

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ИМПРЕГНИРОВАННЫМ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ, ВЫДЕЛЯЮЩИМ АКТИВНЫЕ ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ

© 2018 В.А. Носенко, А.А. Крутикова

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский, Россия

Аннотация: проведены исследования материалов из класса газообразователей, способных при термическом воздействии выделять галогены и халькогены. Возможность разложения анализировали по результатам дериватографических исследований в интервале температур от комнатной до 1000 °С. Определены изменения массы и энтальпии веществ. По результатам дериватографии выбраны следующие соединения: гексахлорпаракилол, тетраметилтиурамдисульфид и дитиодиморфоллин. Методом газового анализа среды в зоне шлифования подтверждено выделение газообразных продуктов из групп галогенов и халькогенов. Контролировали концентрации хлора и сернистого газа в зоне резания при работе без охлаждения при шлифовании титанового сплава ВТ6 и стали ШХ15. Установлено, что количество хлора и сернистого газа возрастает с увеличением глубины шлифования. Экспериментальные исследования проведены. Разработаны составы для импрегнирования абразивных инструментов, новизна которых подтверждена патентами. Применение рекомендованных составов при шлифовании стали ШХ15 и титанового сплава ВТ6 кругами из электрокорунда и карбида кремния обеспечивает снижение составляющих силы резания, износа абразивного инструмента и шероховатости обработанной поверхности

Ключевые слова: шлифование, импрегнатор, дериватографический анализ, газовый анализ, шероховатость поверхности, коэффициент шлифования

Введение

Импрегнирование оказывает положительное влияние практически на все показатели процесса шлифования: остаточные напряжения и шероховатость обработанной поверхности, режущую способность, износ и стойкость абразивного инструмента [1-3].

В качестве импрегнаторов достаточно широко используются органические соединения элементов IV-VII групп Периодической системы химических элементов [1,4,5]. Наиболее активными являются элементы VII (галогены) и VI (халькогены) групп Периодической системы.

Важным резервом повышения эффективности СОТС является их проникающая способность. В связи с этим в последнее время особое внимание уделяется газовым СОТС, обладающим высокой проникающей способностью [6].

В связи с этим в импрегнировании абразивных инструментов появилось новое направление – использование в качестве импрегнаторов специальной группы веществ (порофоров), способных выделять при термическом разложении большое количество газообразных продуктов [7, 8].

Постановка цели

На основе порофоров, выделяющих при термическом разложении азот, разработаны специальные составы для импрегнирования абразивного инструмента [9, 10]. Применение шлифовальных кругов, импрегнированных порофором, на операции обработки колец подшипников обеспечивает снижение силы резания и износа абразивного инструмента в 1,5 раза [11].

Основной причиной плохой обрабатываемости адгезионно активных металлов является налипание металла на вершины зерен шлифовального круга [12, 13]. Большие трудности возникают при обработке адгезионно-активных сплавов на основе титана [14-16], особенно без применения СОЖ [17]. В таких условиях одним из основных направлений повышения эффективности процесса шлифования является введение в зону контакта специальной среды, взаимодействие которой с активированной поверхностью металла препятствует его взаимодействию с абразивным материалом.

В связи с этим цель данной работы заключалась в повышении эффективности шлифования путем использования в качестве

импрегнаторов специальных веществ, способных выделять при термическом разложении в зоне резания газовые продукты с химически активными элементами

Методы исследования

К числу наиболее активных элементов из группы галогенов относится хлор. Поэтому при выборе импрегнатора рассматривали хлорсодержащие соединения.

Из халькогенов наибольшее распространение получила сера.

Импрегнирование чаще всего производится расплавом серы. При шлифовании в результате температуры резания сера переходит в пастообразное состояние. Поэтому необходимо рассмотреть соединения, способные выделять при термическом разложении серосодержащие газы.

