:

$$q = 0,20 + 8,39i_{пр} + 0,12i_{тр} + 12,50i_{пр}i_{тр},$$

$$R_a = 0,55 + 2,48i_{пр} - 0,06i_{тр} - 0,69i_{пр}i_{тр}, \text{ мкм};$$

для ВК3М:

$$q = 0,56 + 1,47i_{пр} + 0,13i_{тр} + 2,07i_{пр}i_{тр},$$

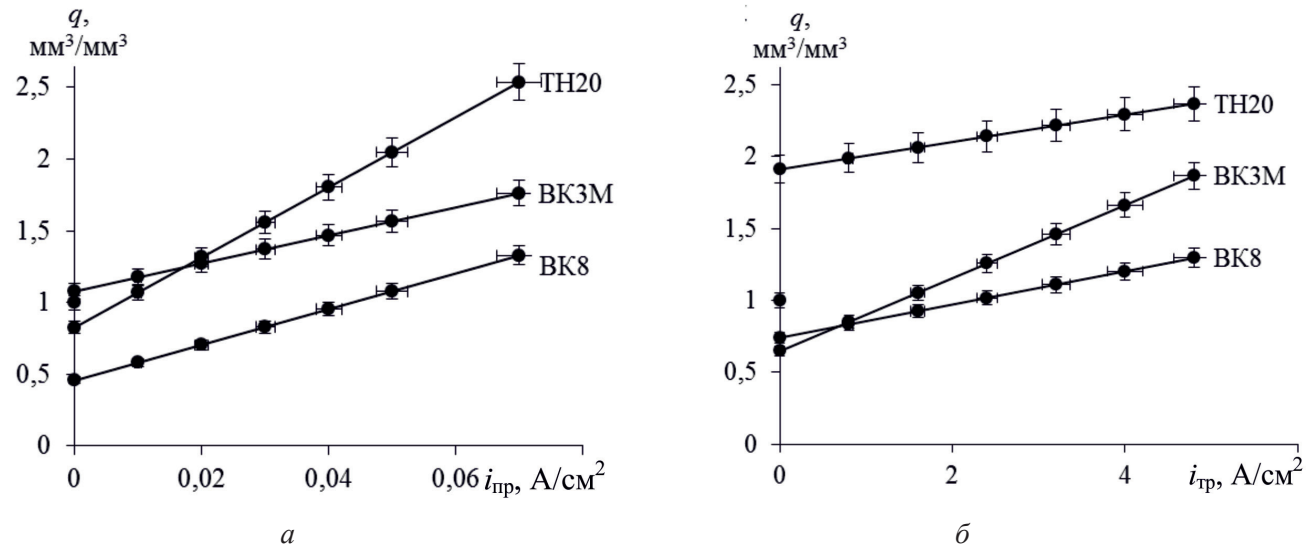
$$R_a = 0,16 - 12,08i_{пр} - 0,19i_{тр} - 1,06i_{пр}i_{тр}, \text{ мкм};$$

для ТН20:

$$q = 0,63 + 21,31i_{пр} + 0,05i_{тр} + 0,78i_{пр}i_{тр},$$

$$R_a = 0,22 + 0,47i_{пр} + 0,01i_{тр} + 0,27i_{пр}i_{тр}, \text{ мкм.}$$

Рассмотрев частные случаи, когда один из переменных факторов является постоянным, получили графики зависимости удельного расхода алмазного круга (рис. 1) и шероховатости заточенной поверхности (рис. 2) от плотности тока правки и плотности тока травления.



