

УДК 621.923.6

## ПОТЕРЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов, П. В. Архипов

Братский государственный университет  
Россия, 665709, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко, 40. E-mail: yanyushkin@brstu.ru

*Отражены причины потери режущей способности алмазных шлифовальных кругов на металлической связке в различных условиях шлифования композиционных материалов. Уделено внимание выявлению недостатков традиционных методов алмазного шлифования, которые в большинстве случаев, не позволяют достигать качества обработки композиционных материалов. Исследования проведены с использованием методов растровой, оптической микроскопии и интерферометрии. Затронутые проблемы и способы их решения направлены на совершенствование технологий машиностроительных предприятий, с целью повышения рентабельности и производительности обработки, а также обеспечения высокого качества изделий из композиционных материалов.*

*Ключевые слова: шлифование, алмазный круг, засаливание, композиционные материалы.*

## LOSS OF CUTTING ABILITY OF METAL BOUND DIAMOND WHEELS AT GRIND OF COMPOSITE MATERIALS

A. S. Yanyushkin, D. V. Lobanov, P. V. Arhipov

Bratsk State University  
40 Makarenko street, Bratsk, 665709, Irkutsk Region, Russia. E-mail: yanyushkin@brstu.ru

*The article dwells upon the reasons of loss of cutting ability of metal bound diamond wheels in different conditions of grind of composite materials. The attention is paid to detection of deficiencies of traditional methods of diamond grind, which in most cases do not allow to reach the required quality of composite materials processing. The researches were performed with the use of methods of raster, optical microscopy and interferometry. The problems under discussion and methods of their solution are directed to technological advancement of machine-building enterprises, for the purpose of rise of profitability and capacity of processing, as well as quality assurance of items made of composite materials.*

*Keywords: grind, diamond grinding wheel, composite materials.*

Потеря режущей способности алмазных кругов при шлифовании твердого сплава напрямую влияет на качество формообразования режущей части инструмента [1, 2].

Существует ряд гипотез потери режущей способности абразивного инструмента в процессе шлифования.

Абразивное изнашивание алмазных шлифовальных кругов, может возникать за счет того, что зерна невыгодно ориентированные на поверхности круга вырываются из связки или механически изнашиваются под действием сил резания. Абразивное изнашивание усиливается при шлифовании в химически активных средах, ослабляющих сопротивляемость контактных поверхностей обрабатываемого материала и шлифовального круга [3–7].

В процессе шлифования между шлифовальным кругом и деталью имеются условия для образования адгезионного схватывания. Адгезионное изнашивание наблюдается, когда обрабатываемый металл прилипает на вершины и изношенные площадки алмазных зерен, вследствие схватывания или химического взаимодействия с абразивными зернами. Фактическая

площадь контакта при микрорезании составляет незначительную часть от номинальной площади контакта. Вследствие высоких контактных давлений, в точках соприкосновения выступов абразивных зерен со шлифуемой поверхностью развиваются локальные пластические деформации с высокой температурой. В результате этого происходит соприкосновение химически чистых участков обрабатываемого материала с абразивными зернами и их взаимное схватывание с образованием очагов «мостиков» схватывания. При микрорезании абразивными зернами детали происходит непрерывное разрушение и возобновление «мостиков» схватывания [5–8].

Диффузионное изнашивание происходит вследствие того, что при микрорезании единичными зернами происходит развитие адгезионных процессов, тогда при контакте алмазного зерна и обрабатываемого материала не исключено и возникновение диффузионных явлений [6; 7].

Окислительное изнашивание основывается на известном факте коррозии твердых сплавов при нагреве их в среде кислорода и отсутствии изменения свойств поверхностных слоев сплавов при нагреве их в инерт-

ных газах (аргоне, азоте, гелии). Согласно этой гипотезе при температурах резания 700...800 °С кислород воздуха вступает в химическую реакцию с кобальтовой фазой твердого сплава и карбидами вольфрама, причем наиболее сильно окисляется кобальт. Вследствие значительной пористости металлокерамических твердых сплавов окислительным процессам подвергаются не только сами контактные поверхности шлифовального круга, но и зерна твердого сплава, лежащие на некоторой глубине от этих поверхностей.

