

УДК 621.923

Повышение эффективности шлифования с использованием галогенообразующего импрегнатора

В.А. Носенко, А.П. Митрофанов, А.А. Крутикова

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», 404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а

Improving the Efficiency of Grinding Using a Halogen Generating Impregnator

V.A. Nosenko, A.P. Mitrofanov, A.A. Krutikova

Volzhsky Polytechnical Institute (Branch) Volgogradsky State Technical University, 404121, Volzhsky, Volgograd region, Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a



e-mail: nosenko@volpi.ru, greenmap@yandex.ru, krutikova_vpi@mail.ru



В качестве импрегнатора абразивного инструмента предложено использовать ароматическое хлорсодержащее соединение — гексахлорпарахлорид. По результатам дериватографических исследований дана оценка термодинамических и химических свойств гексахлорпарахлорида. Методом газового анализа среды в зоне резания подтверждено выделение реакционно-способных галогеносодержащих соединений, количество которых возрастает с увеличением глубины шлифования. Наибольшая эффективность абразивного инструмента, импрегнированного гексахлорпарахлоридом, обеспечивается при шлифовании без смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) с подачей на глубину 0,005 мм/ход стола СОЖ: коэффициент шлифования увеличивается более чем на 40 %, на 30 % снижается параметр шероховатости R_a обработанной поверхности. При шлифовании с охлаждением на тех же режимах использование кругов, импрегнированных гексахлорпарахлоридом, существенно повышает стабильность процесса и снижает шероховатость обработанной поверхности по сравнению с базовым абразивным инструментом.

Ключевые слова: шлифование, абразивный инструмент, импрегнатор, титановый сплав, концентрация хлора, силы шлифования, шероховатость поверхности, коэффициент шлифования.



It is proposed to use hexachlorparaxilolum, an aromatic chlorine compound, as an abrasive tool impregnator. The thermodynamic and chemical properties of hexachlorparaxilolum are evaluated based on the results of derivatographic investigations. The release of reactive halogen compounds is determined by means of a gas analysis of the medium in the grinding zone. The amount of the released compounds increases with the increase of the grinding depth. The abrasive tools impregnated by hexachlorparaxilolum reach their maximum efficiency when grinding without lubricant and coolant fluid at the supply depth of 0.005 mm/pass; the grinding ratio increases by more than 40% while the finished surface roughness parameter R_a decreases by 30%. When grinding under the same conditions but employing cooling, the use of grinding wheels impregnated with hexachlorparaxilolum significantly improves stability of the process and reduces roughness of the finished surface compared to conventional abrasive tools.

Keywords: grinding, abrasive tool, impregnator, titanium alloy, chlorine concentration, grinding force, surface roughness, grinding ratio.

Шлифование относится к числу прогрессивных методов обработки металлов резанием и обеспечивает получение требуемого качества обработанной поверхности при высокой производительности процесса. При разработке нового или совершенствовании существующего технологического процесса шлифования наибольшие трудности возникают с заготовками, выполненными из сплавов на основе титана. Поскольку из титановых сплавов изготавливают, как правило, наиболее ответственные детали, к качеству поверхности которых предъявляются высокие требования, повышение эффективности шлифования заготовок из титановых сплавов считается актуальной задачей современного машиностроительного производства.

Существует ряд способов повышения эффективности шлифования, одним из которых является импрегнирование абразивного инструмента. В качестве импрегнаторов чаще всего используют серу, парафин, графит, фторированный углерод и различные поверхностно-активные вещества [1–5]. При высокой температуре в зоне шлифования вещества, находящиеся в порах круга, могут переходить в жидкое, пастообразное или газообразное состояние. Эффективность импрегнатора во многом определяется продуктами его распада, их проникающей способностью и активностью взаимодействия с обрабатываемым материалом. Газовая фаза отличается высокой подвижностью, поэтому в качестве импрегнаторов предложено использовать новый класс веществ — газообразователи [6–9], эффективность применения которых для операции шлифования доказана [10–12].

Основными компонентами, выделяющимися при термическом разложении газообразователей, являются азот и углекислый газ. Более высокой реакционной способностью при взаимодействии с металлами, особенно с высокой адгезией к абразивному материалу, обладают галогены [13].

