

**Машиностроение и машиноведение**

УДК 621.923+531.44:620.178

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-7-4-11

В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова,  
Д.С. Дуров, Ю.В. Петухов**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ,  
ОБРАБОТАННЫХ ИМПРЕГНИРОВАННЫМ АБРАЗИВНЫМ  
ИНСТРУМЕНТОМ**

Представлены результаты исследования точности обработки деталей импрегнированными диодидом хрома шлифовальными кругами и эффективности применения данного способа. Приведены исследования качественных параметров и структурного состояния материала поверхностного слоя деталей после обработки импрегнированным

инструментом, которые являются частью научной работы, начатой коллективом авторов в 2012 году.

**Ключевые слова:** деталь, абразивный инструмент, импрегнирование, диодид хрома, стойкость, структура, поверхностный слой, шероховатость.

V.I. Butenko, L.V. Gusakova, D.S. Durov, Yu.V. Petukhov

**QUALITATIVE INDEX ASSURANCE FOR PARTS MACHINED  
WITH IMPREGNATED ABRASIVE TOOL**

The work purpose: the accuracy investigation of parts machined with chromium diiodine grinding disks, and also roughness and structural state of surface layer material in parts after working with the impregnated tool; the investigation data are a part of the scientific work which has been started since 2012.

The investigation methods: the accuracy and quality of machining parts with the impregnated grinding tool were analyzed; there was carried out a generalization of the data obtained regarding quality parameter changes in the surface layer of parts during working having an influence upon their operation characteristics.

The investigation results and novelty: the impregnation method including additional mechanical oscillation at the moment of tool impregnation; the

investigation results of accuracy and effectiveness of the mentioned method of working; the investigations of roughness parameters and distribution of residual stresses in the surface layer of parts.

Conclusions: at present in the Russian industry there are widely used methods and technologies of import substitution, industry needs low cost and efficient methods of working; thereupon there are urgent different investigations in the field of updating technology for metal grinding with the estimate of their effectiveness and qualitative characteristics of parts when using tools offered.

**Key words:** part, abrasive tool, impregnation, chromium diiodine, durability, structure, structure, surface layer, roughness.

**Введение**

Повышение эффективности абразивной обработки поверхностей деталей машин является важной задачей в современном машиностроительном производстве, которая может быть решена в том числе и импрегнированием абразивных инструментов поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Существует довольно большое разнообразие способов пропитки абразивных инструментов различными веществами и

композициями [1-8], как органического, так и неорганического происхождения, подтвердивших свою эффективность при абразивной обработке деталей.

Для повышения эффективности работы абразивного инструмента был использован способ [11] импрегнирования шлифовальных кругов в водном растворе диодида хрома, который включает пропитку инструмента водным раствором в емкости, содержащим 20-25 г диодида

хрома на литр воды, и конвективную сушку абразивного инструмента при его вращении со скоростью  $0,3-0,5 \text{ с}^{-1}$  в течение 1,5-2 часов при температуре  $40-50 \text{ }^\circ\text{C}$ , при котором пропитка абразивного инструмента осуществлялась в кипящем водном растворе диоксида хрома. Время пропитки  $t_n$  рассчитывалось по формуле [9]:

$$t_n = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot V^{1,15} \frac{a_0}{a}, \text{ мин,}$$

где  $V$  – объём абразивного инструмента,  $\text{см}^3$ ;  $a_0$  – нормативная пористость абразивного инструмента из заданного абразива, связки и состава, принимаемая в соответствии с ГОСТ Р 52781-2007 "Круги шлифовальные и заточные. Технические условия";  $a$  – пористость импрегнированного абразивного инструмента из того же абразива, связки и состава, определяемая весо-

### Исследования точности обработки

В настоящем исследовании определялось изменение стойкости шлифовальных кругов  $T$  после их правки, результаты которого показывают, что стойкость импрегнированных диоксидом хрома шлифовальных кругов в процессе их правки уменьшается: вначале существенно, затем медленнее, в среднем на 3-5% после каждой последующей правки, а далее начинает расти по отношению к стойкости стандартного инструмента, что может быть объяснено непрерывным вымыванием применяемой смазочно-охлаждающей жидкостью диоксида хрома из межзеренного пространства шлифовального круга и особенностями приработки импрегнированного шлифовального круга.