Процессы, протекающие в зоне резания при шлифовании твердых сплавов, приводят к потере режущей способности алмазных шлифовальных кругов на металлической связке, к такому явлению, как засаливание [1; 4–8].

Для изучения процесса засаливания алмазных кругов проведены исследования изменения состояния поверхности алмазного круга при шлифовании твердого сплава [1, 3, 8, 9].

Проведены исследования образцов, вырезанных из алмазного шлифовального круга марки 12A2-45 150×10×3×40×32 AC6 M1-01 100/80, после обработки твердого сплава ВК8, шлифование без СОЖ. Образцы алмазного шлифовального круга 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, а также оптического интерферометра Zygo New View TM 7300. В качестве эталона была принята поверхность образца, вырезанного из шлифовального круга завода изготовителя и образца после электрохимической правки.

Исследование поверхности шлифовального круга (эталона), которая сформирована на стадии изготов-

ления, показало, что поверхность имеет неразвитую структуру, большая часть алмазных зерен скрыта связкой, такая поверхность не может обладать высокими режущими свойствами (рис. 1).

Модель участка эталонной поверхности алмазного круга, исследованная с помощью оптической интерферометрии, показана на рис. 2.

Темные участки на изображении соответствуют алмазным зернам, которые выступают из связки и участвуют в процессе шлифования.

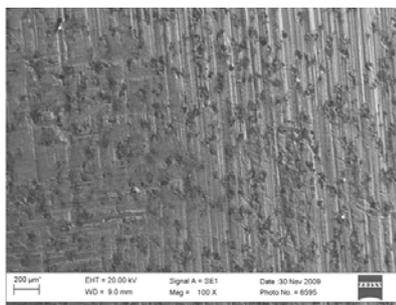
Топографическое исследование (рис. 3) показывает, что максимальная величина, на которую выступают отдельные алмазные зерна, колеблется в пределах 5 мкм, остальная часть рельефа образована неровностями связки и равна 9 мкм.

Спектральный анализ поверхности эталона алмазного круга (рис. 4) также свидетельствует о наличии фаз углерода – алмаза и элементов, входящих в состав связки (медь и олово).

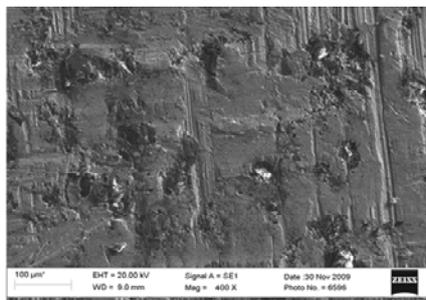
Как показывает рентгенограмма (рис. 5), фазы меди и олова проявляются в виде твердых растворов  $Cu_{0,932}Sn_{0,068}$  и  $Cu_{41}Sn_{11}$ . Другие включения и соединения обнаружены не были.

Известно, что алмазные круги на металлической связке, как правило, полностью теряют свои режущие свойства в течение первых минут работы, особенно при шлифовании без СОЖ [1–3].

Исследования образца алмазного круга после 15 мин шлифования твердого сплава ВК8, позволили определить очаги образования засаленного слоя. Такими очагами могут являться как алмазные зерна, так и связка. Во время обработки твердый сплав образует навалы на боковой поверхности алмазного зерна, которые, взаимодействуя со связкой, способствуют дальнейшему развитию засаливания (рис. 6).



