

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.923.6

### Применение алмазных кругов на металлической связке для комплексной подготовки металлорежущего инструмента

А.С. Янюшкин<sup>a</sup>, П.В. Архипов<sup>b</sup>, О.И. Медведева<sup>c</sup>, Д.В. Лобанов<sup>d</sup>, Д.А. Рычков<sup>e</sup>, А.А. Сурьев<sup>f</sup>

Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>a</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>b</sup>mf\_nauka@brstu.ru, <sup>c</sup>kafmath@brstu.ru, <sup>d</sup>dielektrik84@mail.ru, <sup>f</sup>sur'yev@front.ru

Статья получена 16.09.2013, принята 17.11.2013

*В статье отражены преимущества применения сборных конструкций режущих инструментов, получивших наибольшее распространение за счет высокой производительности и эффективности при обработке широкого спектра материалов. Отмечены проблемы комплексной подготовки режущих инструментов существующими методами и необходимость их совершенствования для обеспечения заданных геометрических и качественных параметров в зависимости от производственных условий. Рассмотрены традиционные методы комплексной подготовки инструмента. Отмечены преимущества применения алмазных шлифовальных кругов на металлической связке для обработки режущих элементов сборного инструмента в сравнении с традиционными абразивными материалами. Выявлены основные причины потери режущей способности алмазных шлифовальных кругов на металлической связке. Уделено внимание современным комбинированным методам обработки, позволяющим повысить эффективность применения алмазных кругов для подготовки режущего инструмента. Предложен метод комбинированной электроалмазной обработки с автоматическим управлением процессом непрерывной электрохимической правки круга, позволяющий блокировать процесс засаливания и повысить эффективность применения алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при комплексной подготовке металлорежущего инструмента.*

**Ключевые слова:** режущий инструмент, шлифование, алмазный круг, инструментальные материалы.

### Application of metal-bonded diamond wheels for metal-cutting tools integrated setting

A.S. Yanyushkin<sup>a</sup>, P.V. Arkhipov<sup>b</sup>, O.I. Medvedeva<sup>c</sup>, D.V. Lobanov<sup>d</sup>, D.A. Rychkov<sup>e</sup>, A.A. Sur'yev<sup>f</sup>

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>b</sup>mf\_nauka@brstu.ru, <sup>c</sup>kafmath@brstu.ru, <sup>d</sup>dielektrik84@mail.ru, <sup>f</sup>sur'yev@front.ru

Received 16.09.2013, accepted 17.11.2013

*The paper reflects the advantages of application of the cutting tools integrated structures, which become widespread due to their high performance and efficiency when handling a wide range of different materials. The problems of cutting tools integrated setting by means of the existing methods and the need for their improvement to ensure the set-up geometrical and qualitative parameters depending on the production conditions have been marked out. The traditional methods of the cutting tools integrated setting have been considered. The application advantages of the metal-bonded diamond wheels for handling the cutters of a split-design tooling in comparison with traditional abrasive materials have been revealed. The main reasons for the loss of cutting ability of the metal-bonded diamond wheels have been established. The attention is paid to the up-to-date combined methods of handling that allow increasing the efficiency of diamond wheels application for the cutting tool setting. The method of the combined electro-diamond computer-controlled handling a continuous electrochemical trimming process has been proposed enabling to block the loading process and increase the efficiency of the metal-bonded diamond wheels application under the conditions of the metal-cutting tools integrated setting.*

**Keywords:** cutting tools, grinding, diamond wheel, tool materials.

**Введение.** Для современного производства характерны непрерывное совершенствование технологий изготовления продукции, внедрение прогрессивных способов и методов подготовки и осуществления технологического процесса, применение широкого спектра современных режущих инструментов. Наиболее широкое распространение получили сборные конструкции инструмента, особенно при обработке компо-

зиционных материалов, поскольку это позволяет повысить производительность обработки, получить качественную обработанную поверхность, а также снизить себестоимость готового изделия [4, 5, 8].

Выбор рациональной конструкции и подготовка режущего инструмента в зависимости от производственных условий являются актуальной задачей в условиях современной промышленности [5, 17, 18, 21].

