



## Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)





Сайт журнала: [http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)





### Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов


Александр Янюшкин<sup>1,а</sup>, Дмитрий Лобанов<sup>1,б,\*</sup>, Вадим Скиба<sup>2,с</sup>,  
Виктор Гартфельдер<sup>1,д</sup>, Лариса Секлетина<sup>1,е</sup>

<sup>1</sup>Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

<sup>а</sup>  <http://orcid.org/0000-0003-1969-7840>,  [yanyushkin@brstu.ru](mailto:yanyushkin@brstu.ru), <sup>б</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-4273-5107>,  [lobanov@front.ru](mailto:lobanov@front.ru),

<sup>с</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-8242-2295>,  [skeeba\\_vadim@mail.ru](mailto:skeeba_vadim@mail.ru), <sup>д</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-6759-6756>,  [harvik48@list.ru](mailto:harvik48@list.ru),

<sup>е</sup>  [larsek@list.ru](mailto:larsek@list.ru)

#### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.92

#### История статьи:

Поступила: 11 мая 2017

Рецензирование: 26 июля 2017

Принята к печати: 15 августа 2017

Доступно онлайн: 15 сентября 2017

#### Ключевые слова:

Комбинированное шлифование

Алмазный круг

Металлическая связка

Электрохимическая правка

Качество поверхности

#### АННОТАЦИЯ

**Цель:** выявление природы и предложение технологических рекомендаций по минимизации процесса засаливания абразивного инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов, позволяющие повысить эффективность использования алмазного инструмента на металлической связке при их шлифовании, снизить затраты на изготовление высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции. В работе представлен анализ режущей способности алмазных кругов на металлической связке. Приведен краткий обзор причин потери работоспособности абразивного инструмента, дана оценка адгезионно-диффузионным процессам в зоне резания. Отмечается, что основной причиной низкой работоспособности алмазного инструмента является засаливание шлифовального круга. **Методы:** экспериментальные исследования проводились на станке модели 3Д642Е, модернизированном под процессы электроалмазного шлифования и отвечающем метрологическим требованиям на проверку показателей, формирующих качество изделий. Структурные исследования производили с применением оптической, растровой микроскопии, спектрального и рентгеноструктурного анализа. Образцы исследовались с использованием рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA, растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50 со встроенным химическим анализатором EDS X-Act, оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m. Дополнительно поверхности образцов исследовались с применением методов оптической интерферометрии с использованием комплекса для изучения топографии поверхности Zygo NewViewTM 7300, предназначенного для определения параметров микро-рельефа и структуры объектов технического и биологического происхождения. **Результаты и обсуждение:** приведена технология шлифования высокопрочных и нанопропроченных материалов алмазными кругами на металлической связке, при которой поддержание высоких режущих свойств круга осуществляется непрерывной электрохимической правкой. Использование технологии комбинированного шлифования позволяет значительно увеличить работоспособность и расширить область применения алмазного абразивного инструмента на металлической связке, повысить эффективность обработки различных марок твердых сплавов групп ВК, ТК, ТТК, а также оксидной и карбидной металлокерамики и наноструктурированного материала на основе диборида циркония.

**Для цитирования:** Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.Ю. Скиба, В.А. Гартфельдер, Л.С. Секлетина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2017. – № 3 (76). – С. 17–27. – doi: 10.17212/1994-6309-2017-3-17-27.

#### \*Адрес для переписки

Лобанов Дмитрий Владимирович, д.т.н., доцент

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,

ул. Спиридона Михайлова, 3,

428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Россия

Тел.: +7-908-303-47-45, e-mail: [lobanov@front.ru](mailto:lobanov@front.ru)

## Введение

Повышение эффективности использования алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных, труднообрабатываемых и нанопропроченных материалов является актуальной задачей современного машиностроения. Однако в процессе рационализации технологических режимов абразивной обработки достаточно трудно достичь высоких значений данного показателя качества из-за интенсивной потери режущей способности шлифовальных кругов. Это может быть вызвано различными причинами [1–5], одна из которых – процесс интенсивного засаливания, когда алмазные круги на металлических связках при шлифовании без смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) практически полностью теряют свою работоспособность [6–12].

Основная причина засаливания связана с абразиванием мелкодисперсными частицами обрабатываемого материала пор между абразивными зёрнами и связкой с образованием спрессованного слоя, закрывающего выступающие зёрна [13].

В работах [13–15] отмечается, что выступы и впадины субмикпрофиля поверхности абразивного зёрна являются первичными очагами засаливания – адгезии частиц металла к абразивным зёрнам. Сначала наблюдается локальное схватывание активированного (нагретого до высоких температур и пластически деформированного) металла с выступами субмикпрофиля. Далее одновременно с адгезией металла с абразивными зёрнами происходит адгезия частиц металла к металлу, налипшему на абразивное зёрно. Вследствие этих процессов металлом заполняются впадины субмикпрофиля абразивных зёрен, а затем вся их рабочая поверхность покрывается металлом. То, что адгезия является основной причиной засаливания, отражено в работах [6, 17, 18], однако авторы данных работ отмечают, что чисто механический подход к засаливанию шлифовальных кругов не позволяет раскрыть сущность механизма этого процесса, но отмечают происходящие процессы на границе раздела твёрдых фаз [19–21].

Таким образом, целью данной работы является выявление природы и предложение технологических рекомендаций по минимизации процесса засаливания абразивного инструмента при

обработке труднообрабатываемых материалов, что позволит повысить эффективность использования алмазного инструмента на металлической связке при их шлифовании, снизить затраты на изготовление высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции.

## Методика экспериментального исследования

Экспериментальные исследования проводились на станке модели 3Д642Е, модернизированном под процессы электроалмазного шлифования и отвечающем метрологическим требованиям на проверку показателей, формирующих качество изделий.

В качестве сравниваемых методов нами выбраны следующие методы алмазного шлифования.

1. Традиционное алмазное затачивание без применения электрофизических и электрохимических процессов.

2. Алмазно-электрохимическое шлифование.

3. Алмазное шлифование с непрерывной электрохимической правкой круга.

4. Для сравнения с представленными выше известными методами предлагается разработанный нами комбинированный метод электрохимического шлифования с одновременной непрерывной правкой шлифовального круга.