Требования, предъявляемые к импрегнаторам:

1) содержание активных химических элементов в составе вещества;

2) способность при термическом разложении выделять большое количество газообразных газов, содержащих активные компоненты;

3) температура начала термического разложения веществ должна соответствовать минимальной средней контактной температуре в зоне шлифования;

4) выделение газов должно происходить на протяжении всего периода обработки;

5) способность веществ растворяться в недорогих и летучих растворителях;

6) нерастворимость в воде.

Так как неорганические соединения в своем большинстве водорастворимы, импрегнатор подбирали из различных органических соединений.

По результатам дериватографических исследований рекомендованы следующие вещества: гексахлорпарахлорид $C_8H_4Cl_6$, тетраметилтиурамдисульфид $C_6H_{12}N_2S_4$ и дитиодиморфолин $C_8H_{16}N_2O_2S_2$ [18, 19]. Установлено, что при разложении выбранных соединений при температуре 150-180 °C начинается интенсивное газообразование. Основным газом при разложении гексахлорпарахлорида (ГХК) является Cl_2 . При разложении тетраметилтиурамдисульфида (TMTD) и дитиодиморфолина (DTDM) выделяется SO_2 .

Методом газового анализа среды непосредственно в зоне шлифования подтверждено выделение предполагаемых активных газовых сред на протяжении всего периода обработки. Исследовали зависимость концентрации газов от подачи при обработке кругами из электрокорунда и карбида кремния зеленого. Обработывали, соответственно, сталь ШХ15 и титановый сплав ВТ6. Установлено, что с ростом подачи на глубину количество выделяемых активных газовых продуктов возрастает [20, 21].

Эксплуатационные показатели абразивных инструментов исследовали на операции плоского врезного шлифования стали ШХ15 на прецизионном профилешлифовальном станке с ЧПУ CHEVALIER модели Smart-B1224III. Характеристика базового абразивного инструмента – 25AF60K7V, 64CF60K7V. Импрегнирование шлифовального круга осуществляли раствором веществ методом свободного капиллярного поднятия с последующей сушкой на воздухе. Для увеличения смазочного эффекта в состав некоторых композиций вводили дисульфид молибдена.

Режимы резания при шлифовании стали ШХ15: скорость круга $v = 30$ м/с; скорость подачи стола $v_s = 12$ м/мин; подача на глубину – 0,005; 0,01 и 0,015 мм/ход. Выбранные импрегнаторы не растворяются в воде, поэтому испытания проведены с использованием СОЖ на водной основе (Авазол, концентрация 3%).

Режимы резания при шлифовании титанового сплава ВТ6: $v = 30$ м/с; $v_s = 12$ м/мин; подача 0,005 и 0,01 мм/ход с охлаждением раствором соды (0,3%). На подаче 0,005 мм/ход испытания проведены и без использования СОЖ.

В качестве основных эксплуатационных показателей процесса приняты составляющие силы резания P_y и P_z , коэффициент шлифования K_g , шероховатость обработанной поверхности R_a .

Составляющие силы резания исследовали с использованием измерительного комплекса Amti MC36-1000UP и специального программного обеспечения. Шероховатость обработанной поверхности измеряли непосредственно в рабочей зоне станка профилографом-профилометром Сейтроник в 20 сечениях по длине образца. Износ круга и съем металла измеряли индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Результаты

При шлифовании с подачей 0,005 мм/ход стали ШХ15 импрегнированными кругами по сравнению с базовыми составляющие силы резания уменьшаются на 7-27 %. Наибольшее снижение наблюдается при шлифовании кругом, импрегнированным ГХК (рис. 1): P_z и P_y снижаются на 26-27 %.