× 100



× 400

Рис. 1. Поверхность эталона алмазного круга

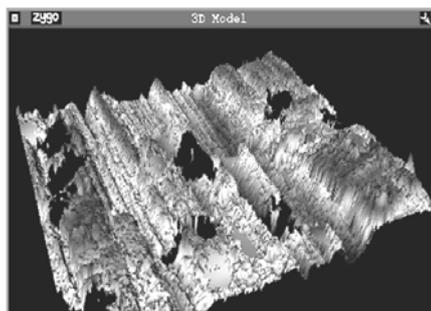


Рис. 2. Модель поверхности эталона алмазного круга

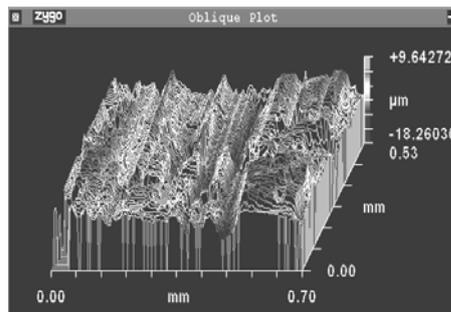


Рис. 3. Топографическое изображение участка поверхности эталона алмазного круга

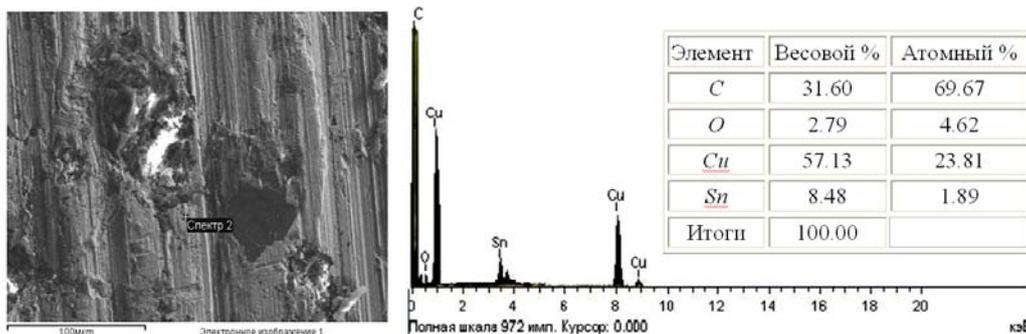


Рис. 4. Спектральный анализ участка поверхности эталона алмазного круга

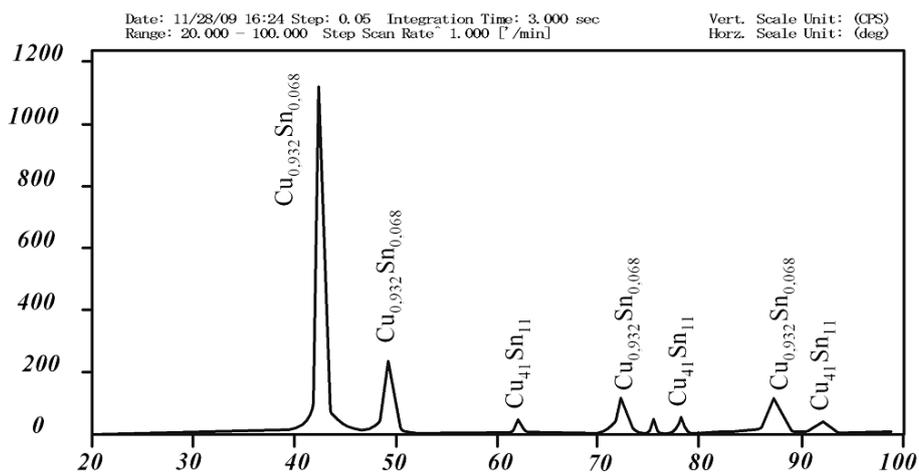


Рис. 5. Рентгенограмма эталона алмазного круга

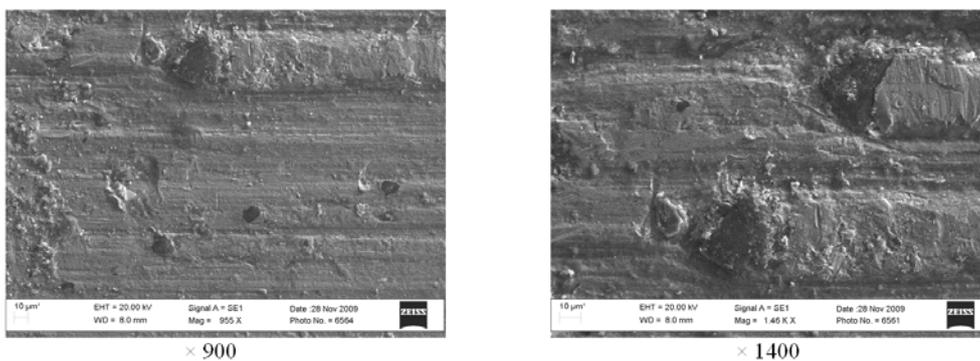


Рис. 6. Участок поверхности алмазного круга на металлической связке после 15 мин шлифования без СОЖ