Режущие элементы в сборном инструменте выполнены из широкого спектра материалов, таких, как быстрорежущая сталь, твердые сплавы, сверхтвердые материалы и других, что позволяет повысить эффективность сборного инструмента при обработке различных материалов [17, 18, 21].

Однако не всегда удается достигнуть заданных геометрических и качественных параметров инструмента, поскольку существующие методы заточки и подготовки инструмента также нуждаются в постоянном совершенствовании и модернизации.

**Постановка задачи.** Поэтому одной из наиболее важных задач являются разработка и внедрение технологических процессов, обеспечивающих качественные показатели подготовки инструмента [5, 8, 17].

Традиционно заточка режущего инструмента осуществляется широко распространенными шлифовальными кругами на основе естественных абразивных материалов, что делает их доступными для производства. Однако такие материалы имеют ряд недостатков – высокая температура в зоне резания, образование дефектного слоя на обрабатываемой поверхности и, в некоторых случаях, невозможность получить качественное режущее лезвие инструмента.

Как показывают проведенные исследования, существенного повышения производительности и качества обработки удается достичь за счет применения алмазного шлифовального инструмента на металлической связке [1, 3, 10 и др.]

Показатели применения алмазного шлифовального инструмента превосходят традиционные абразивные материалы, но алмазные круги имеют один наиболее значимый недостаток – засаливание режущей поверхности [2, 3, 12, 15, 17 и др.]. За счет протекания в зоне резания различных физико-химических процессов происходят снижение либо полная потеря работоспособности шлифовального круга [1 – 3, 9 – 15 и др.].

При шлифовании алмазным кругом 1A1 AC 6 80/63 M2-01 100 % с металлической связкой на станке 3E711 опытных образцов твердосплавных пластин различных марок отмечено образование засаленного слоя (рис. 1). Такая поверхность фактически неработоспособна, образовавшийся засаленный слой препятствует обновлению алмазных зерен и, по мере их истирания и разрушения, полностью покрывает поверхность шлифовального круга.

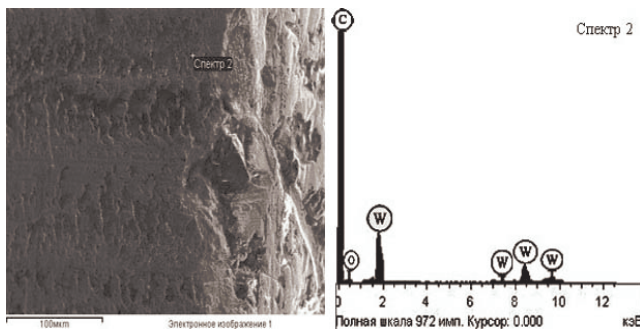


Рис. 1. Поверхность круга 1A1 AC 6 80/63 M2-01 100 %

Анализ образца алмазного круга AC6 на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO50 со встроен-

ном химическим анализатором EDS X-Act показал, что на поверхности образуется засаленный слой, который является причиной потери режущей способности алмазного круга. Его строение определяется составом обрабатываемого материала – так, посредством химического анализа установлено наличие вольфрама, одного из основных элементов, входящих в состав твердых сплавов (рис. 1, спектр 2).

Существует ряд методов восстановления режущих свойств алмазных кругов (механические, физические, химические и др.), при этом время, затрачиваемое на правку, в зависимости от способа, составляет от 5 до 30 % времени, предназначенного на всю обработку.

Отмечено, что существенного повышения эффективности применения алмазного инструмента удается достигнуть за счет применением современных комбинированных способов, основанных на электрофизических и электрохимических методах обработки [1, 3, 6 – 8, 14 и др.].

Здесь важным является установление рациональных электрических режимов, которые определяют работоспособность алмазного шлифовального инструмента и эффективность обработки в целом [16, 17, 20].

**Полученные результаты.** Проведенные нами экспериментальные исследования на шлифовальном оборудовании моделей 3Д642 и 3Е711, модернизированном под процессы комбинированного электроалмазного шлифования, показали, что при изменении плотности тока травления в интервале от 5 до 30 А/см<sup>2</sup> происходит снижение шероховатости обработанной поверхности различных инструментальных сталей и твердосплавных инструментальных материалов [9, 11, 13].