С увеличением подачи в два раза при шлифовании базовым кругом составляющая силы резания P_z возросла в 1,3 раза и P_y – в 1,4 раза. При шлифовании импрегнированными кругами P_z возросла в среднем 1,5 раза и P_y – в 1,4 раза. Наибольшее влияние на тангенциальную составляющую оказал импрегнатор ГХК+ MoS_2 . По сравнению с базовым кругом P_z снижается на 27 % (рис. 2). Наибольшее снижение радиальной составляющей (около 30 %) наблюдается при шлифовании кругами, импрегнированными DTDM и ГХК+ MoS_2 .

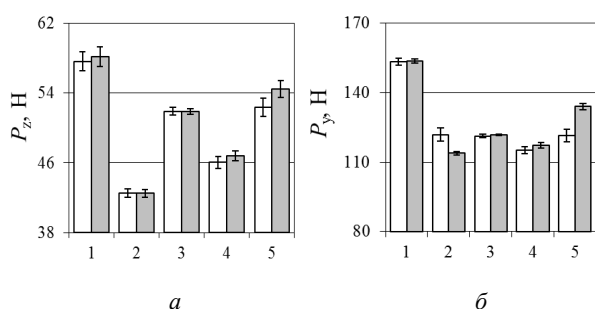


Рис. 1. Средние значения составляющих силы шлифования P_z (а) и P_y (б) на подаче 0,005 мм/ход при шлифовании базовым кругом (1) и кругами, импрегнированными ГХК (2), ГХК+ MoS_2 (3), DTDM (4), TMTD (5): □ – среднее за период шлифования; ■ – среднее на установившемся этапе

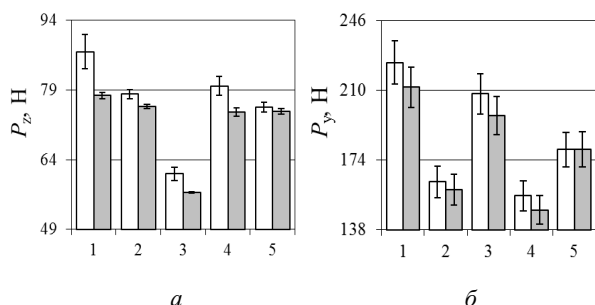


Рис. 2. Средние значения составляющих силы шлифования P_z (а) и P_y (б) на подаче 0,01 мм/ход при шлифовании базовым кругом (1) и импрегнированными ГХК (2), ГХК+ MoS_2 (3), DTDM (4), TMTD (5): □ – среднее за период шлифования; ■ – среднее на установившемся этапе

С увеличением подачи в 3 раза до 0,015 мм/ход наименьшие значения составляющих силы резания получены при шлифовании кругами, импрегнированными DTDM и ГХК (рис.3). По сравнению с базовым кругом составляющая P_z снижена на 21-25 %, P_y – на 37-39 %.

Применение разработанных импрегнаторов приводит к снижению шероховатости поверхности на всех режимах при шлифовании стали ШХ15 [22]. На чистовом режиме обработки с подачей 0,005 мм/ход круг, импрегнированный ГХК+ MoS_2 , снижает R_a по сравнению с базовым кругом 28 %, остальные импрегнаторы – на 16-25% (рис. 4, а).

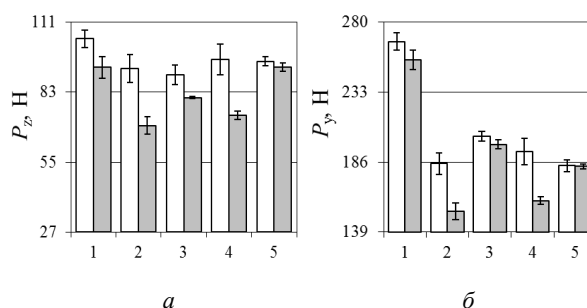


Рис. 3. Средние значения составляющих силы шлифования P_z (а) и P_y (б) на подаче 0,015 мм/ход при шлифовании базовым кругом (1) и импрегнированными ГХК (2), ГХК+ MoS_2 (3), DTDM (4), TMTD (5): □ – среднее по всем ходам; ■ – среднее по ходам на установившемся этапе