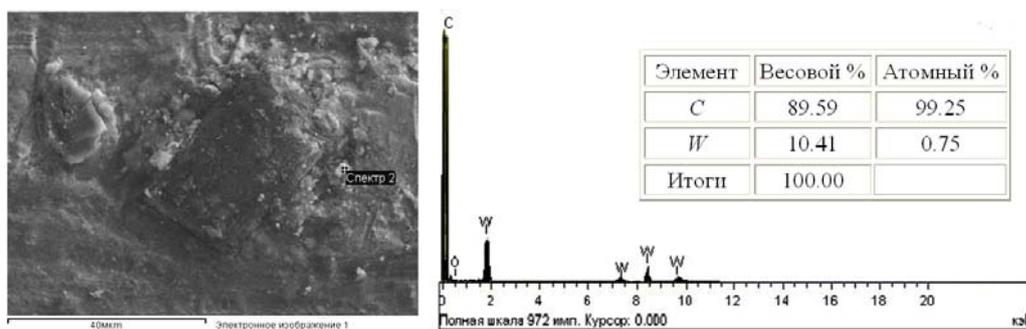


Рис. 7. Спектральный анализ участка поверхности алмазного круга после 15 мин шлифования без СОЖ

Спектральный анализ поверхности алмазного круга после 15 мин шлифования твердого сплава ВК8 показал, что засаленный слой формируется из вольфрама, который сосредоточен на боковых поверхностях алмазного зерна (рис. 7).

Это позволяет сделать вывод, что первыми очагами засаливания являются алмазные зерна, через которые происходит контакт с обрабатываемой поверхностью. Связка также вносит существенный вклад в процесс засаливания за счет химической активности, входящих в ее состав элементов.

Рентгеноструктурный анализ поверхности алмазного круга после 15 мин шлифования твердого сплава ВК8 всухую (рис. 8) показал наличие засаленного слоя, состоящего из фаз карбида вольфрама WC и сложного карбида  $Co_3W_3C$ . Свидетельством того, что засаленный слой частично скрывает поверхность алмазного круга, служит наличие фаз углерода C (алмаза) и элементов, входящих в состав связки. Такими фазами являются твердые растворы меди и олова  $Cu_{10}Sn_3$ ,  $Cu_{41}Sn_{11}$ ,  $Cu_{5,6}Sn$ ,  $Cu_{0,932}Sn_{0,068}$  и фаза меди Cu.

Оптическое изображение участков поверхности алмазного круга после 30 минут шлифования твердого сплава ВК8 без СОЖ позволила установить, что засаленный слой полностью скрывает алмазные (рис. 9).

Такая поверхность фактически не работоспособна, образовавшийся засаленный слой препятствует обновлению алмазных зерен и по мере их истирания и разрушения полностью покрывает поверхность шлифовального круга. Над поверхностью круга выступают вершины отдельных алмазных зерен, которые работают непродолжительное время и изнашиваются до уровня засаленного слоя. В результате, процесс шлифования переходит в пластическое деформирование, что приводит к дефектам и разрушению обрабатываемой поверхности.

Топографический анализ образца алмазного круга после 30 мин шлифования без СОЖ (рис. 10), также показал, что поверхность шлифовального круга полностью скрыта засаленным слоем. Средняя величина его составляет 10 мкм, а на отдельных участках достигает порядка 20 мкм.

Проведенный спектральный анализ образца алмазного шлифовального круга после 30 минут шлифования твердого сплава ВК8 всухую показал, что на поверхности образуется засаленный слой, строение которого определяется составом обрабатываемого материала.