Проведены исследования образцов, вырезанных из алмазного шлифовального круга марки 12А2-45 150×10×3×40×32 АС6 М1-01 100/80. Исследовались образцы круга перед обработкой (эталон) и после обработки различных марок твёрдых сплавов групп ВК, ТК, ТТК, а также оксидной и карбидной металлокерамики и наноструктурированного материала на основе диборида циркония. В качестве эталона была принята поверхность образца, вырезанного из шлифовального круга, поставленного заводом-изготовителем.

Для растровой и оптической микроскопии подготовлены шлифы образцов исследуемых материалов, обработка которых осуществлялась с использованием алмазных паст с зернистостью 60/40, 28/20, 14/10, 5/3 последовательно.

Для разностороннего анализа и адекватной оценки результатов экспериментальные исследования проводились с использованием оптической, растровой микроскопии, спектрального и

рентгеноструктурного анализа. Образцы исследовались с использованием рентгеновского дифрактометра *ARL X'TRA*, растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO50* со встроенным химическим анализатором *EDS X-Act*, оптического микроскопа *Carl Zeiss Axio Observer A1m*. Дополнительно поверхности образцов исследовались с применением методов оптической интерферометрии с использованием комплекса для изучения топографии поверхности *Zygo NewView™ 7300*, предназначенного для определения параметров микрорельефа и структуры объектов технического и биологического происхождения.

Рациональные технологические режимы, позволяющие эффективно, с гарантированным качеством производить обработку исследуемых материалов комбинированными электроалмазными методами следующие: плотность тока травления заготовки  $i_{et} = 20 \dots 30 \text{ A/cm}^2$ ; плотность тока правки алмазного круга  $i_{dr} = 0,2 \dots 0,3 \text{ A/cm}^2$ ; скорость круга  $V = 25 \dots 35 \text{ м/с}$ ; продольная подача  $S_{lf} = 1,5 \dots 2,0 \text{ мм/мин}$ ; поперечная подача  $S_{tf} = 0,02 \dots 0,04 \text{ мм/дв.ход}$ .

## Результаты и обсуждение

На начальном этапе исследований абразивного инструмента на металлической связке проведены химический и спектральный анализ состава связки шлифовального круга до обработки нанопропрочненного материала, легированного карбидом вольфрама. Результаты растровой электронной микроскопии со спектральным химическим анализом приведены на рис. 1.

Дополнительно проведенный рентгеноструктурный анализ этой же поверхности свидетельствует о наличии фазы меди и олова в виде твердых растворов  $\text{Cu}_{0,932}\text{Sn}_{0,068}$  и  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{14}$ , что полностью соответствует составу металлической связки M2-01.

Рентгеноструктурный анализ поверхности круга показал наличие засаженного слоя, состоящего из фаз карбида вольфрама WC. Следует отметить, что поверхность частично покрыта засаженным слоем, так как на рентгенограмме отмечено наличие элементов связки в виде твердых растворов меди и олова  $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$ ,  $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ ,  $\text{Cu}_{5,6}\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}_{0,932}\text{Sn}_{0,068}$ .

Экспериментами установлено, что алмазный круг при традиционном шлифовании практи-

чески всех исследуемых материалов уже в первые минуты полностью теряет свои режущие свойства, поверхность покрывается засаженным слоем. Химический анализ такого образца (рис. 2) показал, что на поверхности образуется засаженный слой, строение которого определяется в основном составом обрабатываемого материала.

Рентгеноструктурный анализ позволил установить, что засаженный слой почти полностью скрывает поверхность алмазного круга и состоит из фаз карбида вольфрама WC и фазы вновь образовавшегося сложного карбида

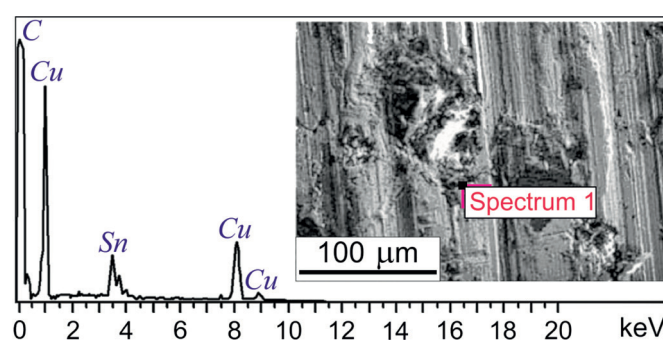


Рис. 1. Химический анализ поверхности алмазного круга 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 до обработки

Fig. 1. Chemical analysis of 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 diamond wheel surface prior to processing

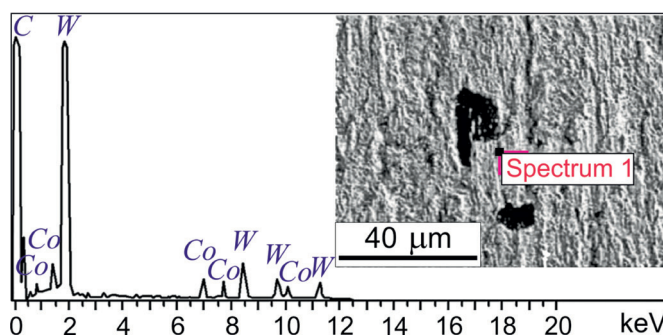


Рис. 2. Химический анализ алмазного круга 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 после традиционного шлифования

Обрабатываемый материал: твердый сплав BK8. Режимы обработки:  $V = 35 \text{ м/с}$ ;  $S_{lf} = 2,0 \text{ мм/мин}$ ;  $S_{tf} = 0,03 \text{ мм/дв.ход}$

Fig. 2. Chemical analysis of the 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 diamond wheel surface after traditional grinding

The material processed: WC-Co hard alloy. Processing modes:  $V = 35 \text{ м/сек}$ ;  $S_{lf} = 2.0 \text{ мм/мин}$ ;  $S_{tf} = 0.03 \text{ мм/дв.ход}$

вольфрама  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ , что может свидетельствовать о деструкции карбида вольфрама в поверхностном слое сплава.

При анализе образцов после алмазного шлифования с непрерывной электрохимической правкой круга также установлено незначительное количество на поверхности инструмента компонентов обрабатываемого материала, что может свидетельствовать о частичном засаливании алмазного круга.