При шлифовании с подачей 0,01 мм/ход (рис.4, б) наибольшее снижение шероховатости поверхности также обеспечивает круг, импрегнированный ГХК+ MoS_2 – почти на 36 % по сравнению с базовым. Остальные импрегнаторы снижают шероховатость обработанной поверхности в среднем на 20 %. На черновом режиме шлифования с подачей 0,015 мм/ход (рис. 4, в) наибольший эффект достигнут кругом, импрегнированным DTDM, R_a снижается на 34 %. Остальные импрегнаторы снижают шероховатость поверхности на 15-27%.

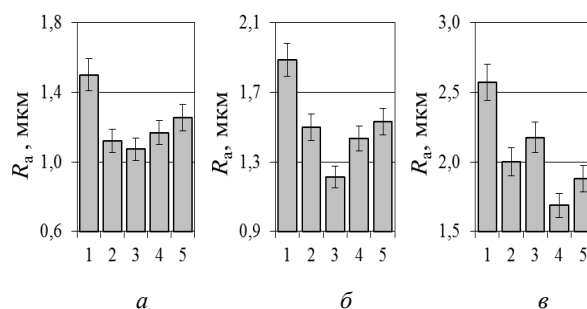


Рис. 4. Шероховатость поверхности R_a на подачах 0,005 мм/ход (а), 0,01 мм/ход (б) и 0,015 мм/ход (в): ГХК (2), ГХК+ MoS_2 (3), DTDM (4), TMTD (5)

Наибольшее влияние на коэффициент шлифования при обработке с подачей 0,005 мм/ход из импрегнаторов оказывает ГХК+ MoS_2 : K_g по сравнению с базовым кругом возрастает на 36 % (рис. 5, а). При шлифовании кругом, импрегнированным ГХК, коэффициент шлифования увеличивается на 31 %. Импрегнаторы *TMTD* и *DTDM* оказывают приблизительно одинаковое влияние на K_g , увеличение его составляет около 23 %.

С увеличением подачи в 2 раза наибольшее значение K_g обеспечивают круги 3 (ГХК+ MoS_2) и 4 (*DTDM*), увеличение коэффициента шлифования по сравнению с базовым кругом достигает 37-38% (рис. 5, б). Круги 2 (ГХК) и 4 (*TMTD*) K_g шлифования по сравнению с базовым на 33-25 %. При обработке с подачей 0,015 мм/ход импрегнаторы оказывают приблизительно одинаковое влияние на K_g (рис. 5, в). По сравнению с базовым кругом K_g возрастает почти на 35%.

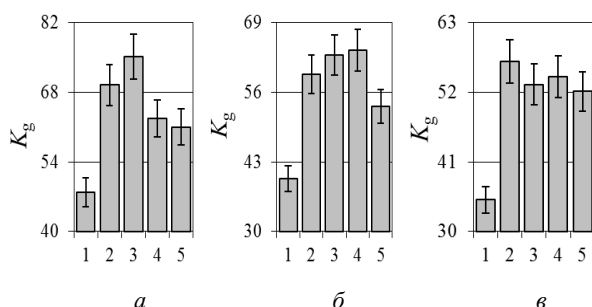


Рис. 5. Коэффициент шлифования K_g на подачах 0,005 мм/ход (а), 0,01 мм/ход (б) и 0,015 мм/ход (в): ГХК (2), ГХК+ MoS_2 (3), *DTDM* (4), *TMTD* (5)

Применение импрегнаторов на всех рассмотренных режимах обеспечивает увеличение коэффициента шлифования в среднем на 35 %.