Цель данной работы — повышение эффективности шлифования сплавов на основе титана в результате использования импрегнатора, выделяющего при разложении галогеносодержащие соединения в зоне резания.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: исследовано влияние температуры на термодинамические и химические свойства импрегнатора; доказана возможность образования хлора при разложении импрегнатора непосредственно при шлифовании; исследовано влияние импрегнатора на

эксплуатационные свойства абразивного инструмента.

В качестве галогеносодержащего импрегнатора выбран гексахлорпаракилол ($C_8H_4Cl_6$) [14]. Вещество нетоксично, не растворимо в воде, что дает возможность использовать его в качестве компонента для импрегнирования абразивного инструмента при шлифовании, в том числе с использованием СОЖ. Температура плавления данного соединения составляет $110^\circ C$. Основные газовые продукты при разложении — оксид углерода (СО) и хлор (Cl_2) [15]. Содержание хлора в веществе составляет 68 молярных процентов.

Влияния температуры на термодинамические и химические свойства импрегнатора исследовали на дериватографе системы Паулик-Эрдей фирмы МОМ. Определяли изменения массы ТГ и энтальпии ДТА в зависимости от температуры анализируемой пробы. Нагрев вещества осуществляли в платиновых тиглях на воздухе со скоростью 10 град/мин начиная от комнатной температуры до $1\ 000^\circ C$.

Наличие хлора в зоне резания измеряли газоанализатором модели ГАНК-4 с использованием специальной сменной химкассеты [16]. В основе расчета концентрации лежит определение скорости потемнения ленты. Работа газоанализатора осуществляется в автоматическом режиме.

Эксплуатационные показатели абразивных инструментов исследовали на операции плоского врезного шлифования титанового сплава ВТ6 на прецизионном профилешлифовальном станке с ЧПУ CHEVALIER модели Smart-V1224III. Характеристика базового абразивного инструмента — 64CF60K7V. Импрегнирование шлифовального круга осуществляли методом свободного капиллярного поднятия с последующей сушкой на воздухе. Гексахлорпаракилол растворяли в толуоле при температуре $20...30^\circ C$, содержание вещества в растворе 36 %.

Влияние импрегнатора исследовали при шлифовании титанового сплава ВТ6 ($HV\ 10^{-1} = 255...341$ МПа). Сплавы на основе титана относятся к числу наиболее адгезионно активных материалов, поэтому одним из приоритетных направлений повышения эффективности их шлифования является введение в зону резания активной среды, в частности галогенов [17].

Режимы шлифования: скорость круга $v = 30$ м/с; скорость подачи стола $v_s = 12$ м/мин; подача на глубину $t = 0,005$ и $0,01$ мм за проход.

Поскольку импрегнатор в воде не растворяется, испытания проведены в том числе с использованием СОЖ.

В качестве основных критериев приняты: составляющие силы резания P_y и P_z , коэффициент шлифования $K_{ш}$, шероховатость обработанной поверхности Ra .

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 ПШ8-4 С.С. в 20 сечениях по длине образца. Износ круга и съем металла измеряли микронным индикатором. Коэффициент шлифования $K_{ш}$ определяли как отношение объема удаляемого материала к объему изношенного шлифовального круга.

Результаты термографических исследований приведены на рис. 1. Нагревание гексахлорпарахлорола в интервале температур от комнатной до 1 000 °С сопровождается четырьмя фазами разложения. В районе 190...270 °С протекает эндотермическая реакция, в процессе которой разлагается около 65 % вещества. С ростом температуры потеря массы вещества замедляется и при температуре около 500 °С приближается к 95 %. Эта же температура соответствует пику экзотермической реакции. С увеличением температуры до 750 °С процесс разложения гексахлорпарахлорола практически заканчивается и весь исходный продукт превращается в газы. Основная масса газообразных продуктов выделяется в интервале температур 150...270 °С.

Для подтверждения факта разложения импрегнатора непосредственно при шлифовании с выделением хлора исследовали газовый состав воздушной среды. Эксперименты были проведены без применения СОЖ с подачей на глубину 0,005 и 0,010 мм/ход и постоянной продольной скоростью подачи стола 12 м/мин (рис. 2).