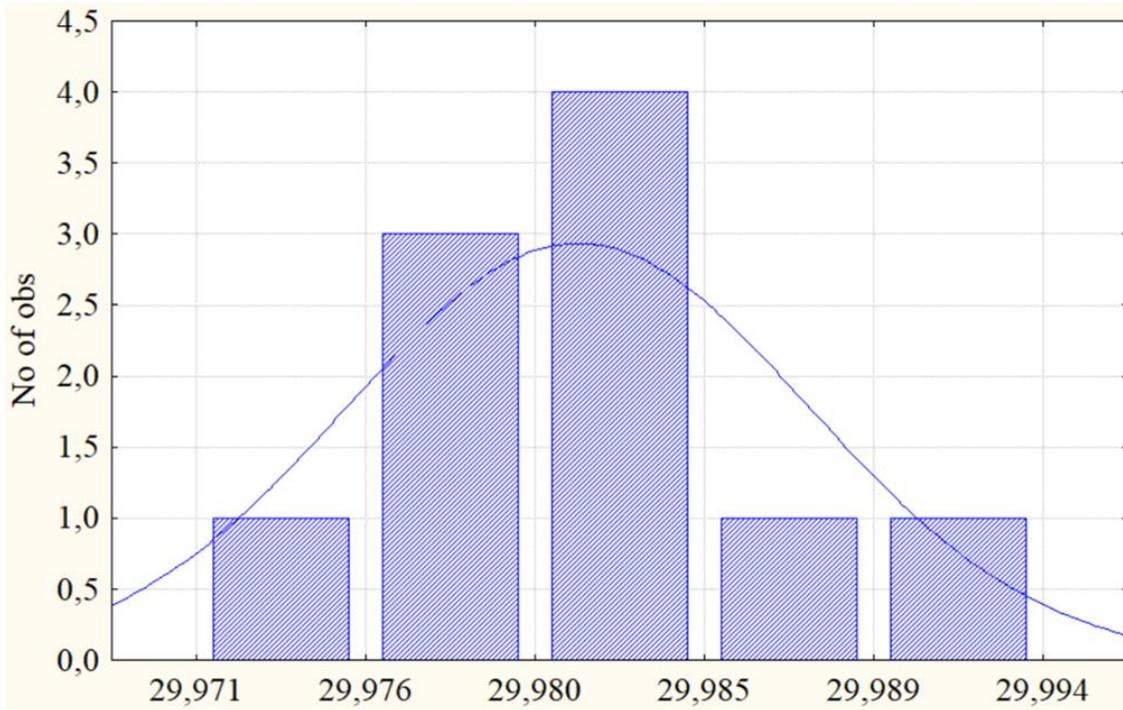
Исследования состояния поверхностного слоя образцов из стали 12ХН3А, подвергнутых шлифованию, импрегнированным диоксидом хрома абразивным инструментом [8, 13] показывают, что в процессе шлифования активный йод взаимодействует с ювенильными поверхностями деталей, образуя на них иодиды железа, которые имеют слоистую структуру и обладают низким коэффициентом трения.

Одним из важнейших показателей

вым способом в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [14].