При обработке титанового сплава наиболее эффективным импрегнатором является ГХК [19, 21] и ГХК в смеси с дисульфидом молибдена. При шлифовании без СОЖ с подачей на глубину 0,005 мм/ход по сравнению с базовым кругом коэффициент шлифования возрастает почти на 42-55 % и на 23-46 % снижается параметр R_a шероховатости обработанной поверхности. При шлифовании с охлаждением на тех же режимах использование кругов, импрегнированных ГХК, снижает шероховатость обработанной поверхности по сравнению с базовым абразивным

инструментом почти на 30 %, коэффициент шлифования возрастает на 45 %

Выводы

Применение инструмента, импрегнированного галогенообразующими импрегнаторами, при шлифовании стали ШХ15 позволило снизить составляющие силы резания на 25-40 %, параметр шероховатости обработанной поверхности R_a – на 15-36 %, коэффициент шлифования увеличился в среднем на 35 %.

При обработке кругами, пропитанными халькогенообразующими импрегнаторами, радиальная составляющая силы P_y снижается в среднем на 20-30 %, шероховатость поверхности уменьшается на 16-34. Коэффициент шлифования возрастает на 30 % по сравнению с обычным абразивным инструментом.

Применение ГХК рекомендовано при обработке стали ШХ15 на чистовых режимах, а при обработке ВТ6 на операциях без применения СОЖ.

TMTD рекомендован для черновых режимов при обработке ШХ15 и ВТ6. *DTDM* при обработке ВТ6 рекомендован для чистовых режимов на операциях без применения СОЖ, и при обработке ШХ15 - для черновых режимов.

Литература

1. Островский В.И. Импрегнированный абразивный инструмент. М.: НИИМаш, 1983. 72с.
2. Никитин А.В. Шлифование трудно-обрабатываемых материалов импрегнированными кругами как способ повышения их режущих свойств // Инструмент и технологии. 2010. № 28. С. 52-58.
3. Nadolny K., Sienicki W., Wojtowicz M. The effect upon the grinding wheel active surface condition when impregnating with non-metallic elements during internal cylindrical grinding of titanium // Archives of civil and mechanical engineering . 2015. № 15. P. 71-86.
4. Чурилин А.В., Жуков Н.П. Импрегнирование инструмента с целью повышения энергоэффективности абразивной обработки // Достижения вузовской науки. 2013. № 6. С. 127-131.
5. Носенко В.А., Митрофанов А.П., Бутов Г.М. Исследование применения импрегнаторов из класса порофоров для пропитки абразивного инструмента // СТИН. 2011. № 8. С. 35-40.
6. Кириллов А.К. Качество обработанной поверхности детали при использовании системы экологически чистого резания // Вестник МГТУ Станкин. 2011. № 3. С. 70-73.
7. Носенко В.А., Митрофанов А.П. Исследование и применение азодикарбонамида для импрегнирования

абразивного инструмента // Физика, химия и механика трибосистем. 2010. № 9. С. 145-149.

8. Носенко В.А., Митрофанов А.П., Наумов А.Г. Модель химического взаимодействия импрегнаторов абразивного инструмента с обрабатываемым металлом // СТИН. 2014. № 3. С. 12-15.

9. Пат. 2443538 РФ, МПК В 24 D 3/34. Состав для пропитки абразивного инструмента / А.П. Митрофанов, В.А. Носенко, Г.М. Бутов; ВолГТУ. 2012.

10. Пат. 2440886 РФ, МПК В 24 D 3/34. Состав для пропитки абразивного инструмента / А.П. Митрофанов, В.А. Носенко, Г.М. Бутов; ВолГТУ. 2012.

11. Носенко В.А., Митрофанов А.П., Бутов Г.М. Повышение эффективности шлифования колец подшипников импрегнированием абразивного инструмента // Изв. ВолГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". 2011. Т. 7. № 13. С. 34-36.

12. Носенко В.А., Митрофанов А.П. Повышение эффективности процесса шлифования с использованием импрегнирования абразивного инструмента // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 11. С. 9-14.

13. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. Ульяновск: УлГТУ, 299 с.