При наработке до 150 мм³ существенных различий в концентрации хлора в зависимости от подачи на глубину не установлено. С дальнейшим увеличением наработки содержание хлора на расстоянии 30 мм от зоны резания при шлифовании с подачей 0,005 мм/ход практически не изменяется до наработки около 360 мм², затем наблюдается некоторый рост в среднем до концентрации 0,46 мг/м³. При шлифовании с подачей 0,010 мм/ход начиная с $V = 150$ мм³ наблюдается резкий подъем концентрации хлора почти в 3 раза. В диапазоне наработки

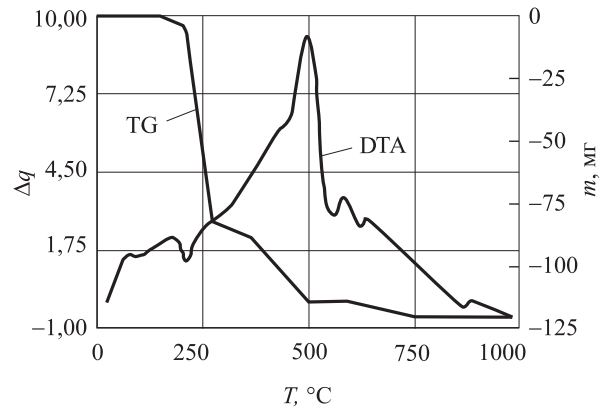


Рис. 1. Термографические исследования порошка гексахлорпарахлорола

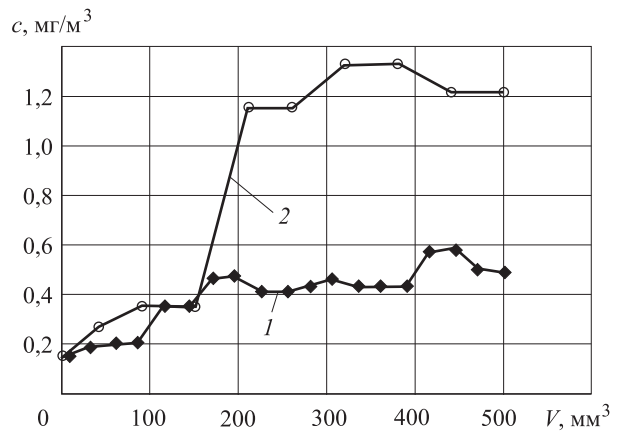


Рис. 2. Изменение концентрации хлора c в зависимости от наработки V при различных подачах:

1 — на глубину 0,005 мм/ход; 2 — на глубину 0,010 мм/ход

180...500 мм³ концентрация хлора составляет в среднем около 1,2 мг/мм³.

Согласно [18], предельно допустимая концентрация хлора в воздухе рабочей зоны составляет 1 мг/м³. Концентрация 1,2 мг/м³ получена на расстоянии 30 мм от зоны шлифования. На расстоянии 300 мм от зоны шлифования концентрация хлора снижается в 30 раз и составляет около 0,04 мг/м³, что является допустимым значением, не превышающим предельно допустимую концентрацию.

Для оценки эффективности предложенного импрегнатора проведены исследования эксплуатационных показателей инструмента.

В связи с высокой адгезионной способностью титанового сплава процесс шлифования базовым кругом с охлаждением содовым раствором отличается нестабильностью силы резания. На рис. 3, а приведены диаграммы одного из параллельных опытов при шлифовании с подачей 0,005 мм/ход. В интервале 230...100 ходов вариационный размах составляющей P_y достигает