Спектральный химический анализ образца (рис. 3) показал следующий химический состав исследуемой поверхности: 80,6 % алмаз и углерод, 5,65 % медь и олово и 10,41 % вольфрам. Остальное – наполнители.

Это свидетельствует о существенном уменьшении засаленного слоя на поверхности алмазного круга. Таким образом, в результате неравномерного электрохимического растворения связки наблюдаются небольшие площадки засаливания, но в целом поверхность круга остается развитой. Постоянная правка круга позволяет снизить интенсивность образования засаленного слоя и обеспечить своевременное обновление поверхности круга.

Химический анализ образцов поверхности алмазного круга после комбинированного электроалмазного шлифования с одновременной непрерывной правкой круга позволил установить наличие

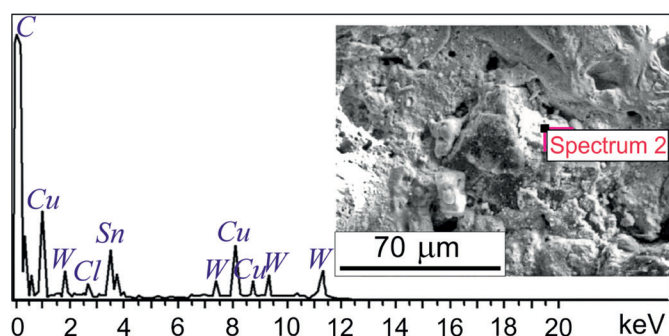


Рис. 3. Химический анализ поверхности круга 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 после шлифования с электрохимической правкой

Обрабатываемый материал: твердый сплав ВК8. Режимы обработки:  $V = 35$  м/с;  $S_{lf} = 2,0$  м/мин;  $S_{tf} = 0,03$  мм/дв.ход;  $i_{dr} = 0,25$  А/см<sup>2</sup>

Fig. 3. Chemical analysis of the 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 diamond wheel surface after grinding with electrochemical dressing

The material processed: WC-Co hard alloy Processing modes:  $V = 35$  m/sec;  $S_{lf} = 2.0$  m/min;  $S_{tf} = 0.03$  mm/double pass;  $i_{dr} = 0.25$  A/cm<sup>2</sup>

только элементов связки и углерода, что указывает на отсутствие засаленного слоя (рис. 4).

Рентгеноструктурным анализом такой поверхности также установлены только фазы элементов связки в виде твердых растворов олова и меди  $\text{Cu}_{0.932}\text{Sn}_{0.068}$  и углерода С (алмаза) (рис. 5).

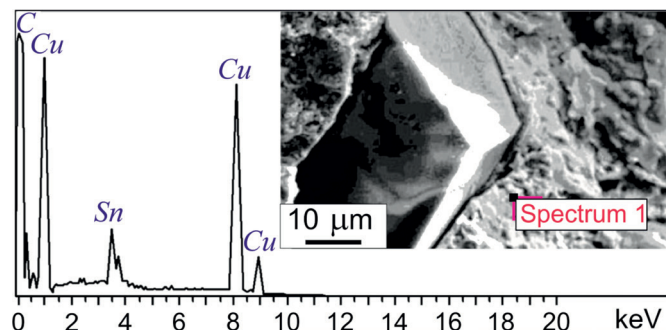


Рис. 4. Алмазное зерно и химический анализ поверхности круга марки 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 после комбинированного электроалмазного шлифования

Обрабатываемый материал: твердый сплав ВК8. Режимы обработки:  $V = 35$  м/с;  $S_{lf} = 2,0$  м/мин;  $S_{tf} = 0,03$  мм/дв.ход;  $i_{dr} = 0,25$  А/см<sup>2</sup>;  $i_{et} = 20$  А/см<sup>2</sup>

Fig. 4. Single-point diamond and chemical analysis of the 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 diamond wheel surface after combined electro-discharge diamond grinding

The material processed: WC-Co hard alloy Processing modes:  $V = 35$  m/sec;  $S_{lf} = 2.0$  m/min;  $S_{tf} = 0.03$  mm/double pass;  $i_{dr} = 0.25$  A/cm<sup>2</sup>;  $i_{et} = 20$  A/cm<sup>2</sup>

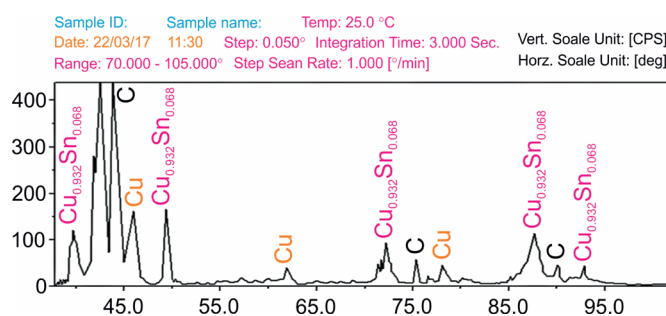


Рис. 5. Рентгенограмма образца алмазного круга 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 после комбинированного электроалмазного шлифования

Обрабатываемый материал: твердый сплав ВК8. Режимы обработки:  $V = 35$  м/с;  $S_{lf} = 2,0$  м/мин;  $S_{tf} = 0,03$  мм/дв.ход;  $i_{dr} = 0,25$  А/см<sup>2</sup>;  $i_{et} = 20$  А/см<sup>2</sup>

Fig. 5. X-ray diffraction pattern of the 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 diamond wheel sample after combined electro-discharge diamond grinding

The material processed: WC-Co hard alloy Processing modes:  $V = 35$  m/sec;  $S_{lf} = 2.0$  m/min;  $S_{tf} = 0.03$  mm/double pass;  $i_{dr} = 0.25$  A/cm<sup>2</sup>;  $i_{et} = 20$  A/cm<sup>2</sup>

На следующем этапе исследований оценивалось качество поверхности высокопрочных и наноструктурных материалов после алмазной абразивной обработки кругами на металлической связке в различных условиях [22–28].

Аналогичные результаты в пределах доверительных интервалов получены и на других исследуемых материалах.

