

А. М. Кузей, д-р техн. наук¹, **В. Е. Бабич**, к.т.н.^{1,2}

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, ул. Купревича 10, г. Минск, Республика Беларусь, 220141, e-mail: anatkuzei@mail.ru

²Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, ул. Машиностроителей 25, г. Минск, Республика Беларусь, 220118, e-mail: babich83@tut.by

ВЛИЯНИЕ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ РЕЗАНИИ СТАЛИ АЛМАЗНЫМ КРУГОМ НА ИЗНОС ПОЛИКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

Исследованы процессы резания стали алмазным и абразивным кругами. Установлено, что снижение режущей способности алмазных кругов с гранулами из поликристаллов синтетического алмаза при обработке стали происходит из-за преимущественного износа гранул, при этом скорость износа гранул превышает скорость износа связки. Износ гранулы из поликристаллического алмаза происходит по специфическому механизму, который реализуется в условиях фрикционного взаимодействия с приповерхностным слоем стали, находящемся в жидком, вязком и пластичном состояниях.

Ключевые слова: алмазный круг, сегментный круг, поверхности износа, алмазоабразивные композиционные материалы, фрикционное взаимодействие, поликристаллический алмаз

Введение

В строительной индустрии при изготовлении конструкций различного назначения, помимо бетона, камня, железобетона широко применяется и сталь. Механическая обработка данного вида конструкций является наиболее трудоемкой.

Используемый на операциях механической обработки алмазоабразивный инструмент (сегментный алмазный отрезной круг) достаточно эффективно обрабатывает изделия из бетона, железобетона, однако при обработке изделий из стали менее эффективен, чем абразивный. Основными причинами низкой эффективности алмазных кругов при обработке (резании) стали принято считать графитизацию алмаза при контакте с железом, перенос продуктов износа на поверхность композиционного материала (связку и алмазные зерна), что приводит к выкрашиванию алмазных зерен из связки [1]. Следствием данных процессов является низкая режущая способность и повышенный износ инструмента.

Оба типа отрезного инструмента – абразивный и алмазоабразивный (сегментный) по конструктивному исполнению структуре композиционных материалов (связующее – наполнитель – режущие элементы) подобны. Отличия заключаются в физико-механических характеристиках режущих элементов, связок, композиционных материалов и концентрациях режущих элементов [2].

Изнашивание стали при абразивной (алмазоабразивной) обработке происходит при массовом микрорезании единичными инструментами – зернами алмаза, корунда и т.д. Однако, только часть зерен (10-17%) участвуют в процессе микрорезания, большая часть зерен ориентирована плоскими вершинами и деформируют приповерхностный слой изделия [3]. Различный характер и степень фрикционного взаимодействия алмазных зерен с поверхностью будет определять ведущий механизм их износа и эксплуатационные характеристики инструмента.

Методики экспериментов

Методами электронной сканирующей микроскопии, рентгенодисперсионного анализа изучен механизм изнашивания поликристаллов алмаза при резании стали алмазным отрезным кругом (1ARI 300×3×40, APC-3, 1000/800 125 %).

Алмазным и абразивным (СТИНЛ 300×4.0×20) кругами производилась резка трубы стальной электросварной (ГОСТ 10705-80) изготовленной из Ст2 (ГОСТ 380-94) с наружным

диаметром 88,5 мм и условным проходом 80 мм. Усилие прижима кругов к трубе составила 50 Н. Скорость вращения круга составляла 3000 об/мин. Обработку поверхности композиционного материала проводили в 25 % (мас.) соляной кислоте. Высоту алмазных гранул над связкой определяли как среднее арифметическое значение высот гранул в четырех сегментах на противоположных сторонах круга.

Режущая способность алмазного круга, после 3, 6, 9 резов составила 21,6; 20,3; 14,7 г/мин, абразивного 24,3; 26,1; 20,9 г/мин соответственно. Высота алмазных гранул после 9 резов изменилась с 230 мкм до 110 мкм.

Морфология поверхностей заготовки после резания абразивным и алмазными кругами представляют собой совокупность разновысотных гребней с плоскими, округлыми вершинами, борозд между ними, и продуктов износа стали в форме округлых частиц, морфологически связанных с ними. На поверхностях заготовок, отрезанных абразивным кругом, присутствуют и плоские частицы износа стали в форме, характерной для стружки и частицы корунда (рис. 1 а, б). Продукты износа, образующиеся при резании стальной трубы абразивным и алмазным кругами, состоят из округлых частиц размерами 30–300 мкм и круглых плоских частиц (рис. 1 в, г).