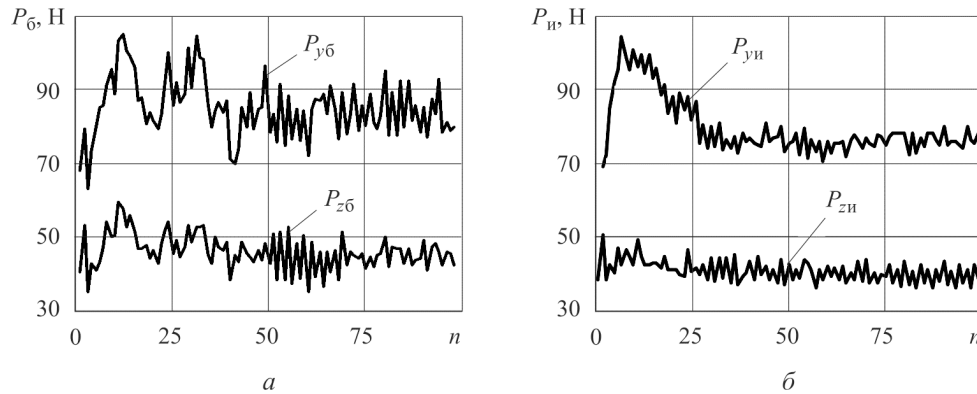


Рис. 3. Составляющие силы резания при шлифовании базовым P_{y6} , P_{z6} (а) и импрегнированным $P_{yи}$, $P_{zи}$ (б) кругами в зависимости от числа n ходов стола

35 Н, составляющей P_z — 19 Н. При шлифовании импрегнированным кругом вариационный размах составляющих силы резания уменьшается в 1,5...1,9 раза, что свидетельствует о более высокой стабильности процесса (рис. 3, б).

Средние арифметические значений $P_{yи}$ и $P_{zи}$ на установившемся этапе снижаются на 6...9 %, шероховатость обработанной поверхности при шлифовании импрегнированным абразивным инструментом $Ra_{и}$ почти в 1,4 раза меньше по сравнению с базовым. Наблюдается тенденция к некоторому повышению коэффициента шлифования $K_{ш.и}$ (см. таблицу).

При шлифовании на тех же режимах без использования СОЖ в наибольшей степени возрастает износ базового круга. Шероховатость обработанной поверхности для базового и импрегнированного инструментов увеличивается значительно, но в равной степени. В результате, коэффициент $K_{ш.и}$ шлифования импрегнированным кругом без использования СОЖ по сравнению с базовым $K_{ш.б}$ увеличивается более чем на 40 %. У импрегнированного круга сохраняется преимущество по шероховатости, достигнутое при шлифовании с СОЖ.

Как известно, основной причиной плохой обрабатываемости шлифованием титановых сплавов является высокая адгезионная активность основы сплава (титана) к абразивному материалу [19, 20]. Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности шлифования сплавов на основе титана является введение в зону шлифования специальных сред [17]. На примере хлоридов и фторидов металлов показано, что с увеличением химической активности среды наблюдается снижение износа инструмента и повышение качества обрабатываемой поверхности [21].

Как следует из результатов газового анализа (см. рис. 2), при шлифовании происходит раз-

ложение импрегнатора с образованием свободного хлора. В связи с высокой реакционной способностью атомы хлора вступают во взаимодействие с активированной поверхностью титанового сплава, тем самым препятствуя его взаимодействию с абразивным материалом. В результате снижаются износ инструмента и шероховатость обработанной поверхности.

Радиальные составляющие силы резания базовым P_{y6} и импрегнированным $P_{yи}$ кругами при шлифовании без СОЖ можно считать одинаковыми, касательная составляющая силы резания импрегнированным кругом $P_{zи}$ несколько превышает аналогичную составляющую силы резания базовым кругом P_{z6} (см. таблицу).

Известно, что при шлифовании сила резания во многом определяется режимом работы абразивного инструмента. В частности, переход от режима работы круга с преимущественным затуплением к преимущественному самозатачиванию сопровождается увеличением износа абразивного инструмента и снижением силы резания [22]. Влияние затупления и самозатачивания или принудительного самозатачивания (постоянная правка абразивного инструмента) на составляющие силы резания отмечается и для операции глубинного шлифования титановых сплавов [23, 24].