Анализ спектра (рис. 11), взятого с точки возле алмазного зерна, позволил определить, что засаленный слой состоит из кобальта, который является связующим в твердом сплаве, и вольфрама.

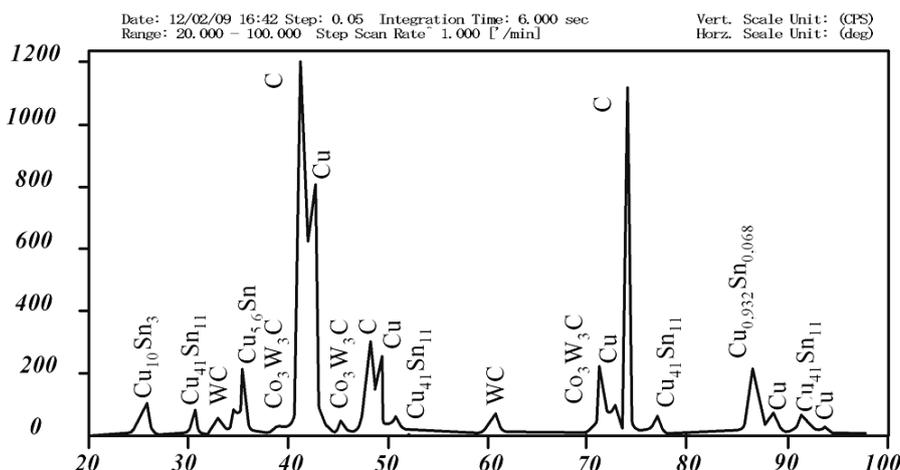


Рис. 8. Рентгенограмма участка поверхности алмазного круга после 15 мин шлифования без СОЖ

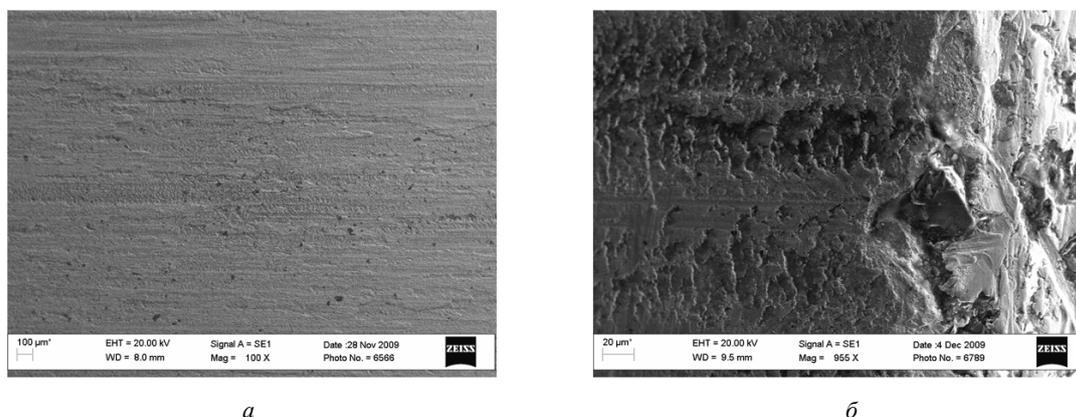


Рис. 9. Участки поверхности алмазного круга после 30 минут шлифования без СОЖ: а – прямое изображение; б – изометрическое изображение

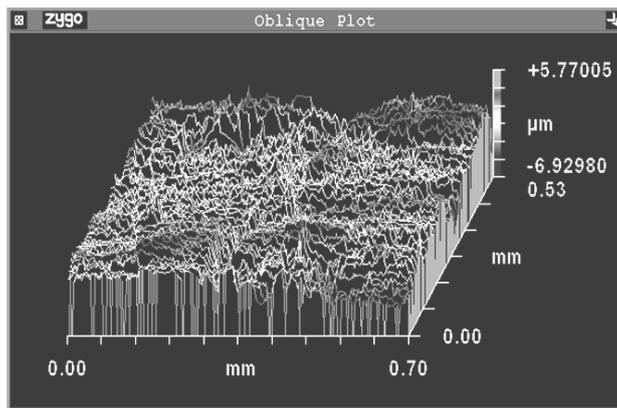


Рис. 10. Топографическое изображение участка поверхности алмазного круга после 30 мин шлифования без СОЖ