14. Носенко В.А. Шлифование адгезионно-активных металлов. М.: Машиностроение, 2000. 167 с.

15. Попутное и встречное глубинное шлифование поверхности неполного цикла с периодической правкой круга / В.А. Носенко, В.К. Жуков, А.А. Васильев, С.В. Носенко // Вестник машиностроения. 2008. № 5. С. 44-50.

16. Носенко В.А., Носенко С.В. Попутное и встречное глубинное шлифование титанового сплава с непрерывной правкой круга // Вестник машиностроения. 2010. № 11. С. 57-61.

17. Исследование химического состава поверхностного слоя титанового сплава при шлифовании его кругом из карбида кремния без использования СОТС /

С.В. Носенко, В.А. Носенко, А.А. Крутикова, Л.Л. Кременецкий // СТИН. 2015. № 1. С. 26-29.

18. Носенко В.А., Крутикова А.А., Кравцова И.С. Исследование процесса термического разложения ускорителей вулканизации в смеси с порошком железа [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования: электрон. науч. журнал РАЕ. 2014. № 2. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/116-12797>.

19. Носенко В.А., Митрофанов А.П., Крутикова А.А. Повышение эффективности шлифования с использованием галогенообразующего импрегнатора // Известия вузов. Машиностроение. 2015. № 8. С. 65-72.

20. Носенко В.А., Крутикова А.А., Синьков А.В. Статистический анализ концентрации хлора вблизи зоны резания при шлифовании импрегнированным абразивным инструментом [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования: электрон. науч. журнал. 2013. № 4. С. 1-9. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/110-9970>.

21. Носенко В.А., Крутикова А.А., Сидякин Ю.И. Повышение эффективности шлифования с использованием импрегнаторов, выделяющих в зоне резания активные газовые среды // Известия ВолГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. 2017. № 12 (207). С. 28-31.

22. Влияние импрегнирования на шероховатость поверхности при шлифовании подшипниковой стали / Л.К. Морозова, А.А. Крутикова, Д.С. Ушакова, О.Ю. Рошупко // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 6 (60). Ч. 3. С. 158-160.

23. Пат. 2595790 Российская Федерация, МПК В24D3/34. Состав для пропитки абразивного инструмента / В.А. Носенко, А.А. Крутикова, О.М. Новопольцева, А.П. Митрофанов; ВолГТУ. 2016.

24. Пат. 2532615 РФ, МПК В24D3/34. Состав для пропитки абразивного инструмента / А.А. Крутикова, В.А. Носенко, О.М. Новопольцева, А.П. Митрофанов; ВолГТУ. 2014.

Поступила 08.02.2018; принята к публикации 26.03.2018

Информация об авторах

Носенко Владимир Андреевич – д-р техн. наук, профессор, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волгоградская обл., г. Волжский, ул. Энгельса, 42а), e-mail: nosenko@volpi.ru

Крутикова Анастасия Алексеевна – старший преподаватель, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волгоградская обл., г. Волжский, ул. Энгельса, 42а), e-mail: krutikova_vpi@mail.ru

INCREASING THE GRINDING EFFICIENCY VIA IMPREGNATED ABRASIVE TOOLS RELEASING ACTIVE GAS MEDIA

V.A. Nosenko, A.A. Krutikova

Volzhskiy Polytechnical Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhskiy,
Russia