Относительные значения эксплуатационных показателей при шлифовании базовым и импрегнированным кругами

Эксплуатационные показатели	Среда		
	СОЖ	Без СОЖ	СОЖ
Подача, мм/ход	0,005	0,005	0,01
$P_{z6}/P_{zи}$	1,06	0,91	0,89
$P_{y6}/P_{yи}$	1,09	0,98	0,91
$K_{ш.б}/K_{ш.и}$	1,04	1,47	1,09
$Ra_б/Ra_{и}$	1,37	1,38	1,01

Более высокая интенсивность износа базового круга по сравнению с импрегнированным при шлифовании титанового сплава без СОЖ свидетельствует о том, что доля работы с преимущественным самозатачиванием для базового круга заметно выше. Таким образом, при шлифовании базовым кругом по сравнению с импрегнированным составляющие силы резания меньше. Наибольшее влияние режим работы инструмента оказывает на касательную составляющую силы резания, что наблюдается и при глубинном шлифовании титановых сплавов [25, 26].

По результатам проведенных исследований получен патент РФ № 2532615 [27].

Выводы

1. Под действием температуры резания происходит разложение импрегнатора с образованием хлора на протяжении всего периода обработки. С увеличением глубины шлифования в 2 раза с 0,005 до 0,01 мм/ход концентрация хлора возрастает в 2,6 раза: с 0,47 до 1,2 мг/м³. Ос-

новная масса газообразных продуктов выделяется в интервале температур 150...270 °С.

2. При работе импрегнированным шлифовальным кругом обеспечивается более высокая стабильность процесса по сравнению с базовым. Шероховатость обработанной поверхности при шлифовании импрегнированным абразивным инструментом почти на 30 % меньше, наблюдается тенденция к некоторому повышению коэффициента шлифования.

3. Наибольшая эффективность абразивного инструмента, импрегнированного гексахлорпарацилолом, обеспечивается при шлифовании без СОЖ с подачей на глубину 0,005 мм/ход стола СОЖ: коэффициент шлифования возрастает более чем на 40 %, на 30 % снижается параметр шероховатости R_a обработанной поверхности.

4. При шлифовании с охлаждением на тех же режимах использование кругов, импрегнированных гексахлорпарацилолом, существенно повышает стабильность процесса и снижает шероховатость обработанной поверхности по сравнению с базовым абразивным инструментом.

Литература

- [1] Сердюк В.В., Куценко Ю.Б., Степанов А.Б., Ашкинази Л.А. *Импрегнатор для шлифовальных кругов*. Патент № 2047476 РФ, МПК В 24 D 3/34. 1995.
- [2] Чирков Г. В. Влияние импрегнирования шлифовального круга на качество обработки. *Технология машиностроения*, 2007, № 2, с. 22–23.
- [3] Никитин А.В. Шлифование труднообрабатываемых материалов импрегнированными кругами как способ повышения их режущих свойств. *Инструмент и технологии*, 2010, № 28, с. 52–58.
- [4] Li Wei, Tian Qianjun, Zhang Bo. *Impregnant for impregnated grinding wheels and application thereof in preparing impregnated grinding wheels*. Patent no. 101791786 CN, В 24 D 3/34. 2010.
- [5] Tsai M.-Y., Jian S.-X. Development of a micro-graphite impregnated grinding wheel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2012, vol. 56, pp. 94–101.
- [6] Митрофанов А.П., Носенко В.А., Бутов Г.М. *Состав для пропитки абразивного инструмента*. Патент РФ № 2440886 РФ, МПК В 24 D 3/34. 2012.
- [7] Митрофанов А.П., Носенко В.А., Бутов Г.М. *Состав для пропитки абразивного инструмента*. Патент РФ № 2443538 РФ, МПК В 24 D 3/34. 2012.
- [8] 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.
- [9] Носенко В.А., Митрофанов А.П., Наумов А.Г. Модель химического взаимодействия импрегнаторов абразивного инструмента с обрабатываемым металлом. *СТИН*, 2014, № 3, с. 12–15.
- [10] Носенко В.А., Митрофанов А.П., Бутов Г.М. Повышение эффективности шлифования колец подшипников импрегнированием абразивного инструмента. *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2011, т. 7, № 13, с. 34–36.
- [11] Носенко В.А., Митрофанов А.П. Повышение эффективности процесса шлифования с использованием импрегнирования абразивного инструмента. *Наукоемкие технологии в машиностроении*, 2012, № 11, с. 9–14.
- [12] Носенко В.А., Крутикова А.А., Кравцова И.С. Исследование процесса термического разложения ускорителей вулканизации в смеси с порошком железа. *Современные*