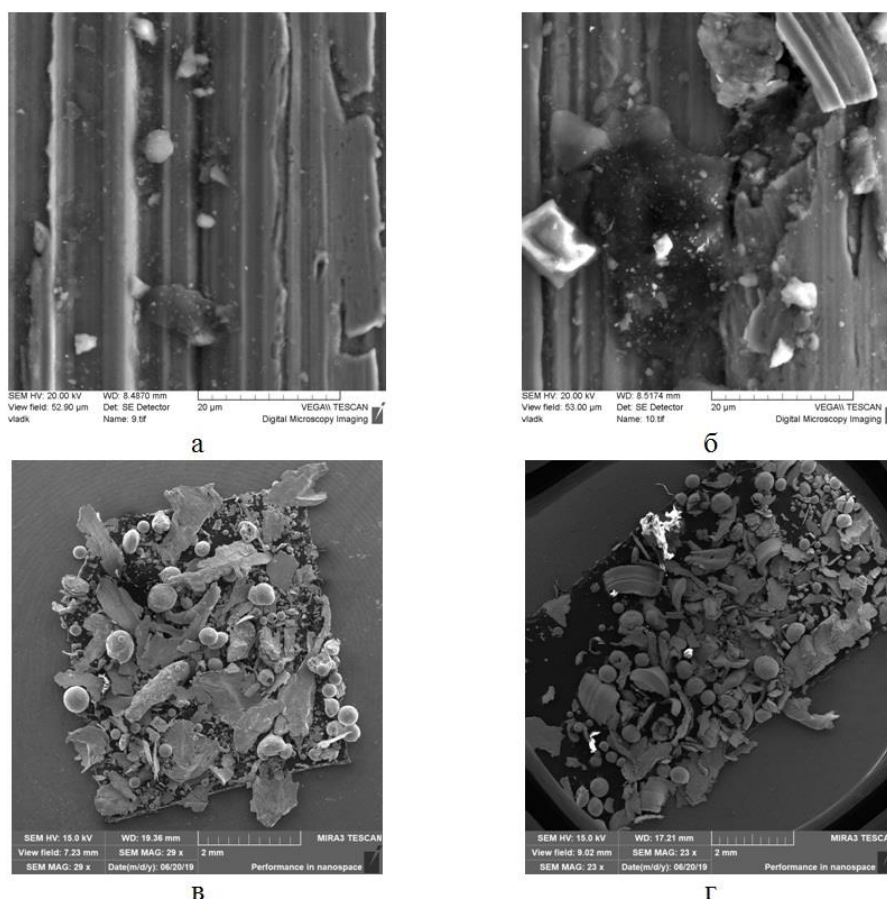


Рис. 1. Морфология поверхностей заготовки после резания абразивным и алмазными кругами (а, в – абразивный круг, б, г - алмазный)

Морфология поверхности износа абразивного круга (композиционного материала) представляет собой совокупность выступов и впадин образованных, в различной степени разрушенными и выкрошившимися зернами корунда (рис. 2 а). Морфология поверхностей

сегментов алмазного круга представляет собой гранулы алмаза с площадками износа, следами сколов. Островковые пленки продуктов износа стали присутствуют как на поверхности связки так и на поверхности отдельных гранул (рис. 2 б–г).