Abstract: studies of materials of the gassing agent class, capable of releasing halogens and chalcogens under thermal action, were carried out. The possibility of decomposition was analyzed basing on the results of derivational studies in the

temperature range from room temperature to 1000 °C. The changes in mass and enthalpy of substances were determined. Based on the results of derivatography, the following compounds were chosen: hexachloroparaxylene, tetramethylthiuram disulfide and dithiodimorpholine. The gas analysis of the medium in the grinding zone confirmed the release of gaseous products relating to the of halogens and chalcogenes groups. The concentrations of chlorine and sulfur dioxide in the cutting zone were monitored during operation without cooling during grinding of the titanium alloy VT6 and the steel ShH15. It was established that the amount of chlorine and sulfur dioxide increases with the depth of grinding. Experimental studies were carried out. The compositions for the impregnation of abrasive tools were developed, the novelty of which was confirmed by the patents. The use of recommended compositions for grinding the steel ShH15 and the titanium alloy VT6 with grinding wheels of electrocorundum and silicon carbide provides a reduction in the components of cutting force, wear of the abrasive tool and roughness of the treated surface

Key words: grinding, impregnator, derivatographic analysis, gas analysis, surface roughness, grinding coefficient

References

1. Ostrovskiy V. I. "Impregnated abrasive tools" ("Impregnirovannyi abrazivnyy instrument"), Moscow, NIIMash, 1983, 72 p.
2. Nikitin A.V. "Grinding of hard-to-work materials with impregnated wheels as a way to increase their cutting properties", *Tools and technologies (Instrument i tekhnologii)*, 2010, no. 28, pp. 52-58.
3. Nadolny K., Sienicki W., Wojtewicz M. "The effect upon the grinding wheel active surface condition when impregnating with non-metallic elements during internal cylindrical grinding of titanium", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2015, no. 15, pp. 71-86.
4. Churilin A.V., Zhukov N.P. "Impregnation of the tool to improve the energy efficiency of abrasive processing", *Achievements of high school science (Dostizheniya vuzovskoy nauki)*, 2013, no. 6, pp. 127-131.
5. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Butov G.M. "Impregnation of abrasive tools with foaming agents", *STIN*, 2011, no. 8, pp. 35-40.
6. Kirillov A.K. "The quality of the machined part surface when using an environmentally friendly cutting system", *The bulletin of Moscow State Technical University. Stankin (Vestnik MGTU Stankin)*, 2011, no. 3, pp. 70-73.
7. Nosenko V.A. Mitrofanov A.P. "Research and application of azodicarbonamide for the impregnation of an abrasive tool", *Physics, Chemistry and Mechanics of Tribosystems (Fizika, Khimiya i Mekhanika Tribosistem)*, 2010, no. 9, pp. 145-149.
8. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Naumov A.G. "Model of chemical interaction of impregnators of an abrasive tool with a work metal", *STIN*, 2014, no. 3, pp. 12-15.
9. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Butov G.M. "A composition for impregnation of abrasive tools" ("Sostav dlya propitki abrazivnogo instrumenta"), Patent 2443538, VolgSTU, 2012.
10. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Butov G.M. "A composition for impregnation of abrasive tools" ("Sostav dlya propitki abrazivnogo instrumenta"), Patent 2440886, VolgSTU, 2012.
11. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Butov G.M. "Improving the efficiency of grinding bearing rings by impregnating an abrasive tool", *The bulletin of Volgograd State Technical University, A series "Progressive technologies in mechanical engineering", Issue 7: interuniversity collected articles (Izv. VolgGTU, Seriya "Progressivnyye tekhnologii v mashinostroyenii", Vyp. 7: mezhvuz. sb. nauch. st.)*, Volgograd, 2011, no. 13, pp. 34-36.
12. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P. "Improving the efficiency of the grinding process with impregnation of an abrasive tool", *High technology in engineering (Naukovomkiye tekhnologii v mashinostroyenii)*, 2012, no. 11, pp. 9-14.
13. Khudobin L. V., Unyanin A. N. "Minimization of the glazing of grinding wheels" ("Minimizatsiya zasalivaniya shlifoval'nykh krugov"), Ul'yanovsk, UISTU, 299 p.
14. Nosenko V.A. "Grinding of adhesion active metals" ("Shlifovanie adgezionno-aktivnykh metallov"), Moscow, Mashinostroenie, 2000, 167 p.
15. Nosenko V.A., Zhukov V.K., Vasil'ev A.A., Nosenko S.V. "Down and up deep grinding of the surface of an incomplete cycle with periodic correction of the wheel", *The bulletin of Mechanical Engineering (Vestnik mashinostroyeniya)*, 2008, no. 5, pp. 44-50.
16. Nosenko V. A., Nosenko S. V. "Down and up deep grinding of titanium alloy with continuous wheel correction", *The bulletin of Mechanical Engineering (Vestnik mashinostroyeniya)*, 2010, no. 11, pp. 57-61.
17. Nosenko S. V., Nosenko V. A., Krutikova A. A., Kremenetskiy L. L. "Investigation of the chemical composition of the surface layer of a titanium alloy when grinding with a wheel of silicon carbide without the use of lubricant-cooling agents", *STIN*, 2015, no. 1, pp. 26-29.
18. Nosenko V.A., Krutikova A.A., Kravtsova I.S. "Investigation of the process of thermal decomposition of vulcanization accelerators in a mixture with iron powder" ("Issledovanie protsessa termicheskogo razlozheniya uskoriteley vulkanizatsii v smesi s poroshkom zheleza"), *Modern problems of science and education: electron. sci. journal (Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya : elektron. nauch. zhurnal / RAE)*, 2014, no. 2, available at: <http://www.science-education.ru/116-12797>.
19. Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Krutikova A.A. "Improving grinding efficiency using a halogen-forming impregnator", *Proceedings of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering (Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye)*, 2015, no. 8, pp. 65-72.
20. Nosenko V.A., Krutikova A.A., Sin'kov A.V. "Statistical analysis of chlorine concentration near the cutting zone when grinding with an impregnated abrasive tool" ("Statisticheskiy analiz kontsentratsii khloro vblizi zony rezaniya pri shlifovanii impregnirovannyim abrazivnym instrumentom"), *Modern problems of science and education: electron. sci. Journal (Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya : elektron. nauch. zhurnal)*, 2013, no. 4, pp. 1-9, available at: <http://www.science-education.ru/110-9970>.