- проблемы науки и образования*, 2014, № 2. URL: <http://www.science-education.ru/116-12797> (дата обращения 01 июня 2015).
- [13] Моррисон Р., Бойд Р. *Органическая химия*. Прентис-Холл Индия, 2002. 1282 с.
- [14] Носенко В.А., Митрофанов А.П., Крутикова А.А., Кравцова И.С. Дериватографические исследования газообразователей с целью применения их в качестве импрегнаторов абразивных инструментов. *Проблемы современной науки*, 2012, № 6, с. 138–145.
- [15] Захарченко П. И., Яшунская Ф.И., Евстратов В.Ф., Орловский П.Н. *Справочник резинщика. Материалы резинового производства*. Москва, Химия, 1971. 608 с.
- [16] Носенко В.А., Крутикова А.А., Синьков А.В. Статистический анализ концентрации хлора вблизи зоны резания при шлифовании импрегнированным абразивным инструментом. *Современные проблемы науки и образования*, 2013, № 4. URL: www.science-education.ru/110-9970 (дата обращения 05 июня 2015).
- [17] Носенко В.А., Носенко С.В. Совершенствование абразивного инструмента на бакелитовой связке. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2004, №3, с. 85–90.
- [18] ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- [19] Носенко В.А. К вопросу об интенсивности контактного взаимодействия *d*-переходных металлов с карбидом кремния при шлифовании. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2001, №5, с.78–84.
- [20] Носенко В.А. Влияние контактного взаимодействия на износ абразивного инструмента при шлифовании. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2005, № 1, с. 73–77.
- [21] Носенко В.А., Носенко С.В. *Технология шлифования*. Волгоград, ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2011. 424 с.
- [22] Ваксер Д.Б. *Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании*. Москва, Машиностроение, 1964. 124 с.
- [23] Носенко В.А., Ларионов Н.Ф., Егоров Н.И., Волков М.П. Выбор характеристики абразивного инструмента и СОЖ для глубинного шлифования. *Вестник машиностроения*, 1989, № 5, с.17–21.
- [24] Носенко В.А., Жуков В.К., Васильев А.А., Носенко С.В. Попутное и встречное глубинное шлифование поверхности неполного цикла с периодической правкой круга. *Вестник машиностроения*, 2008, № 5, с. 44–50.
- [25] Носенко В.А., Авилов А.В., Носенко С.В. Закономерности изменения силы плоского глубинного шлифования. *Справочник. Инженерный журнал с приложением*, 2009, №7, с. 10–26.
- [26] Носенко С.В., Носенко В.А., Кременецкий Л.Л. Влияние правки абразивного инструмента на состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава при встречном и попутном глубинном шлифовании. *Вестник машиностроения*, 2014, № 7, с. 64–68.
- [27] Крутикова А.А., Носенко В.А., Новопольцева О.М., Митрофанов А.П. *Состав для пропитки абразивного инструмента*. Патент № 2532615 РФ, МПК В24D3/34. 2014.

References

- [1] Serdiuk V.V., Kutsenok Iu.B., Stepanov A.B., Ashkinazi L.A. *Impregnator dlia shlifoval'nykh krugov* [Impregnator for grinding wheels]. Patent RF, no. 2047476, 1995.
- [2] Chirkov G.V. Vliianie impregirovaniia shlifoval'nogo kruga na kachestvo obrabotki [Grinding wheels impregnation influence on finish]. *Tekhnologiya mashinostroeniia* [Engineering Technology]. 2007, no. 2, pp. 22–23.
- [3] Nikitin A.V. Shlifovanie trudnoobrabatyvaemykh materialov impregirovannymi krugami kak sposob povysheniia ikh rezhushchikh svoystv [Grinding hard materials impregnated circles as a way to improve their cutting properties]. *Instrument i tekhnologii* [Tools & Technology]. 2010, no. 28, pp. 52–58.
- [4] Li Wei, Tian Qianjun, Zhang Bo. *Impregnant for impregnated grinding wheels and application thereof in preparing impregnated grinding wheels*. Patent CN, no. 101791786, В 24 D 3/34, 2010.
- [5] Tsai M.-Y., Jian S.-X. Development of a micro-graphite impregnated grinding wheel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2012, vol. 56, pp. 94–101.