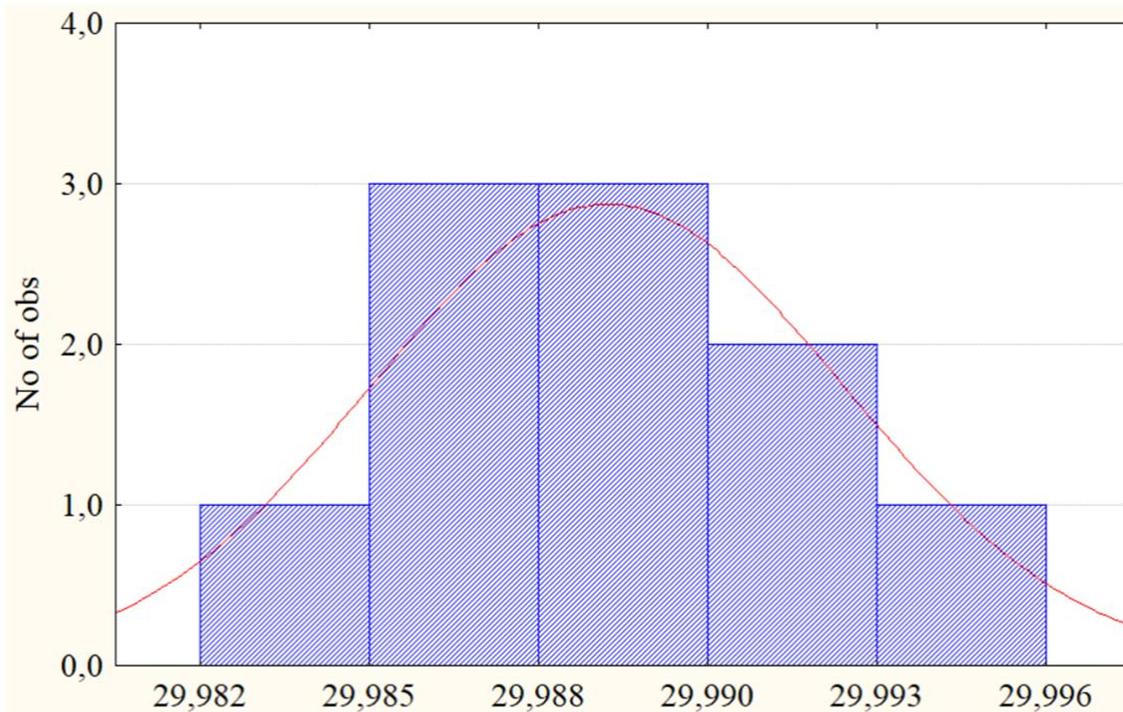
Исследование эффективности применения импрегнированных диоксидом хрома шлифовальных кругов осуществлялось путем обработки образцов из стали 12ХН3А диаметром 30 мм и длиной 200 мм после чистовой токарной обработки. Шлифование образцов осуществлялось на круглошлифовальном станке мод. 3У12ВФ11 кругами ПП 400×50×203 14АФ60К7V ГОСТ Р 5281-2007 со скоростью резания  $V_{кр} = 35 \text{ м/с}$ , скорости вращения образцов  $V_\delta = 0,314 \text{ м/с}$ , продольная подача  $S_{пр} = 0,02 \text{ м/с}$ , подача врезания  $S_{вр} = 0,01 \text{ мм/дв.ход}$ , число двойных ходов  $m = 3$ . В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовался 5-процентный водный раствор эмульсола Укринол-14 [10].

эффективности использования шлифовальных кругов является обеспечение ими необходимой точности размеров обрабатываемых деталей в течение всего периода стойкости инструмента [15, 16]. В связи с этим была проведена обработка шлифованием валов из стали 12ХН3А, при которой определялись поля рассеивания размеров партии деталей в пределах стойкости шлифовального круга. Подконтрольной обработке подвергались валы диаметром обрабатываемых поверхностей 30 мм, допуском 8 квалитета точности. По полученным результатам определялись поля рассеивания размеров диаметров деталей, обработанных без применения ПАВ  $\omega_1$  и с применением различных способов подачи импрегнатора – диоксида хрома в зону обработки (импрегнирование, добавка в СОТС, введение в состав абразивной массы)  $\omega_2$ . Поля рассеивания определялись после обработки каждой партии деталей из 10 штук, а распределения размеров обработанных деталей приведены на рис. 1 и 2. Замеры производились гладким цифровым микрометром МКЦ 50 Зубр "ЭКСПЕРТ" 34482-50 с ценой деления 0,001 мм.