а *б*

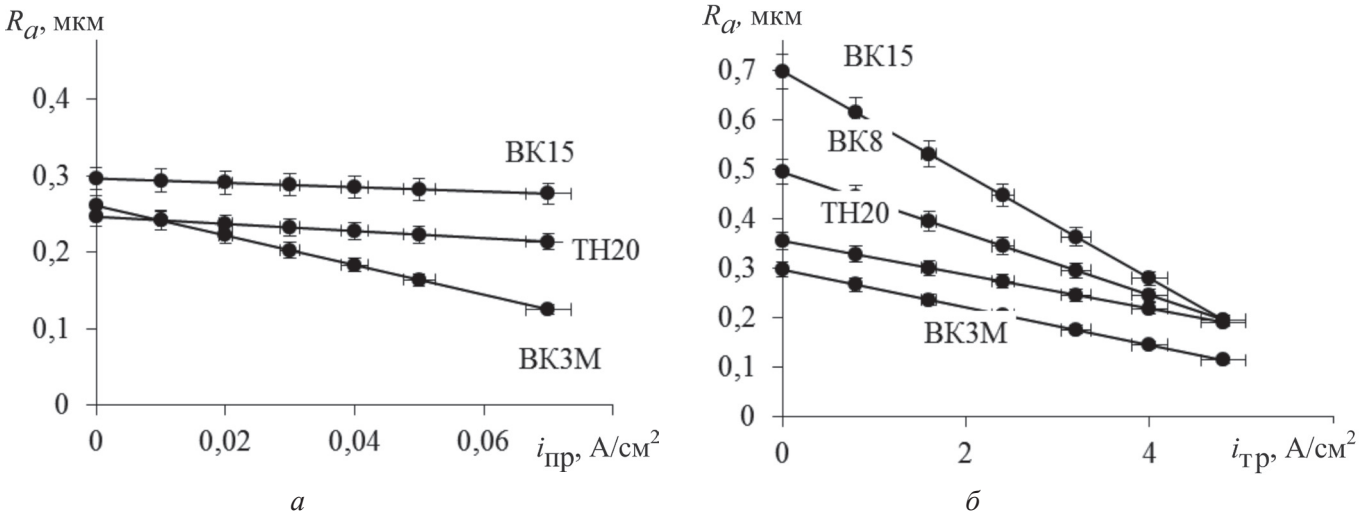
Рис. 1. Зависимости удельного расхода алмазного круга:

а – от плотности тока правки при $i_{тр}$ = 4 А/см^2; *б* – от плотности тока травления при $i_{пр}$ = 0,06 А/см^2

Удельный расход круга (см. рис. 1) с повышением электрических режимов обработки увеличивается вследствие растравливания образовавшегося засаленного слоя и связки алмазного круга и при максимальных значениях плотности тока правки и плотности тока травления ($i_{тр}$ = 4 А/см^2; $i_{пр}$ = 0,06 А/см^2) составляет не более 2,3 мм^3/мм^3.

Шероховатость обработанной поверхности в большей степени зависит от плотности тока травления детали (рис. 2), поскольку электрохимическое разупрочнение поверхности способствует сглаживанию микронеровностей. В этом случае наименьшая шероховатость наблюдается при комбинированном методе электроалмазного шлифования с одновременным разупрочнением поверхности обрабатываемой заготовки и правкой алмазного круга.