Так, на основании полученных данных при обработке твердосплавных инструментальных материалов установлено, что традиционный метод алмазного шлифования обеспечивает шероховатость обработанной поверхности в пределах  $R_a = 0,3...1,0$  мкм, но при этом возможны проявления многочисленных дефектов, а также структурные и фазовые изменения обрабатываемой поверхности, что снижает эксплуатационные показатели инструмента. При обработке с непрерывной правкой удается добиться снижения силового воздействия со стороны алмазного круга и тем самым уменьшить количество дефектов, а также повысить качество и эксплуатационные свойства инструмента. Комбинированный метод электроалмазного шлифования является наиболее предпочтительным среди рассматриваемых для обработки твердосплавных, труднообрабатываемых материалов и инструментальных сталей. Вследствие снижения механических деформаций, за счет совмещения анодного растворения обрабатываемой детали с непрерывной правкой алмазного круга удается достигать высокого качества и низкой шероховатости  $R_a = 0,16...0,25$  мкм обработанной поверхности (рис. 2), а также обеспечивать высокую стойкость заточенного данным способом инструмента.

Дальнейшее увеличение плотности тока травления свыше 30 А/см<sup>2</sup> сопровождается появлением на поверхности характерных дефектов, при этом качество обработанной поверхности в целом ухудшается за счет перехода электрохимических процессов в электроэрозионные.

Также были проведены и другие исследования различных показателей комбинированного электроалмазного затачивания (шлифования), таких, как глубина дефектного слоя, производительность, удельный съем материала и др.

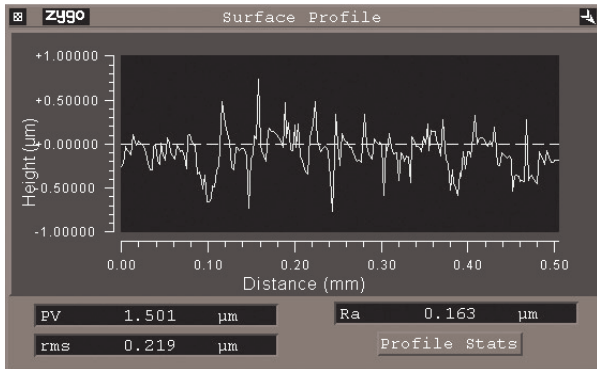


Рис. 2. Профилограмма поверхности твердого сплава после комбинированного электроалмазного шлифования

Растровая электронная микроскопия образцов алмазного круга после комбинированного электрохимического алмазного шлифования в сочетании с одновременной непрерывной правкой круга на примере твердого сплава позволила установить, что поверхность остается развитой и постоянно обновляется за счет поддержания режима самозатачивания. Также отмечено образование на поверхности круга пассивирующих защитных пленок, снижающих интенсивность процесса засаливания.

Спектральный анализ образца алмазного круга после комбинированного электроалмазного шлифования твердого сплава свидетельствует о наличии преимущественно углерода – алмаза и элементов связки (Cu, Sn), а также отмечается образование оксидных пассивирующих пленок (рис. 3).

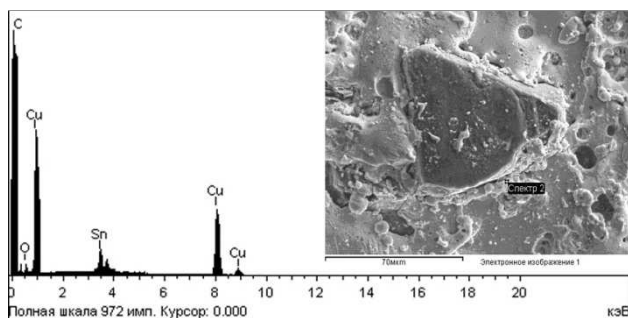


Рис. 3. Спектральный анализ поверхности образца алмазного круга после комбинированного электроалмазного шлифования

Лабораторные испытания модернизированного оборудования выявили необходимость разработки метода автоматического управления процессом непрерывной электрохимической правки круга, обусловленную быстротечностью контактных процессов электрохимической правки и сложностью поддержания постоянного зазора между кругом и правящим катодом [23 – 25].