- [6] Mitrofanov A.P., Nosenko V.A., Butov G.M. *Sostav dlia propitki abrazivnogo instrumenta* [The composition for impregnating the abrasive tools]. Patent RF, no. 2440886, MPK B 24 D 3/34, 2012.
- [7] Mitrofanov A.P., Nosenko V.A., Butov G.M. *Sostav dlia propitki abrazivnogo instrumenta* [The composition for impregnating the abrasive tools]. Patent RF, no. 2443538, MPK B 24 D 3/34, 2012.
- [8] Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Butov G.M. *Issledovanie primeneniia impregntatorov iz klasa poroforov dlia propitki abrazivnogo instrumenta* [Investigation of the class of disintegrants impregnator for impregnating the abrasive tools]. *STIN* [Russian Engineering Research]. 2011, no. 8, pp. 35–40.
- [9] Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Naumov A.G. *Model' khimicheskogo vzaimodeistviia impregntatorov abrazivnogo instrumenta s obrabatyvaemym metallom* [Model chemical interaction impregnator abrasive tool with metal to be treated]. *STIN* [Russian Engineering Research]. 2014, no. 3, pp. 12–15.
- [10] Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Butov G.M. *Povyshenie effektivnosti shlifovaniia kolets podshipnikov impregntirovaniem abrazivnogo instrumenta* [Increasing the efficiency of grinding of bearing rings impregnating abrasive tool]. *Izvestiia Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [News of Volgograd State Technical University]. 2011, vol. 7, no. 13, pp. 34–36.
- [11] Nosenko V.A., Mitrofanov A.P. *Povyshenie effektivnosti protsessa shlifovaniia s ispol'zovaniem impregntirovaniia abrazivnogo instrumenta* [Improving grinding process effectiveness by impregnated abrasive tools application]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science intensive technologies in mechanical engineering]. 2012, no. 11, pp. 9–14.
- [12] Nosenko V.A., Krutikova A.A., Kravtsova I.S. *Issledovanie protsessa termicheskogo razlozheniia uskoritelei vulkanizatsii v smesi s poroshkom zheleza* [Investigation process of thermal decomposition of vulcanization accelerators in a mixture with iron powder]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern problems of science and education]. 2014, no. 2. Available at: <http://www.science-education.ru/116-12797> (accessed 01 June 2015).
- [13] Morrison R., Boid R. *Organicheskaiia khimiia* [Organic Chemistry]. Prentis-Kholl Indiiia, 2002. 1282 p.
- [14] Nosenko V.A., Mitrofanov A.P., Krutikova A.A., Kravtsova I.S. *Derivatograficheskie issledovaniia gazoobrazovatelei s tsel'iu primeneniia ikh v kachestve impregntatorov abrazivnykh instrumentov* [Grav studies blowing agents for the purpose of using them as an impregnator abrasive tools]. *Problemy sovremennoi nauki* [Problems of modern science]. 2012, no. 6, pp. 138–145.
- [15] Zakharchenko P. I., Iashunskaiia F.I., Evstratov V.F., Orlovskii P.N. *Spravochnik rezinshchika. Materialy rezinovogo proizvodstva* [Directory rezinschikov. Materials rubber production]. Moscow, Khimiia publ., 1971. 608 p.
- [16] Nosenko V.A., Krutikova A.A., Sin'kov A.V. *Statisticheskii analiz kontsentratsii khloro vblizi zony rezaniia pri shlifovanii impregntirovannym abrazivnym instrumentom* [Statistical analysis chlorine concentration near the zone cutting of grinding impregnated abrasive tool]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern problems of science and education]. 2013, no. 4. Available at: www.science-education.ru/110-9970 (accessed 05 June 2015).
- [17] Nosenko V.A., Nosenko S.V. *Sovershenstvovanie abrazivnogo instrumenta na bakelitovoi sviazke* [Improving the abrasive tools on bakelite base]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin* [Journal of Machinery Manufacture and Reliability]. 2004, no. 3, pp. 85–90.
- [18] GN 2.2.5.1313-03. *Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) vrednykh veshchestv v vozdukhke rabochei zony* [GN 2.2.5.1313-03. The maximum permissible concentration (MPC) of harmful substances in the air of the working area].
- [19] Nosenko V.A. *K voprosu ob intensivnosti kontaktnogo vzaimodeistviia d-perekhodnykh metallov s karbidom kremniia pri shlifovanii* [On the question of the intensity of the contact interaction of d-transition metals with silicon carbide in grinding]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin* [Journal of Machinery Manufacture and Reliability]. 2001, no. 5, pp.78–84.