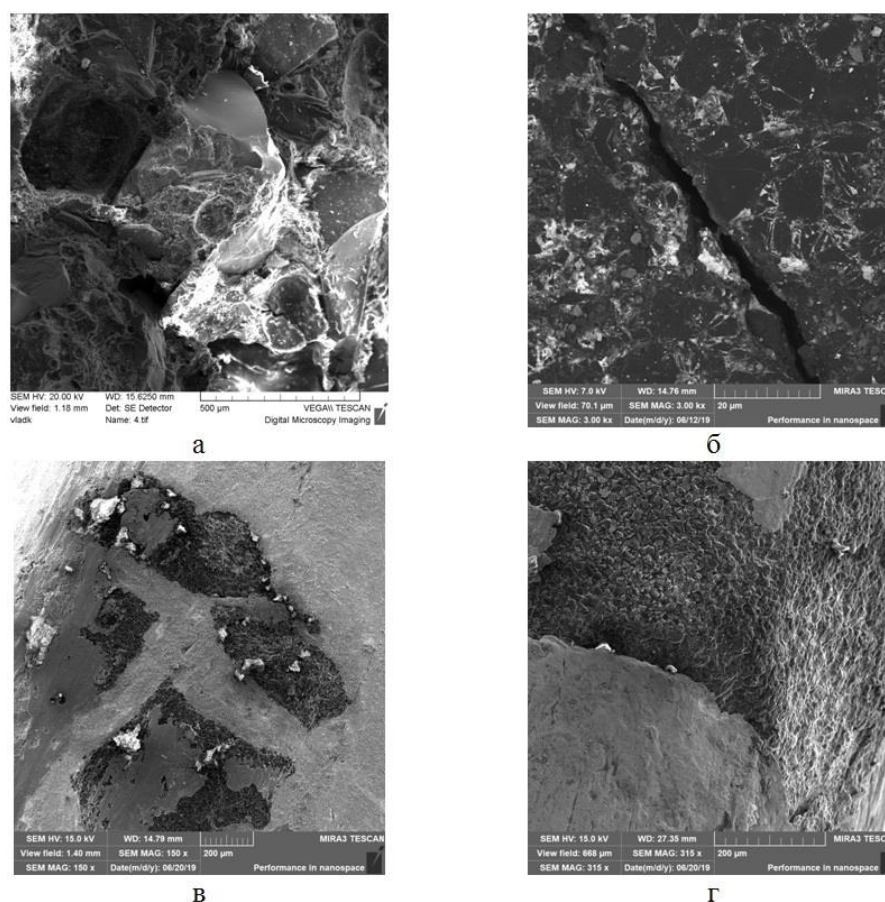


Рис. 2. Морфология поверхности износа абразивного (а) и алмазного (б–г) кругов

Пленка продуктов износа стали на поверхности гранул имеет переменный по кислороду состав. На участках пленки, соответствующим спектрам № 7, 8, содержание элементов составляет, % (мас.): кислорода – 24,3; железа – 94,75, соответственно. На участке поверхности износа гранулы, выступающей из пленки продуктов износа стали, соответствующему спектру № 6, содержание элементов составляет, % (мас.): железа – 15,25; кислорода – 16,15; азота – 10,4; примеси – остальное (рис. 3 а).

После растворения пленок продуктов износа стали с поверхности сегмента на поверхности площадки износа алмазной гранулы отмечено присутствие железа, никеля, меди (рис. 3 б). На участках алмазного зерна, соответствующих спектрам № 10, 11, концентрация железа составляла 0,11 и 0,12 % (мас.), никеля 0,62 и 1 % (мас.) (меди 0,14 %) (мас.).

Поверхности износа алмазных гранул различны. На свободных от пленки продуктов износа стали площадках износа часть алмазных зерен разрушена и вместе с целыми выступают над связкой, прослойки которой между зернами изношены (рис. 3 в). По краям площадок износа гранул алмазные зерна изношены в меньшей степени: большая часть алмазных зерен сохранила свою форму и размеры, а прослойки связки (AlN) между ними изношены (рис. 3 г).

На участках площадок износа ранее покрытых пленками продуктов износа стали вершины алмазных зерен и грани сглажены, на поверхности зерен присутствуют борозды и углубления, размеры зерен меньше чем в исходной алмазной грануле (рис. 3 д, е).