Разработанное устройство позволяет установить требуемую плотность тока правки круга, удерживать величину тока в электрической цепи постоянной при из-

менении сопротивления в межэлектродном зазоре, а также автоматически управлять процессом непрерывной электрохимической правки круга. Основными составляющими являются: электрическая цепь (рис. 4), управляющая схема (рис. 5), источник постоянного тока и правящего электрода (катода).

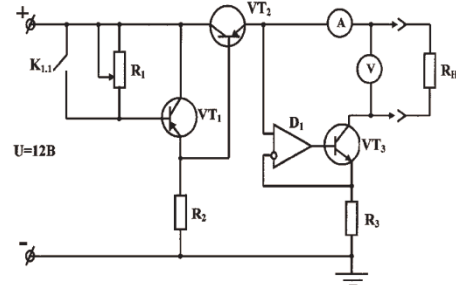


Рис. 4. Электрическая схема цепи правки

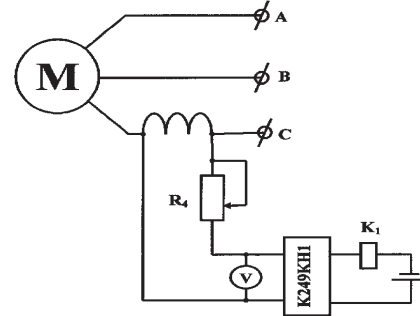


Рис. 5. Управляющая электрическая схема

Для расчета оптимального напряжения и плотности тока правки алмазного круга на токопроводящей связке в электрической цепи при комбинированном шлифовании была разработана программа для ЭВМ, имеющая редактируемую базу абразивных кругов, электролитов и обрабатываемых материалов и позволяющая задавать требуемые режимы обработки (рис. 6) [26].

При редактировании баз данных программа имеет простой и удобный интерфейс, позволяющий сделать выбор объекта редактирования.

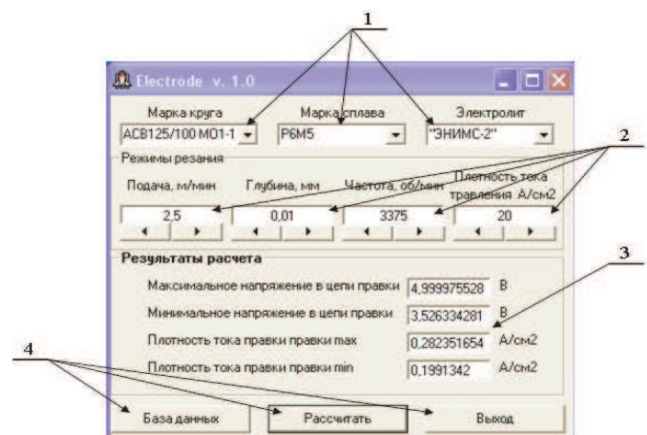


Рис. 3. Главное окно программы для расчета плотности тока и напряжения правки круга при электроалмажном шлифовании: 1 – меню выбора круга, марки материала и СОТС; 2 – меню выбора режимов шлифования; 3 – окно вывода результатов расчета; 4 – кнопки управления



С помощью разработанного программного обеспечения определяется требуемая плотность тока правки, в зависимости от условий работы, характеристик круга и обрабатываемого материала. Предварительно выставляется межэлектродный зазор, равный 0,1 мм, и катод жестко фиксируется [24]. При работе в межэлектродную зону подается токопроводящая СОТС, в результате цепь правки замыкается, и в зазоре протекает электрохимическая реакция, при которой растворяются образующийся засаленный слой и частично связка круга [25].

### Выводы

При комбинированной электроалмазной обработке различных твердосплавных материалов и инструментальных сталей в зоне резания удается создать условия, при которых процесс засаливания блокируется, и алмазный круг поддерживает свою режущую способность во время работы. Эффективность применения алмазных шлифовальных кругов на металлической связке при подготовке инструмента повышается в 3...4 раза по сравнению с традиционными абразивными материалами, а качество обработанной поверхности – в 1,5...2 раза.