В качестве примера на рис. 6 представлены обработанные поверхности, заточенные различными методами. Традиционный метод алмазного шлифования характеризуется высокими температурами в зоне резания и силовыми нагрузками

со стороны абразивного инструмента, что негативно отражается на качестве обработанной поверхности (рис. 6).

Результаты пластических деформаций слабо прослеживаются при небольших увеличениях (рис. 6, а). Анализ образцов при большем увеличении обработанной поверхности показал значительное число дефектов и трещин (рис. 6, б), которые образуются вследствие снижения режущей способности круга за счет засаливания. Дефекты такого характера в значительной степени влияют на эксплуатационные свойства изделий из высокопрочных материалов.

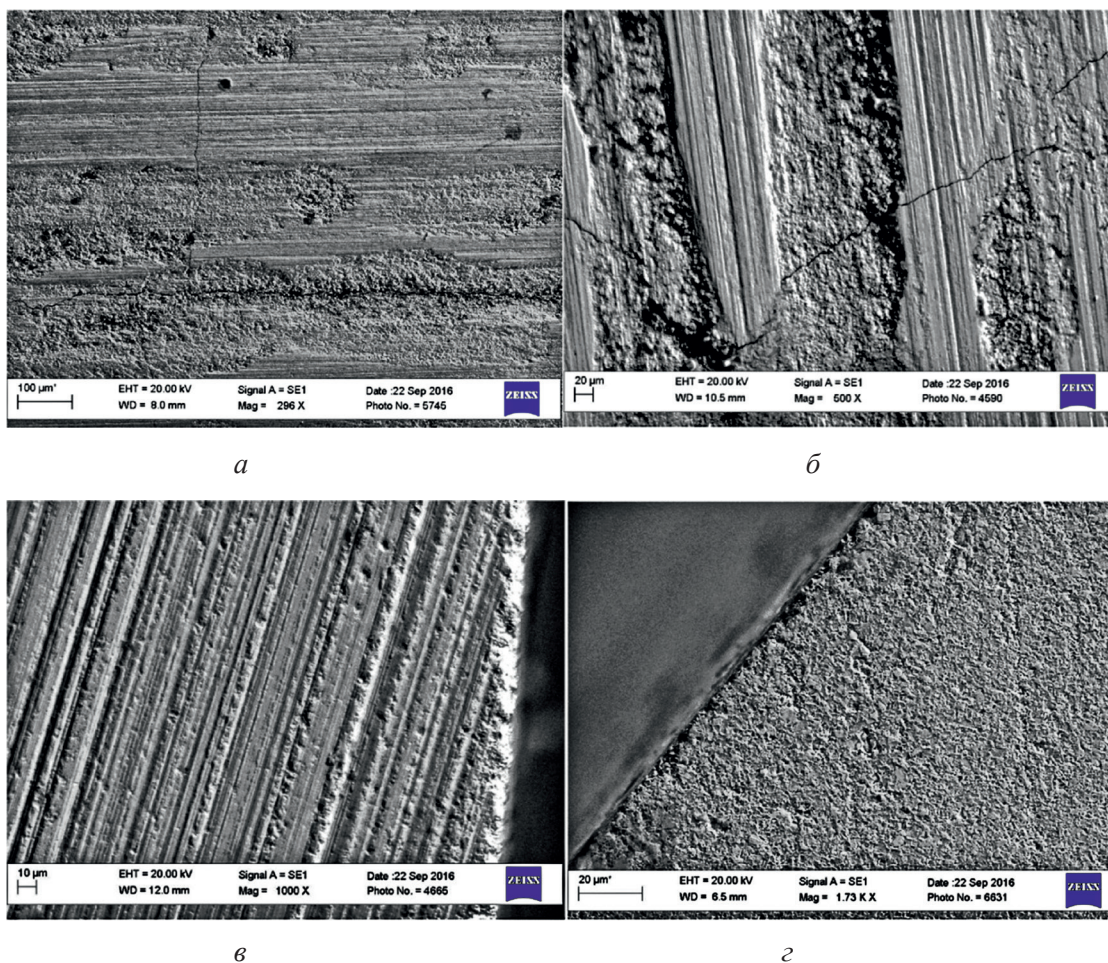


Рис. 6. Поверхности образцов сплава ВК8 после различных видов алмазного шлифования кругом 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80:

а, б – традиционное алмазное шлифование ( $V = 35$  м/с;  $S_{lf} = 2,0$  м/мин;  $S_{lf} = 0,03$  мм/дв.ход);  
в – алмазное шлифование с электрохимической правкой круга ( $V = 35$  м/с;  $S_{lf} = 2,0$  м/мин;  $S_{lf} = 0,03$  мм/дв.ход;  $i_{dr} = 0,25$  А/см<sup>2</sup>); г – комбинированное электроалмазное шлифование ( $V = 35$  м/с;  $S_{lf} = 2,0$  м/мин;  $S_{lf} = 0,03$  мм/дв.ход;  $i_{dr} = 0,25$  А/см<sup>2</sup>;  $i_{et} = 20$  А/см<sup>2</sup>)

Fig. 6. The surfaces of the WC-Co alloy samples after various types of diamond grinding by 12A 2-45 150 × 10 × 3 × 40 × 32 AC6 M 1-01 100/80 wheel:

а, б – traditional diamond grinding ( $V = 35$  m/sec;  $S_{lf} = 2.0$  m/min;  $S_{lf} = 0.03$  mm/double pass);  
в – diamond grinding with the electrochemical dressing of the wheel ( $V = 35$  m/sec;  $S_{lf} = 2.0$  m/min;  $S_{lf} = 0.03$  mm/double pass  $i_{dr} = 0.25$  A/cm<sup>2</sup>); г – combined electro-discharge diamond grinding ( $V = 35$  m/sec;  $S_{lf} = 2.0$  m/min;  $S_{lf} = 0.03$  mm/double pass;  $i_{dr} = 0.25$  A/cm<sup>2</sup>;  $i_{et} = 20$  A/cm<sup>2</sup>)

Алмазное шлифование с непрерывной электрохимической правкой позволяет повысить режущие свойства шлифовального круга за счет препятствия образованию засаженного слоя и избежать образования подобных дефектов (рис. 6, в). Однако в этом случае наблюдается повышенная шероховатость, поскольку увеличивается количество зерен, одновременно участвующих в процессе резания и влияющих на образование микронеровностей на обработанной поверхности (рис. 7).