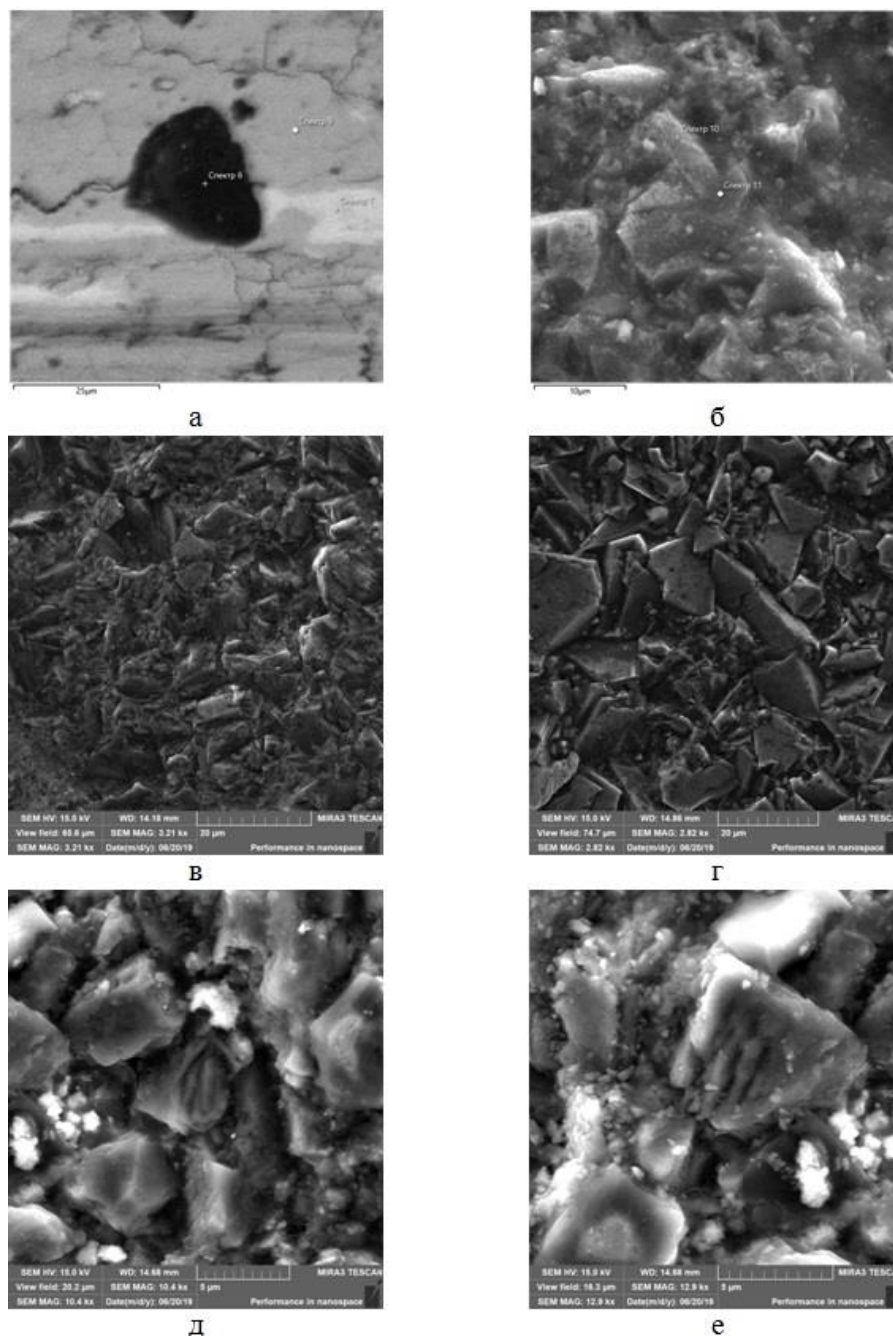


Рис. 3. Морфология пленки продуктов износа стали на поверхности алмазной гранулы (а) и поверхностей износа алмазных гранул (б–е): б – под пленкой стали (после растворения пленки); в – участка гранулы, свободной от пленки износа стали; г – участка по краю площадки износа; д, е – алмазных зерен на площадках износа гранул

Обсуждение результатов экспериментов

Морфологии поверхностей резания (износа) стали алмазным и абразивным кругами не имеют существенных различий (рис. 1). Продукты износа стали, образовавшиеся при резании трубы алмазным и абразивными кругами, в обоих случаях состоят их округлых и пластинчатых частиц (стружки), которые близки по размерам. Некоторым отличием

продуктов износа, образовавшихся при резании трубы алмазным кругом, является более высокое содержание в них округлых частиц, размеры которых менее 50 мкм.