Применение метода автоматического управления процессом непрерывной электрохимической правки круга и устройства для его осуществления позволяет блокировать процесс засаливания, что значительно увеличивает эффективность использования кругов на металлической связке.

Таким образом, применение прогрессивных технологий позволяет обеспечить автоматизацию подготовки металлорежущего инструмента с наименьшими затратами и требуемым качеством.

### Литература

1. Гордон М.Б., Янюшкин А.С. Высокоэффективная электрохимическая обработка твердых сплавов в режиме самозатачивания алмазного круга и одновременного травления поверхности изделий // Вестн. машиностроения. 1984. № 3. С. 12-14.
2. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Торопов В.А. Механизм засаливания шлифовальных кругов // Вестн. машиностроения. 2009. № 03. С. 62-69.
3. Малышев В.И., Мурашкин С.В., Комлев Р.В. Формирование рабочей поверхности шлифовального круга при ультразвуковой правке // Вектор науки Тольят. гос. ун-та. 2010. № 2. С. 40-43.
4. Малышев В.И., Попов А.Н. Имитационная модель процесса шлифования с вибрационной правкой шлифовального круга // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 4-4. С. 923-925.
5. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 5-2. С. 23-31.
6. Янюшкин А.С., Попов В.Ю., Васильев Е.В., Попов А.Ю. Комбинированная электроалмазная обработка инструментальных сталей: моногр. Братск, 2009. 228 с.
7. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Шероховатость поверхности после шлифования по методу двойного травления // Объединенный научный журн. 2002. № 21. С. 65-67.
8. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Petrov N.P. Optimal organization of tools for machining composites // Russian Engineering Research. 2011. Т. 31, № 2. С. 156-157.
9. Янюшкин А.С., Архипов П.В., Ереско С.П. Качество поверхности твердого сплава при комбинированном электроалмазном шлифовании с непрерывной правкой круга // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 5. С. 26-31.
10. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Поверхность алмазного круга после электроалмазного шлифования быстрорежущей стали // Труды

Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2002. Т. 2. С. 146-151.

11. Янюшкин А.С. Технология электроалмазного затачивания режущих инструментов и методы ее реализации: моногр. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 336 с.
12. Козлов А.М., Боглов Д.В. Моделирование совмещенной абразивной обработки // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 2. С. 50-53.
13. Марченко Ю.В., Александров А.В., Самодумский Ю.М., Иванов В.В. Анализ методов качественной и количественной оценки шероховатости и разработка прибора для оценки шероховатости поверхности образцов, обработанных в свободных абразивных средах // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 3. С. 79-84.
14. Иванов В.В., Селеменов М.Ф., Марченко Ю.В. Формирование вибрационных механохимических твердосмазочных покрытий на основе дисульфида молибдена // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 2. С. 73-78.
15. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В. Потеря режущей способности алмазных кругов на металлической связке при шлифовании композиционных материалов // Вестн. Сибир. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. 2013. № 1. С. 178-183.
16. Архипов П.В., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Совершенствование оборудования под процессы комбинированной обработки // Вестн. Таджик. техн. ун-та. 2013. Т. 2, № 2. С. 32-37.
17. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов: моногр. Старый Оскол, 2012. 296 с.
18. Рычков Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Критериальная оценка конструкции режущего инструмента на примере сборной фрезы для обработки композиционных материалов // Главный механик. 2011. № 5. С. 48-54.
20. Янюшкин А.С., Якимов С.А., Лобанов Д.В. Состояние твердотельного инструмента, заточенного различными методами электроалмазной обработки // Вестн. Иркут. регион. отд-я Акад. наук высш. школы Рос. Федерации. 2006. № 2. С. 100-104.
21. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Анализ конструктивных решений фрезерного сборного инструмента для обработки композиционных материалов // Технология машиностроения. 2011. № 10. С. 20-25.
22. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Сборная фреза для деревообработки: пат. 2228261. Рос. Федерация. № 2002117387/02; заявл. 28.06.02; опубл. 10.05.04, Бюл. № 13.
23. Янюшкин А.С., Ереско С.П., Лобанов Д.В. Устройство для комбинированной алмазной обработки с непрерывной правкой круга: пат. 2239525. Рос. Федерация. № 2003105413; заявл. 25.02.03; опубл. 10.11.04, Бюл. № 31.
24. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В. Конструкция катода для правки круга при комбинированной электроалмазной обработке: пат. 2446039. Рос. Федерация; заявл. 25.03.10; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.
25. Янюшкин А.С., Сурьев А.А., Якимов С.А., Архипов П.В. Метод автоматического управления процессом непрерывной электрохимической правки круга и устройство для его осуществления: пат. 2304504. Рос. Федерация; заявл. 31.01.05; опубл. 20.08.07. Бюл. № 23.
26. Янюшкин А.С., Сурьев А.А., Слепенко Е.А. Расчет напряжений и плотности тока правки в электрической цепи при комбинированном шлифовании: свид. 2004611425 Рос. Федерация. опубл. 07.06.04.