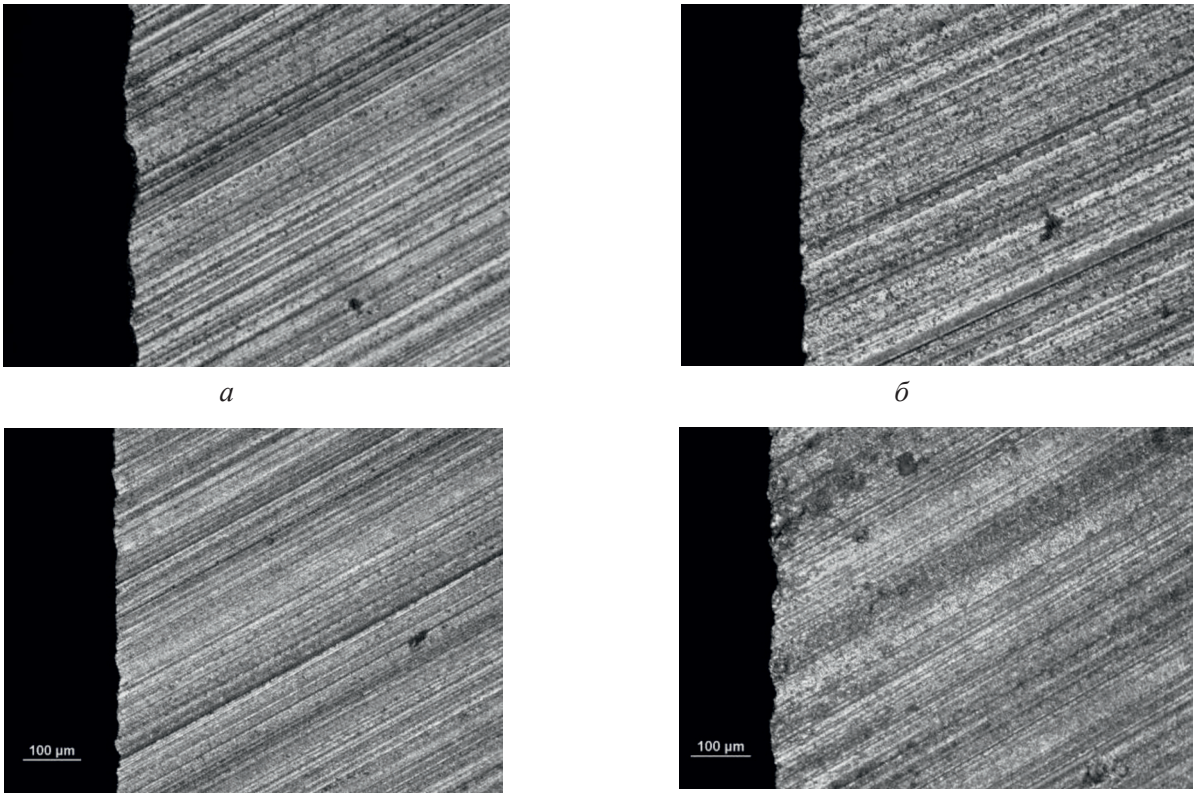
Оптические исследования были направлены на изучение изменения качества режущей кромки при затачивании различными методами алмазного шлифования. Далее представлены результаты исследования затачивания твердосплавных пластин на примере сплава ВК3М, для остальных марок твердых сплавов получены аналогичные результаты. На рис. 3 и 4 представлены фотографии с оптического микроскопа и растрового электронного микроскопа режущей кромки твердосплавных пластин марки ВК3М, заточенных различными методами: без электрохимии, комбинированным, с правкой круга и с травлением детали.



а *б*

Рис. 2. Зависимость шероховатости обработанной поверхности:

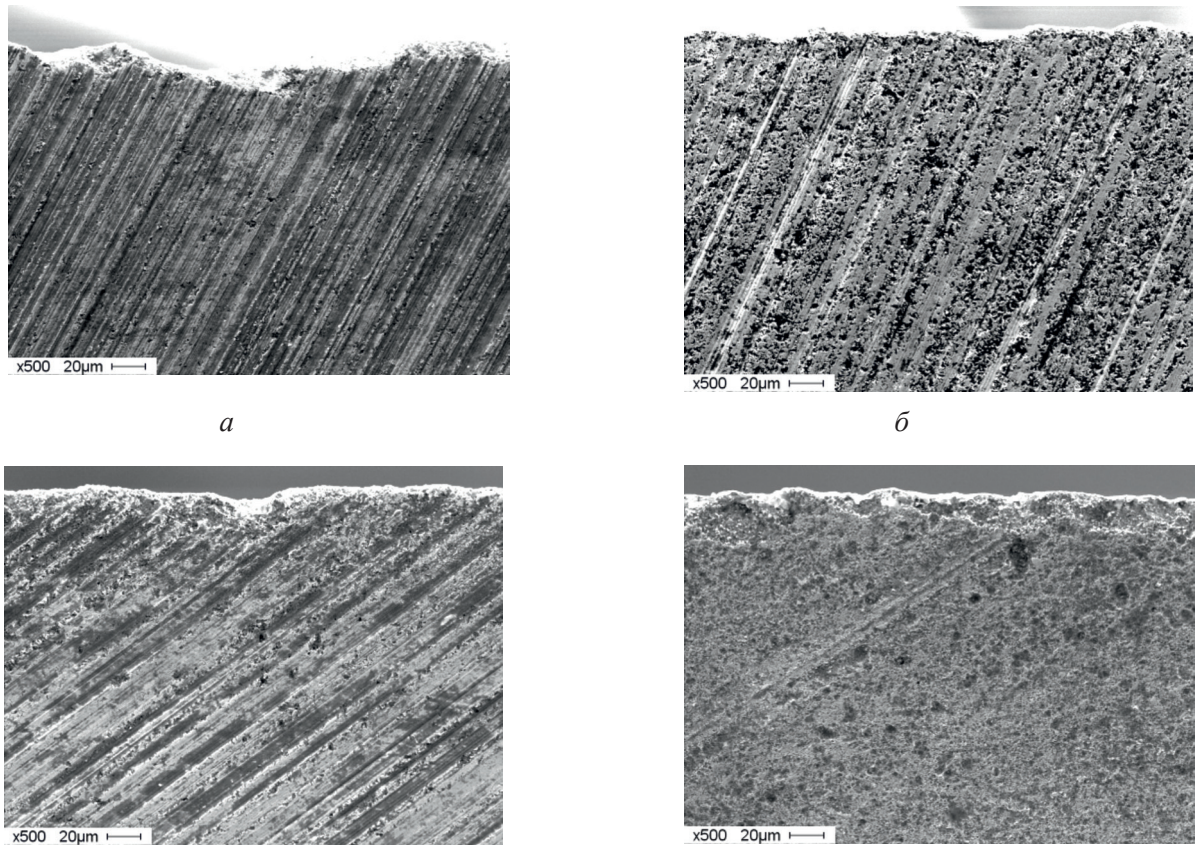
а – от плотности тока правки при $i_{тр}$ = 4 А/см^2; *б* – от плотности тока травления при $i_{пр}$ = 0,06 А/см^2



а *б*

в *г*

Рис. 3. Поверхность твердого сплава ВК3М, заточенная (световая микроскопия):
а – без электрохимии; *б* – комбинированным методом; *в* – с правкой круга; *г* – с травлением детали



а *б*

в *г*

Рис. 4. Поверхность твердого сплава ВК3М, заточенная (растровая микроскопия):
а – без электрохимии; *б* – комбинированным методом; *в* – с правкой круга; *г* – с травлением детали

После затачивания твердых сплавов без электрохимии наблюдается более высокая склонность к образованию дефектов, чем при обработке другими методами, а величина сколов на режущей кромке составляет порядка 30…85 мкм. Растровая микроскопия при этом показывает наличие следов трения рабочей поверхности алмазного круга о поверхность детали, о чем свидетельствует полное или частичное сглаживание неровностей на обработанной поверхности.

Затачивание с электрохимическим травлением детали показывает более удовлетворительный результат. Так, величина сколов на режущей кромке имеет меньшие значения, на поверхности отчетливее видна структура материала вследствие его растворения под действием электрохимии. Однако проявление электроэрозионных процессов, происходящих в результате контакта детали с засаленным слоем алмазного круга, приводит к образованию кратеров в местах локализации электрической энергии.

После затачивания твердых сплавов с непрерывной электрохимической правкой круга прослеживается воздействие абразивных частиц алмазного круга на обработанной поверхности, что свидетельствует о высокой степени режущей способности круга. Однако на режущей кромке, являющейся концентратором внутренних напряжений, присутствуют следы адгезионного износа в виде вырванных с поверхности детали частиц обрабатываемого материала.

Наилучшие результаты показывают образцы твердосплавных пластин, заточенных комбинированным методом электроалмазного шлифования. Величина сколов варьируется в пределах 5…10 мкм, на режущей кромке нет следов адгезионного износа, обработанная поверхность имеет равномерную структуру со слабым проявлением эрозионных процессов. В этом случае растровая микроскопия показывает, что поверхность образца ВК3М растравлена хуже, чем у других материалов, что может быть следствием более низкой электрической проводимости данного сплава.