Вследствие этого данный метод может быть рекомендован для максимального удаления припуска на этапах предварительной обработки, где не требуется обеспечение высокого качества поверхности.

При исследовании комбинированного метода шлифования, сочетающего электрохимическое разупрочнение обрабатываемой поверхности с

одновременной непрерывной электрохимической правкой алмазного круга на металлической связке, установлено, что обработанная поверхность не имеет ярко выраженных дефектов. Незначительные дефекты наблюдаются лишь по краям детали, где присутствуют краевые эффекты и характерно неравномерное электрохимическое растворение (рис. 6, г).

Качество обработки этим методом выше, поскольку круг, обладающий высокой режущей способностью, удаляет разупрочненный припуск со значительно меньшими усилиями, а дополнительное электрохимическое растворение поверхностного слоя способствует снижению шероховатости. Шероховатость обработанной поверхности исследуемых образцов твердого сплава (рис. 7) находится в пределах  $Ra = 0,276 \pm 0,057$  мкм.

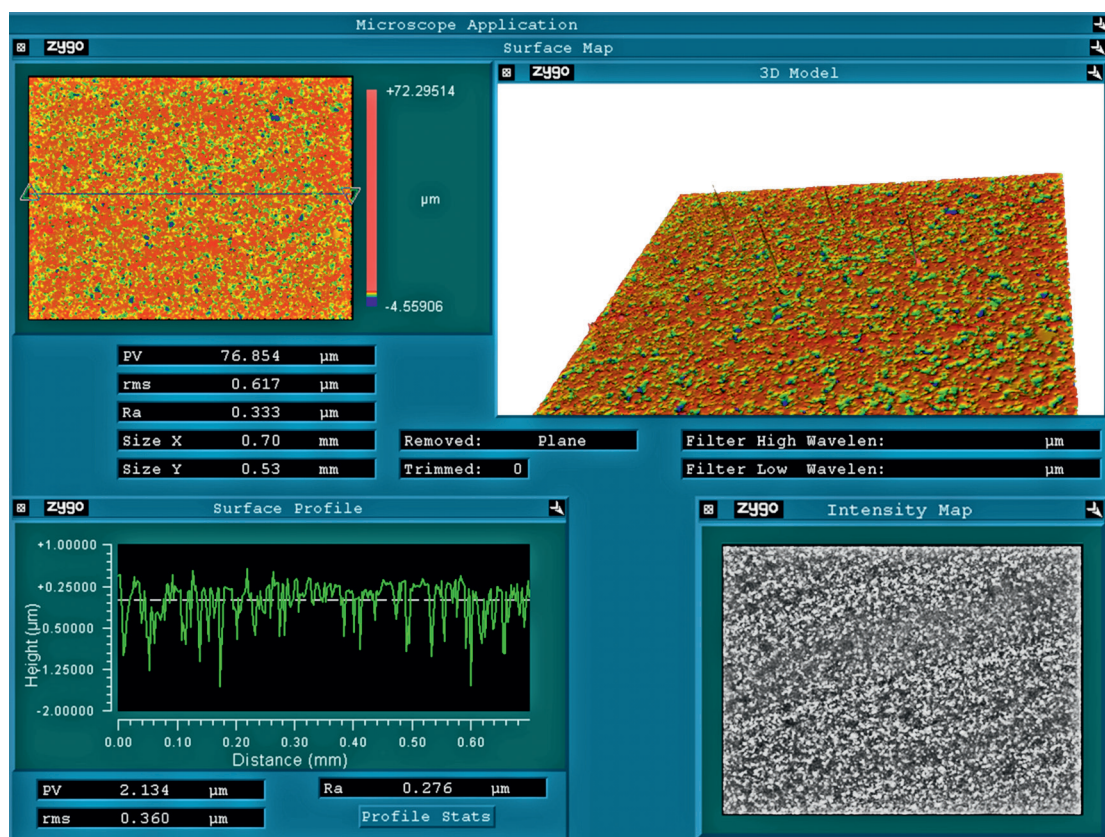


Рис. 7. Топография поверхности твердого сплава ВК8, заточенного комбинированным методом электроалмазной обработки кругом 12А2-45 150×10×3×40×32 АС6 М1-01 100/80.

Режимы обработки:

$$V = 35 \text{ м/с}; S_{lf} = 2,0 \text{ м/мин}; S_{tf} = 0,03 \text{ мм/дв.ход}; i_{dr} = 0,25 \text{ А/см}^2; i_{et} = 20 \text{ А/см}^2$$

Fig. 7. Topography of WC-Co hard alloy surface processed by combined electro-discharge diamond grinding with 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80 diamond wheel.

Processing modes:

$$V = 35 \text{ m/sec}; S_{lf} = 2.0 \text{ m/min}; S_{tf} = 0.03 \text{ mm/double pass}; i_{dr} = 0.25 \text{ A/cm}^2; i_{et} = 20 \text{ A/cm}^2$$

## Выводы

Алмазное шлифование кругами на металлических связках высокопрочных и наноструктурных материалов традиционными методами вызывает определенные трудности, связанные с потерей режущих свойств инструмента ввиду интенсивного засаливания алмазоносного слоя, что сказывается на качестве изделия. Засаленный слой, образующийся при резании, состоит из продуктов обработки и при отсутствии правки со временем полностью скрывает рабочую поверхность круга.

Метод алмазного шлифования с непрерывной электрохимической правкой круга позволяет повысить режущие свойства абразивного инструмента и обеспечить удовлетворительное качество обработанной поверхности. Данный метод может быть рекомендован для удаления припуска на операциях предварительной обработки, где не требуется обеспечение высокого качества.

Комбинированное электроалмазное шлифование, сочетающее одновременную непрерывную правку круга и электрохимическое разупрочнение обрабатываемой поверхности, позволяет обеспечить стабильные режущие свойства алмазного инструмента и высокие показатели качества готового изделия. Данный метод может быть рекомендован на заключительных операциях размерной обработки изделий из различных марок твердых сплавов групп ВК, ТК, ТТК, а также оксидной и карбидной металлокерамики и наноструктурированного материала на основе диборида циркония.