Морфологии поверхностей износа стали и продуктов ее износа показывают, что температура в зонах резания (фрикционного контакта) обоими кругами близка и превышает (на отдельных участках) температуру плавления стали. В таких условиях вместо отделения фрагмента стали (стружки) единичным инструментом происходит пластическое деформирование и выдавливание приповерхностного слоя стали, находящегося при предплавиельных температурах (либо в жидком состоянии), движущейся кромкой (плоской вершиной) инструмента из зоны фрикционного контакта. Этот процесс протекает как при резании стали алмазным, так и абразивным кругом. Увеличение температуры разрезаемой трубы (по мере увеличения числа резов) способствует переходу от процесса резания к процессу преимущественного вытеснения стали из зоны фрикционного контакта. Рост температуры по мере перемещения алмазной гранулы в приповерхностном слое стали (зоне фрикционного контакта) сопровождается увеличением коэффициента трения алмаза по стали: с 0,14–0,18 до 3 [4, 5]. Данный эффект также способствует тепловыделению в зоне фрикционного контакта алмазной гранулы со сталью и увеличению доли продуктов износа в форме округлых частиц.

Высокие температуры в зоне фрикционного контакта интенсифицируют трибохимическое взаимодействие алмаза с железом: обработка сегментов в соляной кислоте не приводит к полному удалению железа, а также никеля, меди (компонентов связки композиционного материала) с поверхности алмазных зерен. Эти элементы могут присутствовать как в микротрещинах алмазных зерен, связки, так и в виде соединений – карбидов железа, никеля, твердого раствора углерода в никеле, железе. Однако, карбиды растворимы в соляной кислоте, а присутствие железа (в виде твердого раствора с углеродом) и меди дает основание считать, что графитизация алмазных зерен при фрикционном контакте с железом не имела места. Никель, медь являются компонентами связки композиционного материала, их присутствие на поверхности алмазных зерен обусловлено переносом частиц связки вместе с пленкой железа.

Высокие температуры в зоне фрикционного контакта способствуют развитию адгезионного, диффузионного и трибохимического механизмов износа алмазной гранулы, однако морфологии поверхностей износа алмазных зерен не являются характерными для адгезионного, диффузионного механизмов износа [6, 7].

Образование на поверхности гранул участков с различными морфологиями поверхностей износа вызвано различной интенсивностью их взаимодействия с приповерхностным слоем стали. Перемещение вершины гранулы в приповерхностном пластичном, затем жидком слое стали приводит к преимущественному износу прослоек связки между зернами, и части алмазных зерен, часть зерен изнашивается в меньшей степени и с меньшей скоростью выступает над поверхностью (рис. 3 б, в). Этот эффект может быть обусловлен различной кристаллографической ориентацией алмазных зерен и анизотропией их твердости. Алмазные зерна, ориентированные к поверхности стали «твердыми» плоскостями, изнашиваются в меньшей степени, чем зерна ориентированные «мягкими» плоскостями. В результате зерна, ориентированные «твердыми» плоскостями к поверхности стали, выступают над связкой и изношенными зернами. Присутствие пленок продуктов износа на площадках износа косвенно указывает на участки подвергающиеся наиболее интенсивному динамическому воздействию приповерхностного слоя стали. Внедрение гранулы в приповерхностный слой стали и ее перемещение в нем, можно рассматривать и как «течение» квазижидкого (жидкого) слоя железа по поверхности гранулы. Снижение твердости алмазных зерен (с 10 ГПа при нормальных условиях до 1,7–2,0 ГПа – при 1700 К [8]), высокие температуры, течение и гидродинамическое воздействие квазижидкой пленки стали приводит к износу поверхности алмазной гранулы по специфическому механизму включающему абразивную компоненту (абразивное динамическое воздействие квазипластичной среды) диффузионную (растворение связки, алмаза в железе) и адгезионную (отделение частиц связки и алмаза). В области

температур 1700–1800 К растворимость углерода в жидком железе достигает 6–7 мас. %, что достаточно для растворения алмазных зерен в «текущей» по его поверхности пленке железа. По мере увеличения числа контактов гранулы со сталью и износа ее поверхности, периодически повторяющийся срыв пленки и последующее ее образование в зоне фрикционного контакта приводит к тому, что квазипластичная пленка стали силами трения перемещается между алмазными зернами. Меньшая скорость износа части алмазных зерен показывает на действие абразивного износа [9].

Причиной преимущественного износа гранулы, а не связки композиционного материала является механизм износа гранул; частицы износа стали срываются с поверхности связки при ее контактах со сталью, а островковые пленки выполняют роль связки: ее толщина периодически увеличивается, следствием этого является снижение скорости износа связки композиционного материала.