Выводы

1. Предложенная технология комбинированного электроалмазного затачивания режущих инструментов, оснащенных твердыми сплавами, позволяет добиться высокого качества обработанной поверхности с шероховатостью R_a = 0,1…0,2 мкм. При этом методе затачивания режущая кромка имеет сколы величиной не более 10 мкм, а удельный расход алмазного круга составляет не более q = 2,3 мм^3/мм^3.

2. Получены математические модели шероховатости R_a обработанных поверхностей твердых сплавов и удельного расхода алмазного круга q в зависимости от режимов затачивания: плотности тока правки $i_{пр}$ и плотности тока травления $i_{тр}$.

3. Разработаны рекомендации по затачиванию режущего инструмента, оснащенного вставками из твердых сплавов для обработки композиционных материалов. При комбинированном методе затачивания рекомендуются следующие режимы обработки: $i_{тр}$ = 3,5…4,0 А/см^2, $i_{пр}$ = 0,05…0,06 А/см^2, $S_{пр}$ = 1,5…2,0 м/мин, $S_{поп}$ = = 0,02…0,04 мм/дв. ход, V = 19…20 м/с.

Список литературы

1. *Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А.* Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.

2. *Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В., Ткаченко Е.В., Ткаченко Н.А.* Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 2. – С. 88 – 90.

3. *Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М.* Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.

4. *Янюшкин А.С.* Технология электроалмазного затачивания режущих инструментов и методы ее реализации: монография. – Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2013. – 336 с.

5. *Попов В.Ю.* Повышение качества изделий из инструментальных сталей при электроалмазном шлифовании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Братск, 2002. – 16 с.

6. *Васильев Е.В.* Повышение производительности алмазного шлифования твердосплавных изделий и ресурса кругов выбором оптимальных схем и режимов шлифования и характеристики круга: дис. … канд. техн. наук. – Омск, 2005. – 169 с.

7. *Солер Я.И., Казимиров Д.Ю., Прокопьева А.В.* Оптимизация процесса шлифования быстрорежущих пластин инструментом из CBN по критериям точности формы поверхности // Металлообработка. – 2006. – № 5–6. – С. 21–24.

8. *Архипов П.В.* Повышение режущих свойств алмазных кругов на металлической связке путем

устранения их засаливания: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2010. – 20 с.

9. Сурьев А.А. Повышение качества поверхностного слоя деталей за счет совершенствования процесса комбинированного электроалмазного шлифования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Братск, 2005. – 20 с.

10. *Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Архипов П.В., Лосев Е.Д., Яковец А.В., Черемных А.С.* Конструкция катода для правки круга при комбинированной электроалмазной обработке // Патент России № 2446039. – 2010. – Бюл. № 21.

OBRABOTKA METALLOV
(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)
N 2(63), April - June 2014, Pages 6–13

Development of preparation technology of the cutting tools for layered composite materials treatment

Rychkov D.A.[1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: dielektrik84@mail.ru
Skripnyak V.A.[2], D.Sc. (Engineering), Professor
Yanyushkin A.S.[1], D.Sc. (Engineering), Professor
Lobanov D.V.[1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor

[1] Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation
[2] Tomsk State University, 36 Lenina Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation

Abstract

Processing of composite materials is difficult due to the nature of its properties, resulting in an intensive wear of the cutting tool. Its cutting part should have a high strength and hardness, and small wedge angle. To meet these requirements, the cutting part of the tool is made of hard alloy, but the formation of the edge with the geometry results in poor quality products. The article proposes to form a cutting edge tool by honing with diamond wheels using electrochemical processes that facilitate the process of cutting. For this it is necessary to determine rational modes of combined electro-diamond grinding of hard alloys with specific cutting edge geometry. The relationship between surface roughness and specific consumption of the diamond wheel depending on the diamond wheel growing current density and etching details current density are received during laboratory tests. It is found that when increase electrical parameters of the grinding, roughness decreases to 0.1 microns and the specific consumption of the wheel increases to 2.3 mm^3/mm^3. It is shown that the combined method of electro-diamond grinding has advantages over other methods. The treated surface has a sufficient quality and quantity of chips at the cutting edge does not exceed 10 microns. Recommendations on the appointment regimes for sharpening of the cutting tools for composite materials treatment are offered on the basis of the research work.