Для практической реализации предлагаемой технологии нами разработаны рекомендации по модернизации оборудования и оснастки, которые заключаются в создании возможности установления регламентируемой подачи станка за счет гидропривода, установке токосъемника на шпиндель заточного станка, монтаже источника технологического тока, создании и изготовлении уникальной специальной оснастки для комбинированной электроалмазной обработки с непрерывной правкой круга.

Применение предлагаемой технологии позволяет значительно увеличить работоспособность и расширить область использования алмазного абразивного инструмента на металлической связке, а также повысить эффективность и качество обработки изделий из исследуемых материалов.

## Список литературы

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / А.Н. Резников, Е.И. Алексенцев, Я.И. Барац, В.Л. Белостоцкий, Н.В. Будник, Ю.П. Бурочкин, Г.М. Гаврилов, М.В. Гомельский, А.В. Гордеев, В.И. Дрожжин, Н.П. Згонник, В.П. Зубарь, З.И. Кремень, Н.М. Мурахтанова, В.И. Муцялко, С.В. Николаев, И.С. Ногин, В.И. Пилинский, К.И. Русаков, В.А. Рыбаков, Ф.Ю. Сакулович, А.Г. Саркисов, М.Ф. Семко, Ф.П. Урывский, О.Б. Федосеев, Л.Н. Филимонов, И.Е. Фрагин, Л.В. Худобин, А.В. Шеин, В.В. Щипанов, Г.Г. Яшин. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Свитковский С.Ю., Иванова Т.Н. Исследование закономерностей и повышения эффективности процесса шлифования деталей из труднообрабатываемых материалов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2004. – № 1. – С. 22–24.
3. Гусев В.В., Медведев А.Л. Влияние механической характеристики инструмента для правки свободным абразивом на режущую способность алмазного шлифовального круга // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 4 (61). – С. 98–103.
4. Increase in efficiency of electric powered diamond grinding of conductive material by regulating longitudinal profile of grinding wheels / V. Dobroskok, A. Shpilka, M. Morneva, N. Shpilka // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2014. – Vol. 14, N 2. – P. 26–33.
5. Алексеев Н.С., Капорин В.А., Иванов С.В. Шлифование микропористых покрытий импрегнированными кругами // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 3 (68). – С. 66–74. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-66-74.
6. Vasil'ev E.V., Popov A.Y., Rechenko D.S. Diamond grinding of hard-alloy plates // Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, iss. 11–12. – P. 730–732. – doi: 10.3103/S1068798X1.
7. Contact processes in grinding / A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, P.V. Arkhipov, V.V. Ivancivsky // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 788. – P. 17–21. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.17.
8. Yadav R.S., Yadava V. Experimental investigations on electrical discharge diamond peripheral surface grinding (EDDPG) of hybrid metal matrix composite // Journal of Manufacturing Processes. – 2017. – Vol. 27. – P. 241–251. – doi: 10.1016/j.jmapro.2017.04.004.
9. Ronald B.A., Vijayaraghavan L., Krishnamurthy R. Studies on the influence of grinding wheel bond material on the grindability of metal matrix composites // Materials & Design. – 2009. – Vol. 30, iss. 3. – P. 679–686. – doi: 10.1016/j.matdes.2008.05.038.

10. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning / D. de J. Oliveira, L.G. Guermandi, E.C. Bianchi, A.E. Diniz, P.R. de Aguiar, R.C. Canarim // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2012. – Vol. 212, iss. 12. – P. 2559–2568. – doi: 10.1016/j.jmatprotec.2012.05.019.
11. Handbook of machining with grinding wheels / I.D. Marinescu, M.P. Hitchiner, E. Uhlmann, W.B. Rowe, I. Inasaki. – 2<sup>nd</sup> ed. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 724 p. – ISBN 978-1-4822-0668-5. – ISBN 978-1-4822-0670-8.
12. Li H.N., Axinte D. Textured grinding wheels: a review // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2016. – Vol. 109. – P. 8–35. – doi: 10.1016/j.ijmachtools.2016.07.001.
13. Череповецкий И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. – Киев: Наукова думка, 1978. – 228 с.
14. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация закаливания шлифовальных кругов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с. – ISBN 978-5-89146-982-2.
15. Diamond-ECM grinding of sintered hard alloys of WC-Ni / V.A. Mogilnikov, M.Y. Chmir, Y.S. Timofeev, V.S. Poluyanov // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 42. – P. 143–148. – doi: 10.1016/j.procir.2016.02.209.
16. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface / P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, S.I. Petrushin // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 379. – P. 124–130. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.124.
17. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V. Research of influence of electric conditions of the combined electro-diamond machining on quality of grinding of hard alloys // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 91. – P. 012051. – doi: 10.1088/1757-899X/91/1/012051.
18. Herzenstiel P., Aurich J.C. CBN-grinding wheel with a defined grain pattern – extensive numerical and experimental studies // *Machining Science and Technology*. – 2010. – Vol. 14, iss. 3. – P. 301–322. – doi: 10.1080/10910344.2010.511574.
19. Zishan D., Beizhi L., Steven L.Y. Material phase transformation at high heating rate during grinding // *Machining Science and Technology*. – 2016. – Vol. 20, iss. 2. – P. 290–311. – doi: 10.1080/10910344.2016.1168929.
20. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S. Combined electro-diamond grinding of high speed steels // *International Journal of Advances in Machining and Forming Operations*. – 2012. – Vol. 4, N 1. – P. 91–102.
21. The research into the effect of conditions of combined electric powered diamond processing on cutting power / D.V. Lobanov, P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, V.Yu. Skeebe // *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 736. – P. 81–85. – doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.81.
22. Kremen' Z.I., Popovskii D.A., Yur'ev V.G. Grinding of titanium alloys by Elbor and diamond wheels // *Russian Engineering Research*. – 2013. – Vol. 33, iss. 8. – P. 457–459. – doi: 10.3103/S1068798X1.
23. Strel'chuk P.M., Uzunyan M.D. The energy intensity analysis of the diamond-spark grinding of the WolKar nanostructural hard alloy // *Journal of Superhard Materials*. – 2010. – Vol. 32, iss. 1. – P. 50–54. – doi: 10.3103/S106345761.
24. Batako A.D.L., Tsiakoumis V. An experimental investigation into resonance dry grinding of hardened steel and nickel alloys with element of MQL // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 77, iss. 1–4. – P. 27–41. – doi: 10.1007/s00170-014-6380-8.
25. Experimental study of time-dependent performance in superalloy high-speed grinding with CBN wheels / G. Zhi, X. Li, Z. Qian, H. Liu, Y. Rong // *Machining Science and Technology*. – 2016. – Vol. 20, iss. 4. – P. 615–633. – doi: 10.1080/10910344.2016.1224018.
26. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В. Потеря режущей способности алмазных кругов на металлической связке при шлифовании композиционных материалов // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева*. – 2013. – № 1 (47). – С. 178–183.
27. Технологические особенности формирования параметров качества поверхностного слоя при алмазном выглаживании в условиях интегрированной обработки / В.Ю. Скиба, В.Н. Пушкин, Д.Ю. Корнев, К.А. Парц // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2015. – № 3 (68). – С. 31–41. – doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-31-41.
28. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step “diamond smoothing” / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Yu. Skeebe // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 25. – P. 012031. – doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



# Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: [http://journals.nstu.ru/obrabotka\\_metallov](http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov)











## Enhancing the Effectiveness of the Diamond Metal Bond Instrument when Grinding High-Strength Materials


Alexander Yanyushkin<sup>1, a</sup>, Dmitry Lobanov<sup>1, b, \*</sup>, Vadim Skeebe<sup>2, c</sup>,  
Viktor Gartfelder<sup>1, d</sup>, Larisa Sekletina<sup>1, e</sup>

<sup>1</sup> I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

<sup>a</sup>  <http://orcid.org/0000-0003-1969-7840>,  [yanyushkin@brstu.ru](mailto:yanyushkin@brstu.ru), <sup>b</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-4273-5107>,  [lobanov@front.ru](mailto:lobanov@front.ru),

<sup>c</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-8242-2295>,  [skeebe\\_vadim@mail.ru](mailto:skeebe_vadim@mail.ru), <sup>d</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-6759-6756>,  [harvik48@list.ru](mailto:harvik48@list.ru),

<sup>e</sup>  [larsek@list.ru](mailto:larsek@list.ru)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 11 May 2017

Revised: 26 July 2017

Accepted: 15 August 2017

Available online: 15 September 2017

#### Keywords:

Combined grinding

Diamond wheel

Metallic bond

Electrochemical wheel dressing

Surface quality

### ABSTRACT

**The objective** is to identify the nature of the clogging process at the implementation of abrasive instrument in the processing of tough materials and to propose the technology recommendations to minimize the clogging, which will enable the enhanced use of the diamond metal bond instrument during grinding and reducing the costs of advanced and competitive products manufacturing. The research provides the analysis of the diamond metal bond wheels cutting capacity. It also gives a brief overview of the reasons for the loss of the abrasive instrument working capacity as well as evaluates the adhesive and diffusion processes in the cutting zone. The clogging of the grinding wheel is noted to be the main reason for the low working capacity of the diamond instrument. **Methods:** The experimental research was carried out on the 3D642E machine modernized for the process of the electric discharge diamond grinding and corresponding to the metrological requirements for the verification of product quality indicators. Structural research was carried out using optical and scanning microscopy, spectral and X-ray analysis. The samples were investigated on ARL X'TRA X-ray diffractometer, Carl Zeiss EVO50 scanning electron microscope with the EDS X-Act Integrated Chemical Analyzer and Carl Zeiss Axio Observer A1m optical microscope. The surface of the samples was additionally investigated by optical interferometry techniques using the surface topography complex Zygo Newviewtm 7300 which is designed to define the microrelief and structure parameters of the objects of technical and biological origin. **Results and discussion:** The proposed technology for the grinding of high-strength and nanoreinforced materials by the diamond metal bond wheels is based on maintaining the wheel high cutting properties by a continuous electrochemical dressing. The use of combined grinding technology makes it possible to significantly increase the working capacity and scope of the diamond metal bond abrasive instrument as well as to improve the processing of various hard alloys containing tungsten, cobalt, titanium or tantalum, oxide and carbide metal ceramics and nanostructured material based on zirconium boride.

**For citation:** Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Skeebe V.Yu., Gartfelder V.A., Sekletina L.S. Enhancing the effectiveness of the diamond metal bond instrument when grinding high-strength materials. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2017. no. 3 (76), pp. 17–27. doi: 10.17212/1994-6309-2017-3-17-27. (in Russian).

### References

1. Reznikov A.N., Aleksentsev E.I., Barats Ya.I., Belostotskii V.L., Budnik N.V., Burochkin Yu.P., Gavrilov G.M., Gomel'skii M.V., Gordeev A.V., Drozhzhin V.I., Zgonnik N.P., Zubar' V.P., Kremen' Z.I., Murakhtanova N.M.,

#### \* Corresponding author

Lobanov Dmitry V., D.Sc. (Engineering), Associate Professor  
 I.N. Ulianov Chuvash State University,  
 3 Spiridona Mikhailova Str.,  
 428015, Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation  
 Tel.: +7-908-303-47-45, e-mail: [lobanov@front.ru](mailto:lobanov@front.ru)

Mutsyanko V.I., Nikolaev S.V., Nogin I.S., Pilinskii V.I., Rusakov K.I., Rybakov V.A., Sakulovich F.Yu., Sarkisov A.G., Semko M.F., Uryvskii F.P., Fedoseev O.B., Filimonov L.N., Fragin I.E., Khudobin L.V., Shein A.V., Shchipanov V.V., Yashin G.G. *Abrazivnaya i almaznaya obrabotka materialov* [Abrasive and diamond material processing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 391 p.

2. Svitkovskii S.Yu., Ivanova T.N. Issledovanie zakonomernostei i povysheniya effektivnosti protsessa shlifovaniya detalei iz trudnoobrabatyvaemykh materialov [Research of regularities and increase in efficiency of grinding of details from hard-to-process materials]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2004, no. 1, pp. 22–24.

3. Gusev V.V., Medvedev A.L. Vliyanie mekhanicheskoi kharakteristiki instrumenta dlya pravki svobodnym abrazivom na rezhushchuyu sposobnost' almaznogo shlifoval'nogo kruga [The influence of the tool mechanical characteristic for dressing by the free abrasive on cutting ability of the diamond grinding wheel]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2013, no. 4 (61), pp. 98–103.