Образование микротрещин и последующее разрушение гранул в большей степени вызвано динамическим, ударным характером контакта сегмента разрезаемой трубой, а не термическим эффектом фрикционного взаимодействия со сталью.

Характер изменения режущей способности алмазного круга при увеличении числа резов, морфология поверхностей износа гранулы и стали показывают, что снижение режущей способности круга обусловлено износом алмазных гранул вследствие специфического механизма их взаимодействия со сталью в зоне фрикционного контакта.

Заключение

Снижение режущей способности алмазных отрезных (сегментных) кругов с гранулами из поликристаллов синтетического алмаза при обработке стали происходит из-за преимущественного износа гранул, скорость износа гранул превышает скорость износа связки. Одной из причин меньшей скорости износа связки является перенос продуктов износа стали в форме пленки на поверхность связки композиционного материала. Износ гранулы из поликристаллического алмаза происходит по специфическому механизму, который реализуется в условиях фрикционного взаимодействия с приповерхностным слоем стали, находящемся в жидком, вязком и пластичном состояниях. Эффект снижения режущей способности круга обусловлен не переносом продуктов износа стали на поверхность композиционного материала (так называемое «засаливание» режущей кромки) и не реализуется при резании стали инструментом, оснащенным гранулами поликристаллического алмаза. Постепенное снижение режущей способности алмазного круга делает возможным создание специализированного инструмента для резания стали.

Досліджено процеси різання сталі алмазним і абразивним кругом. Встановлено, що зниження різальної здатності алмазних кругів з гранулами з полікристалів синтетичного алмазу п'ять час обробки сталі відбувається через переважне зношування гранул, при цьому швидкість зношування гранул перевищує швидкість зношування зв'язки. Зношування гранули з полікристалічного алмаза відбувається за специфічним механізмом, який реалізується в умовах фрикційної взаємодії з приповерхневим шаром сталі, який знаходиться в рідкому, в'язкому і пластичному станах.

Ключові слова: алмазний круг, сегментний круг, поверхні зношування, алмазоабразивні композиційні матеріали, фрикційна взаємодія, полікристалічний алмаз

A. M. Kuzei¹, V. E. Babich^{1, 2}

*Physico-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus
University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus*

THE IMPACT OF FRICTIONAL INTERACTION WHEN CUTTING BECAME THE DIAMOND WHEEL ON WEAR OF POLYCRYSTALS OF DIAMOND

Processes of cutting of steel details by diamond and abrasive circles are investigated. It is established that decrease in the cutting ability of diamond wheels with granules from polycrystals of synthetic diamond at metal working happens because of primary wear of granules, at the same time the speed of wear of granules exceeds the speed of wear of a sheaf. The wear of a granule comes from polycrystalline diamond on the specific mechanism which is implemented in the conditions of frictional interaction with a near-surface steel layer being in liquid, viscous and plastic states.

Key words: *diamond wheel, segment wheel, wear surfaces, diamond abrasive composite materials, frictional interaction, polycrystalline diamond*

Литература

1. Янюшкин А. С., Архипов П. В., Торопов В. А. Механизм процесса засаливания шлифовальных кругов // Вестник машиностроения. – 2009. – № 3. – С. 62 – 69.
2. Лавриненко В. И., Солод В. Ю. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки: монография – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
3. Носенко, В. А. Влияние контактных процессов на износ круга при шлифовании // Инструмент и технологии. – 2004. – № 17–18. – С. 162–167.
4. Ящерицын П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.
5. Жадановский Б. В., Синенко С. А., Кужин М. Ф. Опыт работы специализированных подразделений по механической обработке неметаллических строительных материалов из железобетона // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – № 3 (81). – С. 35–40.
6. Бокучава Г. В., Кутелия Э. Р., Турманидзе Р. С. Исследование поверхности износа монокристалла алмаза при шлифовании металло-керамических твердых сплавов. // Сообщ. АН ГССР. – 1981. – 104. – 2. – С. 429-432.
7. Алиханян Э. С. К определению характера износа профильных кругов // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1983. – Вып. 3. – С. 7–8.
8. Круглов Г. А., Тарасевич И. К. Пути интенсификации обработки алмазов // Синтетические алмазы – ключ к техническому прогрессу. – К.: Наук. думка, 1977. – С. 132–136.
9. Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем: в 4-х т. Т. 1 – М: Физматгиз, 1959. – 755 с.