### Reference

1. Gordon M.B., Yanyushkin A.S. A high-performance electrolytic machining of hard alloys under the conditions of the diamond wheel self-sharpening and simultaneous product surface etching // Vestn. mashinostroeniya. № 3. S. 12-14.
2. Yanyushkin A.S., Arkhipov P.V., Toropov V.A. Mechanism of the grinding wheel disks loading // Vestn. mashinostroeniya. 2009. № 3. S. 62-69.
3. Malyshev V.I., Murashkin S.V., Komlev R.V. Shaping of the wheel working surface at the ultrasonic dressing // Vektor nauki Tol'yat. gos. unta. 2010. № 2. S. 40-43.
4. Malyshev V.I., Popov A.N. Simulation model of the grinding process with the wheel vibrational dressing // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2010. Т. 12. № 4-4. S. 923-925.

5. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A. Optimization of the cutting tool choice based on the comparative analysis methods // Fundamental'nye i prikladnye problem tekhniki i tekhnologii, 2010. № 5-2. S. 23 – 31.
6. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu., Vasil'yev E.V., Popov A.Yu. The combined electric diamond grinding of tool steel: monogr. Bratsk, 2009. 228 s.
7. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu. Surface roughness after grinding by the dual etching method // Ob'edinenny nauchny zhurnal. 2002. № 21. S. 65-67.
8. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Petrov N.P. Optimal organization of tools for machining composites // Russian Engineering Research. 2011. T. 31. No. 2. P. 156-157.
9. Yanyushkin A.S., Arkhipov P.V., Eresko S.P. The hard alloy surface quality at the combined electrodiamond grinding with continuous wheel dressing // Naukoemkiye tekhnologii v mashinostroenii. 2012. № 5. S. 26-31.
10. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu. The diamond wheel surface after rapid steel electrodiamond grinding // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri. 2002. T. 2. S. 146-151.
11. Yanyushkin A.S. The technique of the cutting tools electrodiamond sharpening and the methods to implement it: monogr. Stary Oskol: TNT, 2013. 336 s.
12. Kozlov A.M., Boglov D.V. Simulation of the combined abrasive processing // Fundamental'nye i prikladnye problem tekhniki i tekhnologii. 2010. № 2. S. 50-53.
13. Marchenko Y.V., Aleksandrov A.V., Samodumsky Yu.M., Ivanov V.V. The analysis of the methods of the roughness qualitative and quantitative assessment and the development of a device to assess surface roughness of the samples treated in free abrasive environments // Fundamental'nye i prikladnye problem tekhniki i tekhnologii. 2011. № 3. S. 79-84.
14. Ivanov V.V., Selemenov M.F., Marchenko Yu.V. Forming of vibrational mechanochemical solid coatings on the basis of molybdenum disulfide // Fundamental'nye i prikladnye problem tekhniki i tekhnologii. 2011. № 2. S. 73-78.
15. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arhipov P.V. Loss of the diamond wheels cutting ability on a metal bond at the composite materials grinding // Vestn. Sibir. aerokosmicheskogo un-ta im. akad. M.F. Reshetneva. 2013. № 1. S. 178-183.
16. Arkhipov P.V., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. The improvement of the equipment for the combined treatment processes // Vestn. Tajik. tekhn. un-ta. 2013. T. 2. № 2. S. 32-37.
17. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Tooling backup technology for manufacturing products from composite nonmetallic materials: monogr. Stary Oskol: TNT, 2012. 296 s.
18. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V. The criterion assessment of the cutting tool design on through the example of an interlocking side milling cutter to handle composite materials // Glavny mekhanik. 2011. № 5. S. 48-54.
19. Yanyushkin A.S., Yakimov S.A., Lobanov D.V. The state of the solid-state tool ground by different methods of electrodiamond handling // Vestn. Irkut. region. otd. Akad. nauk vyssh. shkoly Ros. Federatsii. 2006. № 2. S. 100-104.
20. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. The analysis of the milling modular tool constructive solutions to handle composite materials // Tekhnologiya mashinostrieniya. 2011. № 10. S. 20-25.
21. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V. Interlocking side mill for wood processing: pat. 2228261. Ros. Federatsiya. № 2002117387/022002117387/02; zayavl. 28.06.2002; opubl. 10.05.04. Byul. № 13.
22. Yanyushkin A.S., Eresko S.P., Lobanov D.V. The device for the combined diamond handling with continuous wheel dressing: pat. 2239525. Ros. Federatsiya. No.2003105413; zayavl. 2.25.2003; opubl. 11.10.2004. Byul. № 31.
23. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V. The design of a cathode for wheel dressing at the combined electrodiamond handling: pat. 2446039. Ros. Federatsiya. zayavl. 25.03.10; opubl. 27.09.2012. Byul. № 9.
24. Yanyushkin A.S., Sur'yev A.A., Yakimov S.A., Arkhipov P.V. The automatic method to control the process of the continuous electrochemical wheel dressing and a device to implement this: pat. 2304504. Ros. Federatsiya. zayavl. 31.01.2005. opubl. 20.08.07. Byul. № 23.
25. Yanyushkin A.S., Sur'yev A.A., Slepenco E.A. Calculation of voltage and current density for dressing in the electric circuit at the combined grinding: certifi. 2004611425 Ros. Federatsiya. opubl. 07.06.04.

УДК 691.41

## Влияние шламового отхода алюминиевого производства на структурообразование глино-кремнеземистого керамического материала

Н.А. Лохова<sup>а</sup>, И.А. Макарова<sup>б</sup>, А.Л. Макарова<sup>с</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>а</sup>nlokhova@yandex.ru, <sup>б</sup>makarovabrgy@yandex.ru, <sup>с</sup>makarovabrgy@yandex.ru

Статья поступила 15.07.2013, принята 29.09.2013

*Получение светложгущихся стеновых керамических материалов пониженной средней плотности возможно на основе пыли газоочистки производства ферросплавов. Для направленного регулирования прочности и морозостойкости кремнеземистого черепка использован комбинированный флюс – добавка закарбонизованного суглинка и шлама газоочистки рекультивированного шламоотстойника алюминиевого производства. Использование комбинированного флюса обеспечивает более полное выгорание органических примесей и активизирует процессы спекания при обжиге. Это происходит за счет термической деформации суглинка, обеспечивающей образование паров воды и диоксида углерода, и наличия активных плавней в шламе газоочистки. Методом математического планирования эксперимента установлено, что рациональная температура обжига (до 950 °С) и расход комбинированного флюса (суглинок 30 %, ШГ 5-15 %) обеспечивают получение черепка с заданной морозостойкостью (F35 – F50) и прочностью при сжатии не ниже 10 МПа. Установлено, что обожженный при 800 °С черепок содержит кварц, полевые шпаты, кристобалит и алюминаты кальция. При этом в структуре керамического черепка формируется значительный объем пор размером до 10 мкм (в том числе безопасных – до 0,1 мкм и промежуточных – 0,5-10 мкм), которые позитивно влияют на морозостойкость.*