4. Dobroskok V., Shpilka A., Morneva M., Shpilka N. Increase in efficiency of electric powered diamond grinding of conductive material by regulating longitudinal profile of grinding wheels. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*, 2014, vol. 14, no. 2, pp. 26–33.

5. Alexeev N.S., Kaporin V.A., Ivanov S.V. Shlifovanie mikroporistyykh pokrytii impregnirovannymi krugami [Grinding of microporous coatings using impregnated grinding wheels]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2015, no. 3 (68), pp. 66–74. doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-66-74.

6. Vasil'ev E.V., Popov A.Y., Rechenko D.S. Diamond grinding of hard-alloy plates. *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, iss. 11–12, pp. 730–732. doi: 10.3103/S1068798X1.

7. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V., Ivancivsky V.V. Contact processes in grinding. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 788, pp. 17–21. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.17.

8. Yadav R.S., Yadava V. Experimental investigations on electrical discharge diamond peripheral surface grinding (EDDPSG) of hybrid metal matrix composite. *Journal of Manufacturing Processes*, 2017, vol. 27, pp. 241–251. doi: 10.1016/j.jmapro.2017.04.004.

9. Ronald B.A., Vijayaraghavan L., Krishnamurthy R. Studies on the influence of grinding wheel bond material on the grindability of metal matrix composites. *Materials & Design*, 2009, vol. 30, iss. 3, pp. 679–686. doi: 10.1016/j.matdes.2008.05.038.

10. Oliveira D.D.J., Guermendi L.G., Bianchi E.C., Diniz A.E., Aguiar P.R. de, Canarim R.C. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning. *Journal of Materials Processing Technology*, 2012, vol. 212, iss. 12, pp. 2559–2568. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2012.05.019.

11. Marinescu I.D., Hitchiner M.P., Uhlmann E., Rowe W.B., Inasaki I. *Handbook of machining with grinding wheels*. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press, 2016. 724 p. ISBN 978-1-4822-0668-5. eBook ISBN 978-1-4822-0670-8.

12. Li H.N., Axinte D. Textured grinding wheels: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2016, vol. 109, pp. 8–35. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2016.07.001.

13. Cherepovetskii I.Kh. *Mekhanika kontaktnogo vzaimodeistviya pri almaznoi obrabotke* [Mechanics of contact interaction in diamond processing]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1978. 228 p.

14. Khudobin L.V., Unyanin A.N. *Minimizatsiya zasalivaniya shlifoval'nykh krugov* [Minimization of grinding wheels loading]. Ul'yanovsk, UIGTU Publ., 2007. 298 p. ISBN 978-5-89146-982-2.

15. Mogilnikov V.A., Chmir M.Y., Timofeev Y.S., Poluyanov V.S. Diamond-ECM grinding of sintered hard alloys of WC-Ni. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 42, pp. 143–148. doi: 10.1016/j.procir.2016.02.209.

16. Arkhipov P.V., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Petrushin S.I. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 379, pp. 124–130. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.124.

17. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V. Research of influence of electric conditions of the combined electro-diamond machining on quality of grinding of hard alloys. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2015, vol. 91, pp. 012051. doi: 10.1088/1757-899X/91/1/012051.

18. Herzenstiel P., Aurich J.C. CBN-grinding wheel with a defined grain pattern – extensive numerical and experimental studies. *Machining Science and Technology*, 2010, vol. 14, iss. 3, pp. 301–322. doi: 10.1080/10910344.2010.511574.

19. Zishan D., Beizhi L., Steven L.Y. Material phase transformation at high heating rate during grinding. *Machining Science and Technology*, 2016, vol. 20, iss. 2, pp. 290–311. doi: 10.1080/10910344.2016.1168929.

20. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S. Combined electro-diamond grinding of high speed steels. *International Journal of Advances in Machining and Forming Operations*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 91–102.

21. Lobanov D.V., Arkhipov P.V., Yanyushkin A.S., Skeebe V.Yu. The research into the effect of conditions of combined electric powered diamond processing on cutting power. *Key Engineering Materials*, 2017, vol. 736, pp. 81–85. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.81.
22. Kremen' Z.I., Popovskii D.A., Yur'ev V.G. Grinding of titanium alloys by Elbor and diamond wheels. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33, iss. 8, pp. 457–459. doi: 10.3103/S1068798X1.
23. P.M., Uzunyan M.D. The energy intensity analysis of the diamond-spark grinding of the WolKar nanostructural hard alloy. *Journal of Superhard Materials*, 2010, vol. 32, iss. 1, pp. 50–54. doi: 10.3103/S106345761.
24. Batako A.D.L., Tsiakoumis V. An experimental investigation into resonance dry grinding of hardened steel and nickel alloys with element of MQL. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, vol. 77, iss. 1–4, pp. 27–41. doi: 10.1007/s00170-014-6380-8.
25. Zhi G., Li X., Qian Z., Liu H., Rong Y. Experimental study of time-dependent performance in superalloy high-speed grinding with CBN wheels. *Machining Science and Technology*, 2016, vol. 20, iss. 4, pp. 615–633. doi: 10.1080/10910344.2016.1224018.
26. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V. Poterya rezhushchei sposobnosti almaznykh krugov na metallicheskoj svyazke pri shlifovanii kompozitsionnykh materialov [Loss of cutting ability of metal bound diamond wheels at grind of composite materials]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva = Vestnik SibGAU*, 2013, no. 1 (47), pp. 178–183.
27. Skeebe V.Yu., Pushnin V.N., Kornev D.Yu., Parts K.A. Tekhnologicheskie osobennosti formirovaniya parametrov kachestva poverkhnostnogo sloya pri almaznom vyglazhivanii v usloviyakh integrirrovannoi obrabotki [Technological features of forming the quality characteristics of the surface layer during diamond smoothing in the integrated processing]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2015, no. 3 (68), pp. 31–41. doi: 10.17212/1994-6309-2015-3-31-41.
28. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Lobanov D.V., Zhigulev A.K., Skeebe P.Yu. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step “diamond smoothing”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2015, vol. 125, pp. 012031. doi: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.

## Conflicts of Interest

The author declare no conflict of interest.