- [20] Nosenko V.A. Vliianie kontaktnogo vzaimodeistviia na iznos abrazivnogo instrumenta pri shlifovanii [Effect of interaction contact wear in grinding abrasive tool]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin* [Journal of Machinery Manufacture and Reliability]. 2005, № 1, s. 73–77.
- [21] Nosenko V.A., Nosenko S.V. *Tekhnologiia shlifovaniia* [Grinding Technology]. Volgograd, VPI (filial) VolgGTU publ., 2011. 424 p.
- [22] Vakser D.B. *Puti povysheniia proizvoditel'nosti abrazivnogo instrumenta pri shlifovanii* [Ways to improve the performance of abrasive tools for grinding]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1964. 124 p.
- [23] Nosenko V.A., Larionov N.F., Egorov N.I., Volkov M.P. Vybor kharakteristiki abrazivnogo instrumenta i SOZh dlia glubinnogo shlifovaniia [Selecting an abrasive tool and coolant for creep feed grinding]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 1989, no. 5, pp.17–21.
- [24] Nosenko V.A., Nosenko S.V., Zhukov V.K., Vasil'ev A.A. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel. *Russian Engineering Research*, 2008, vol. 28, no. 5, pp. 442–449.
- [25] Nosenko V.A., Avilov A.V., Nosenko S.V. Zakonomernosti izmeneniia sily ploskogo glubinnogo shlifovaniia [Laws of change of force of flat deep grinding]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal s prilozheniem* [Handbook. An Engineering Journal]. 2009, no. 7, pp. 10–26.
- [26] Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremenetskii L.L. Vliianie pravki abrazivnogo instrumenta na sostoianie rel'efa obrabotannoi poverkhnosti titanovogo splava pri vstrechnom i poputnom glubinnom shlifovanii [Influence of abrasive tool dressing on state of relief of machined surface of titanium alloy at counter deep grinding]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2014, no. 7, pp. 64–68.
- [27] Krutikova A.A., Nosenko V.A., Novopol'tseva O.M., Mitrofanov A.P. *Sostav dlia propitki abrazivnogo instrumenta* [Composition For Impregnating The Abrasive Tools]. Patent RF, no. 253261, МПК В24D3/34, 2014.

Статья поступила в редакцию 16.06.2015

Информация об авторах

НОСЕНКО Владимир Андреевич (Волжский) — доктор технических наук, профессор, зам. директора по учебной работе, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: nosenko@volpi.ru).

МИТРОФАНОВ Артем Петрович (Волжский) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: greenmap@yandex.ru).

КРУТИКОВА Анастасия Алексеевна (Волжский) — аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств». Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (404121, Волжский, Волгоградская обл., Российская Федерация, Энгельса ул., д. 42а, e-mail: krutikova_vpi@mail.ru).

Information about the authors

NOSENKO Vladimir Andreevich (Volzhsky) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Deputy Director for Teaching and Learning, Head of Department of Technology and Equipment of Machine Building Manufacturing. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgograd region, Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: nosenko@volpi.ru).

MITROFANOV Artem Petrovich (Volzhsky) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Technology and Equipment of Machine Building Manufacturing. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgograd region, Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: greenmap@yandex.ru).

KRUTIKOVA Anastasia Alekseevna (Volzhsky) — Post Graduate, Department of Technology and Equipment of Machine Building Manufacturing. Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgogradsky State Technical University (404121, Volzhsky, Volgograd region, Russian Federation, Engels St., Bldg. 42a, e-mail: krutikova_vpi@mail.ru).