Стандартный круг новый

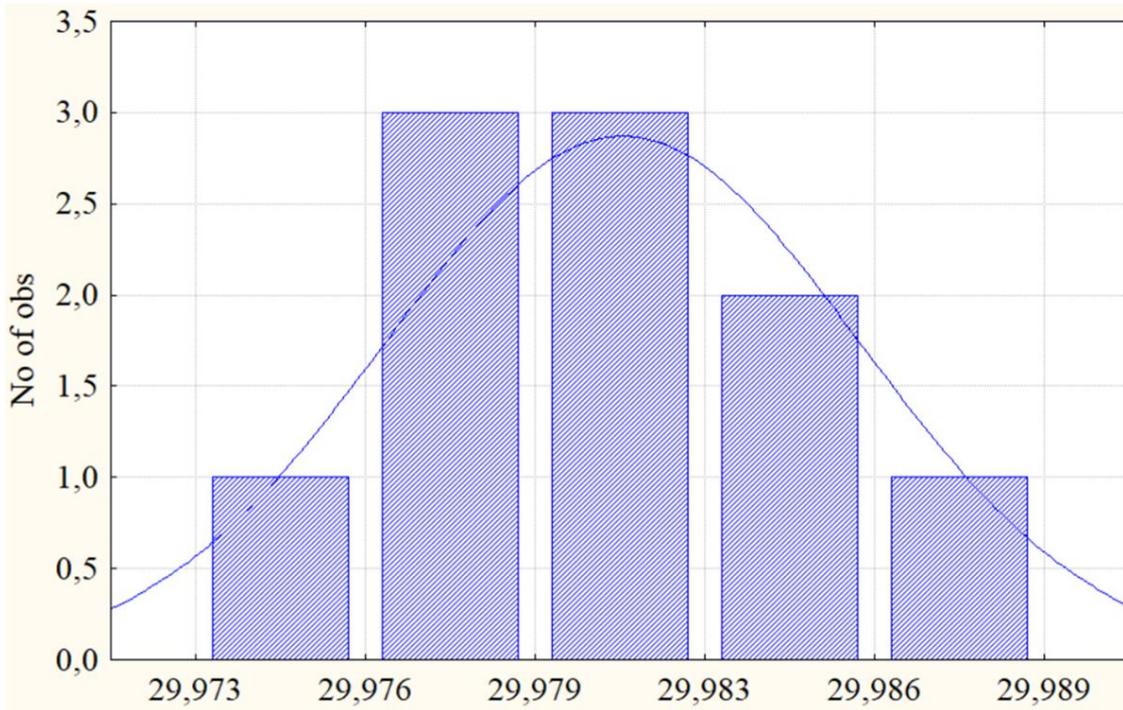
а)



Стандартный круг правка

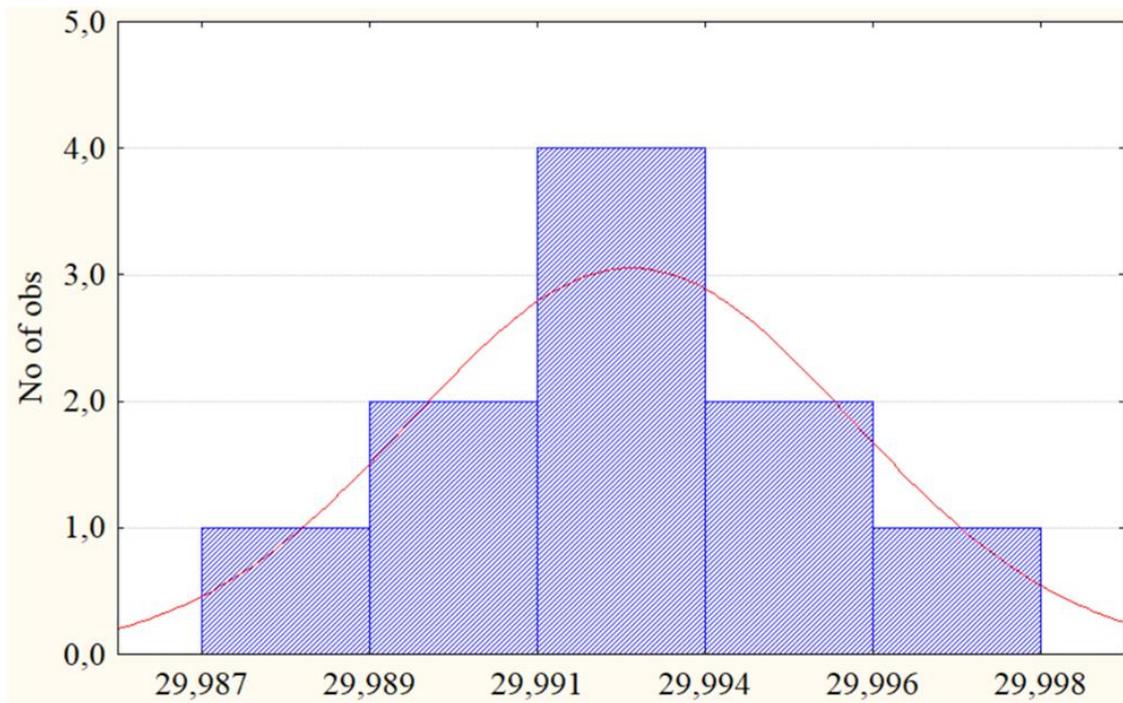
б)