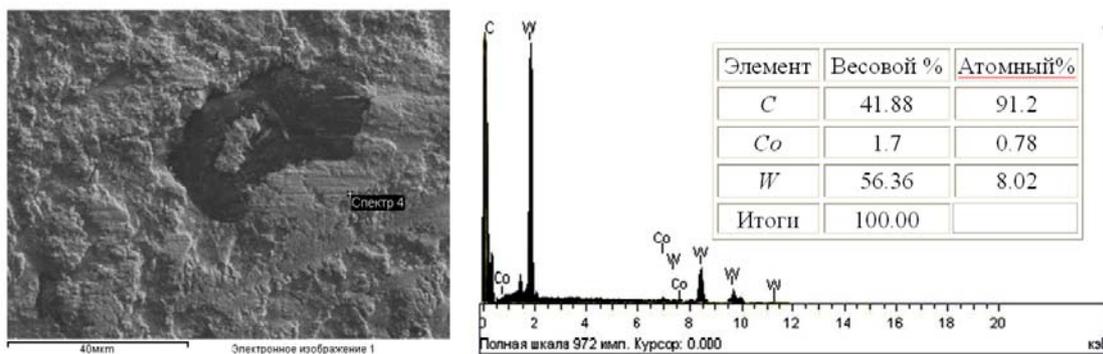


Рис. 11. Спектральный анализ участка поверхности алмазного круга после 30 мин шлифования без СОЖ

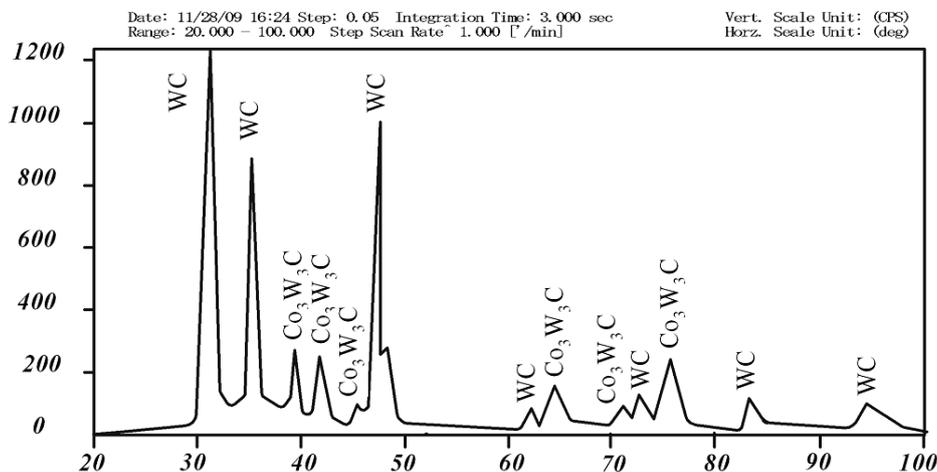


Рис. 12. Рентгенограмма участка поверхности алмазного круга после 30 минут шлифования без СОЖ

Рентгеноструктурный анализ подтверждает, что алмазные зерна круга покрыты засаленным слоем и такая поверхность алмазного инструмента неработоспособна. На рентгенограмме отмечено образование фаз карбида вольфрама WC и сложного карбида вольфрама  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  (рис. 12), так называемой фазы  $\eta$ , представляющей собой двойной карбид вольфрама и кобальта. Образование фазы  $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$  может свидетельствовать о деструкции карбида вольфрама WC в поверхностном слое твердого сплава.

Проведенные исследования засаленного слоя, полученные многочисленные снимки, спектрограммы, а также рентгенограммы с поверхности алмазных кругов, позволяют предположить следующее: очевидно, что процесс засаливания шлифовальных кругов зависит от структуры и состава связки кругов и обрабатываемого материала. Очевидно, что процесс засаливания зависит не только от термодинамических параметров, но и от атомно-молекулярных связей, которые формируют структуру взаимодействующих мате-

риалов. Поэтому засаленный слой предлагается рассматривать как двойной электрический слой.