21. Nosenko V.A., Krutikova A.A., Sidyakin Yu.I. "Improving grinding efficiency with the use of impregnators, which release active gas media in the cutting zone", *The bulletin of VolgSTU. Ser. Progressive technologies in mechanical engineering (Izvestiya VolgGTU. Ser. Progressivnye tekhnologii v mashinostroyenii)*, Volgograd, 2017, no. 12 (207), pp. 28-31.
22. Morozova L.K., Krutikova A.A., Ushakova D.S., Roshchupko O.Yu. "Impact of impregnation on the surface roughness during grinding of bearing steel", *International Scientific and Research Journal*, 2017, no. 6 (60), part 3, pp. 158-160.
23. Krutikova A.A., Nosenko V.A., Novopol'tseva O.M., Mitrofanov A.P. "A composition for impregnation of abrasive tools" ("Sostav dlya propitki abrazivnogo instrumenta"), Patent 2532615, VolgSTU, 2014.
24. Nosenko V.A., Krutikova A.A., Novopol'tseva O.M., Mitrofanov A.P. "A composition for impregnation of abrasive tools" ("Sostav dlya propitki abrazivnogo instrumenta"), Patent 2595790, VolgSTU, 2016.

Submitted 08.02.2018; revised 26.03.2018

Information about the authors

Vladimir A. Nosenko, Dr. Sc. (Technical), Professor, Volzhskiy Polytechnical Institute, the branch of Volgograd State Technical University (42a Engels str., Volzhskiy 404121, Volgograd region, Russia), e-mail: nosenko@volpi.ru
Anastasia A. Krutikova, Assistant Professor, Volzhskiy Polytechnical Institute, the branch of Volgograd State Technical University (42a Engels str., Volzhskiy 404121, Volgograd region, Russia), e-mail: krutikova_vpi@mail.ru