Рис. 1. Распределение размеров в партии обработанных деталей стандартным кругом: в начале работы – а и перед правкой круга – б



Импрегнированный круг новый

а)



Импрегнированный круг правка

б)

Рис. 2. Распределение размеров в партии обработанных деталей импрегнированным кругом: в начале работы – а и перед правкой круга – б

Также были проведены исследования точности обработки путем сравнения полей рассеивания при обработке первой  $\omega_1^H$ ,  $\omega_2^H$  и последней  $\omega_1^K$ ,  $\omega_2^K$  партии деталей, как новыми кругами, так и постепенно изношенными в этом процессе и требующих

переточки. Результаты изменения за период стойкости инструмента при допустимом диапазоне изменения размеров обрабатываемых деталей в обобщенном виде представлены на рис. 3.

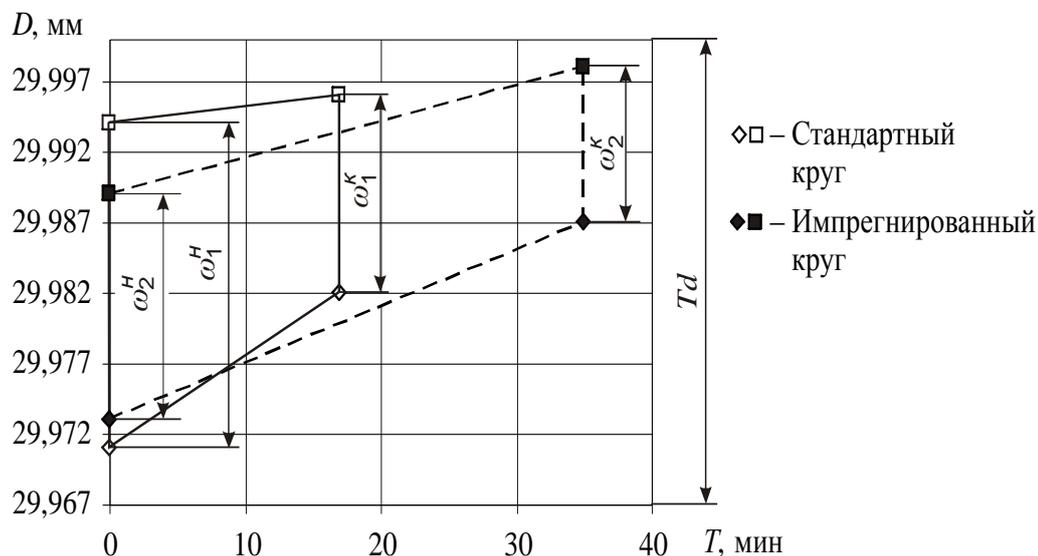


Рис. 3. Рассеивание размеров партий деталей в пределах поля допуска на размер  $Td$  при обработке обычным и импрегнированным кругом

### Исследования параметров качества обработки

В рассмотренных случаях обработки имеет место превышение полей рассеивания размеров деталей, обработанных новыми кругами по отношению к таковым, полученным кругами на исчерпании периода их стойкости. Это может быть объяснено уменьшением числа режущих зерен и увеличением сглаживающих и давящих [12]. Об этом свидетельствует также уменьшение параметра шероховатости  $Ra$  обработанных поверхностей деталей и увеличение величины технологических остаточных растягивающих напряжений в материале поверхностного слоя  $\sigma_{ост}$  (рис. 4) при одновременном уменьшении съема металла в единицу времени.