Keywords:
composite materials, cutting tool, sharpening, surface quality, combined grinding.

References

1. Baranchikov V.I., Tarapanov A.S., Kharlamov G.A. *Obrabotka spetsial'nykh materialov v mashinostroenii: Spravochnik. Biblioteka tekhnologa* [Processing of special materials in machine building: A Handbook. Library technologist]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2002. 264 p.

2. Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V., Tkachenko E.V., Tkachenko N.A. Osobennosti frezerovaniia polimernykh kompozitsionnykh materialov [Features milling polymer composites]. *Sistemy. Metody. Tekhnologi. – Systems. Methods. Technologies*, 2013, no. 2, pp. 88 – 90.

3. Popov S.A., Malevskii N.P., Tereshchenko L.M. *Almazno-abrazivnaia obrabotka metallov i tverdykh splavov* [Diamond-abrasive machining metals and hard alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 263 p.

4. Yanyushkin A.S. *Tekhnologiia elektroalmaznogo zatachivaniia rezhushchikh instrumentov i metody ee realizatsii: monografiia* [Technology electro diamond grinding of cutting tools and methods of its realization: Monograph]. Staryy Oskol, TNT Publ., 2013. 336 p.

5. Popov V.Yu. *Povyshenie kachestva izdelii iz instrumental'nykh stalei pri elektroalmaznom shlifovanii*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving of products quality made of tool steel with electro diamond grinding. Author's abstract of Dr. tech. sci. diss.]. Bratsk, 2002. 16 p.

6. Vasil'ev E.V. *Povyshenie proizvoditel'nosti almaznogo shlifovaniia tverdosplavnykh izdelii i resursa krugov vyborom optimal'nykh skhem i rezhimov shlifovaniia i kharakteristiki kruga.* Diss. kand. tekhn. nauk [Increased productivity of diamond grinding carbide products and wheel life by selection of optimal schemes and modes and features grinding wheel. Dr. tech. sci. diss.]. Omsk, 2005. 169 p.

7. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V. Optimizatsiia protsessa shlifovaniia bystrorezhushchikh plastin instrumentom iz CBN po kriteriiam tochnosti formy poverkhnosti [Optimization of the process of high-speed grinding cutter plates of the CBN tool on the criteria of accuracy of the surface shape]. *Metalloobrabotka – Metal Processing*, 2006, no. 5–6, pp. 21–24.

8. rkhipov P.V. *Povyshenie rezhushchikh svoistv almaznykh krugov na metallicheskoi sviazke putem ustraneniia ikh zasalivaniia*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the cutting properties of diamond wheels in metal bond by removing them blunting. Author's abstract of Dr. tech. sci. diss.]. Tomsk, 2010. 20 p.

9. Sur'ev A.A. *Povyshenie kachestva poverkhnostnogo sloia detalei za schet sovershenstvovaniia protsessa kombinirovannogo elektroalmaznogo shlifovaniia.* Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving of surface layer quality parts by process advancement of combined electro diamond grinding. Author's abstract of Dr. tech. sci. diss.]. Bratsk, 2005. 20 p.

10. Yaniushkin A.S., Lobanov D.V., Rychkov D.A., Popov V.Yu., Sur'ev A.A., Arkhipov P.V., Losev E.D., Iakovets A.V., Cheremnykh A.S. *Konstruktsiia katoda dlia pravki kruga pri kombinirovannoi elektroalmaznoi obrabotke* [Cathode design for wheel at combined electro diamond grinding]. Patent RF, no. 2446039, 2010.

Funding

The reported study was partially supported by RFBR, research project No. 13-08-90707 "Development of technology preparation of cutting tools for machining of layered composite materials".

Received 24 December 2013
Revised 15 April 2014
Accepted 20 April 2014