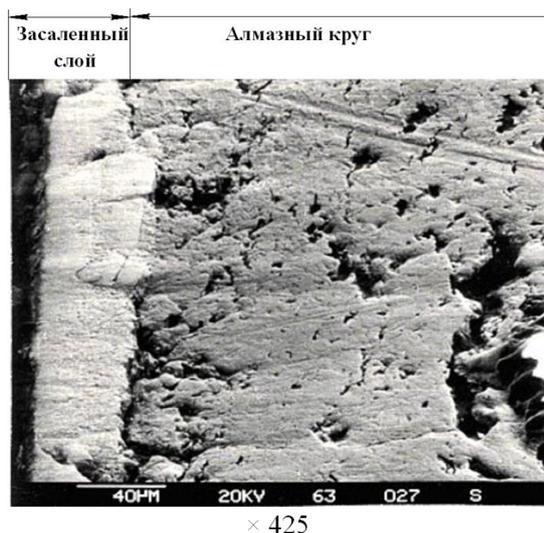


Рис. 13. Размеры засаленного слоя на поверхности алмазного круга после шлифования сплава ВК8 без СОЖ

Согласно экспериментальным данным [1; 3; 5; 8; 9] при исследовании контактных процессов шлифования алмазными кругами на металлической связке твердых сплавов максимальная величина засаленного слоя составляет порядка 30...40 мкм. В результате теоретического расчета, основанного на образовании двойного электрического слоя на границе контакта алмазного шлифовального круга с обрабатываемой деталью, получена величина засаленного слоя равная 31 мкм [5; 8]. Эта величина хорошо видна на приведенной фотографии, полученной при исследовании поверхности алмазного круга и образовании на ней границ засаленного слоя (рис. 13).

Проблема засаливания кругов при шлифовании должна решаться на атомном уровне с учетом атомно-молекулярных взаимодействий в промежуточном слое между контактирующими поверхностями шлифовального круга и обрабатываемой детали, который неизбежно образуется при обработке.

Таким образом, при шлифовании необходимо создать условия в зоне резания, при которых взаимодействие связки и детали не будет сопровождаться образованием засаленного слоя. Такими условиями может служить подвод СОТС, периодическая правка шли-

фовального круга и использование комбинированных методов электроалмазного шлифования.

### Библиографические ссылки

1. Лобанов Д. В., Янюшкин А. С. Влияние методов затачивания на качество твердосплавного инструмента для обработки композиционных материалов // Вестник машиностроения. 2011. № 3. С. 50–53.
2. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Рычков Д. А. Сравнительный анализ конструкций фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 3. С. 83–85.
3. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Батаев В. А., Архипов П. В., Медведева О. И. Исследование работоспособности алмазных кругов при обработке композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 7. С. 87–91.
4. Архипов П. В., Янюшкин А. С., Ковалевский С. В. О природе засаливания шлифовальных кругов // Труды Братского государственного университета. Серия. Естественные и инженерные науки развитию регионов Сибири. 2008. № 2. С. 169–174.
5. Янюшкин А. С., Архипов П. В., Торопов В. А. Механизм процесса засаливания шлифовальных кругов // Вестник машиностроения. 2009. № 3. С. 62–69.
6. Гордон М. Б., Янюшкин А. С. Высокоэффективная электрохимическая обработка твердых сплавов в режиме самозатачивания алмазного круга и одновременного травления поверхности изделий // Вестник машиностроения. 2009. № 3. С. 78.
7. Янюшкин А. С., Шоркин В. С. Роль адгезии и диффузии в процессе засаливания алмазных кругов на металлической связке // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2004. № 7. С. 32.
8. Янюшкин А. С., Архипов П. В. Атомно-молекулярные процессы в зоне алмазного круга и обрабатываемого материала // Технология металлов. 2010. № 1. С. 25–33.
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.

© Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Архипов П. В., 2013