Поступила 03.07.19

References

1. Yanyushkin, A.S., Arkhipov, P.V., & Toropov, V. A. (2009). Mekhanizm protsessa zasalivaniia shlifovalnykh krugov [The mechanism of the smearing grinding wheels]. Vestnik mashinostroyeniya – Mechanical Engineering Bulletin, 3, 62–69.
2. Lavrinenko, V. I., & Solod V.Yu. (2016). Instrumenty iz sverkhtverdykh materialov v tekhnologiiakh abrazivnoi i fiziko-tekhnicheskoi obrabotki: monografiia [Tools from superhard materials in technologies of abrasive and physicotchnical processing: monograph]. Kamenskoye: DGTU [in Russian].
3. Nosenko, V. A. (2004). Vliianie kontaktnykh protsessov na iznos kruga pri shlifovanii [Influence of contact processes on grinding wheel wear]. Instrument i tekhnologii – Tool and technology, 17-18, 162–167 [in Russian].

4. Yashcheritsyn, P. I. (1990). Teoriya rezaniya. Fizicheskie i teplovye protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh [Cutting theory. Physical and thermal processes in technological systems]. Minsk.: Vyshcha. shkola [in Russian].
5. Zhadanovskiy, B. V., Sinenko, S. A., & Kuzhin M. F. (2018). Opyt raboty spetsializirovannykh podrazdeleniy po mekhanicheskoi obrabotke nemetallicheskih stroitelnykh materialov iz zhelezobetona [Experience of specialized subdivisions for the machining of non-metallic building materials from reinforced concrete]. Nauka i biznes: puti razvitiya – Science and business: ways of development, 3 (81), 35–40 [in Russian].
6. Bokuchava, G. V., Kuteliya, E. R., & Turmanidze, R. S. (1981). Issledovanie poverkhnosti iznosa monokristalla almaza pri shlifovanii metallo-keramicheskikh tverdykh splavov [Investigation of the wear surface of a diamond single crystal when grinding metal-ceramic hard alloys]. Soobshcheniia AN GSSR – Messages of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, 104, 2, 429–432 [in Russian].
7. Alikhanyan, E. S. (1983). K opredeleniyu kharaktera iznosa profilnykh krugov [To the definition the nature of wear of profile circles]. Almazy i sverkhтвердые материалы – Diamonds and superhard materials, 3, 7–8 [in Russian].
8. Kruglov, & G. A., Tarasevich, I. K. (1977). Puti intensivatsii obrabotki almazov [Ways to intensify diamond processing] Sinteticheskie almazy – kliuch k tekhnicheskomu progressu – Synthetic diamonds – the key to technical progress. P, Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
9. Vol, A.E. (1959). Stroenie i svoystva metallicheskih sistem [The structure and properties of dual metal systems]. V.I. Ageev N. V. (Ed.). (Vols 1–4). Moskva: Fizmatgiz [in Russian].

УДК 547.022.1

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-342-350

А. П. Возняковский¹, И. В. Шугалей², доктора химических наук; **И. И. Новикова**, д-р биол. наук³, **И. В. Бойкова**, канд. биол. наук³, **А. Ю. Неверовская**, канд. хим. наук¹, **А. А. Возняковский**, мл. н. сотр.⁴, **А. Д. Лапшина**, магистрант²

¹ФГУП «НИИ синтетического каучука им. С.В. Лебедева». Гапсальская ул. 1. Санкт-Петербург, Россия, 198035, E-mail: arvozni@gmail.com

²Санкт-Петербургский Государственный технологический институт (Технический университет). Московский просп. 26. Санкт-Петербург, Россия, 190013, E-mail: shugalei@mail.ru

³Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАН, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3, Россия, 196608, E-mail: irina_novikova@inbox.ru

⁴Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Политехническая ул., 26, Санкт-Петербург, Россия, 194021, E-mail: alexey_inform@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 2D-ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР РАЗЛИЧНОЙ ПРЕДЫСТОРИИ В БИОПРЕПАРАТАХ

Карбонизацией природного полимера (лигнина) получены 2D графеновые структуры. Комплексом взаимодополняющих методов исследования (Рамановская спектроскопия, дифрактометрия, электронная микроскопия) показано, что по своим морфометрическим параметрам полученный карбонизированный материал соответствует многослойному графену