При этом имеет место закономерность изменения полей рассеивания размеров деталей, обрабатываемых стандартным и импрегнированным кругами  $\omega_1^H > \omega_2^H$  и  $\omega_1^K > \omega_2^K$ .

Степень влияния принятого вида и способа применения ПАВ на точность получаемых размеров обрабатываемой детали может быть оценена коэффициентом [8]

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta\omega_1}{\Delta\omega_2} \geq 1,$$

где  $\Delta\omega_1 = \omega_1^H - \omega_1^K$ ;  $\Delta\omega_2 = \omega_2^H - \omega_2^K$ .

При этом  $\Delta\omega_1 \geq \Delta\omega_2$ .

Данные подконтрольной обработки шлифованием деталей, позволили определить ориентировочные значения коэффициента  $K_{\Delta}$  при обработке деталей из стали 12ХН3А в поле допуска 8h квалитета точности размера и способа применения импрегнатора (в данном случае, дийоксида хрома), которые составили 1,8-1,9. Эти значения коэффициента  $K_{\Delta}$  можно использовать при выборе способа применения ПАВ для абразивной обработки шлифовальными кругами 14AF60K7V.

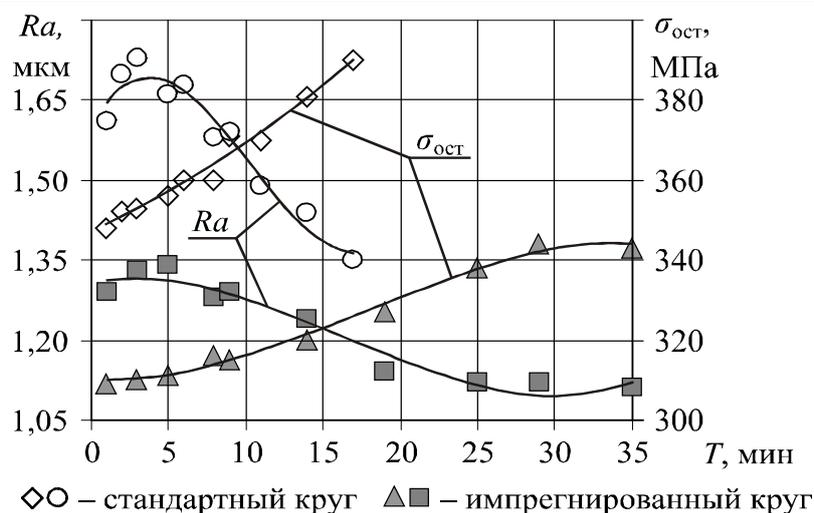


Рис. 4. Изменение параметра шероховатости обработанной поверхности детали  $Ra$  и технологических остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  за период стойкости  $T$  стандартного и импрегнированного шлифовального круга

### Заключение

Таким образом, абразивная обработка деталей импрегнированными дийодидом хрома кругами позволяет увеличить стойкость используемых инструментов, повысить точность размеров обрабатываемых деталей, улучшить качественные по-

казатели поверхностного слоя, а также создать на обработанных поверхностях деталей структуры, обладающие низким коэффициентом трения, что является важным для деталей трибосистем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудометов, Ю. И. Применение абразивных инструментов, пропитанных суспензиями импрегнаторов / Ю. И. Рудометов // Станки и инструмент. – 2012. – № 11. – С. 34-37.
2. Патент № 2047476 РФ, МПК В 24 D 3/34 (1995). Импрегнатор для шлифовальных кругов : № 2047476: заявл. 1993.01.11: опубл. 1995.11.10 / Сердюк В. В., Куценко Ю. Б., Степанов А. Б., Ашкинази Л. А. ; заявитель: Сердюк В. В.
3. Чирков, Г. В. Влияние импрегнирования шлифовального круга на качество обработки / Г. В. Чирков // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 22-23.
4. Никитин, А. В. Шлифование труднообрабатываемых материалов импрегнированными кругами как способ повышения их режущих свойств / А. В. Никитин // Инструмент и технологии. – 2010. – № 28. – С. 52-58.
5. Patent № 101791786 CN, В 24 D 3/34 (2010). Impregnant for impregnated grinding wheels and application thereof in preparing impregnated grinding wheels / Li Wei, Tian Qianjun, Zhang Bo.
6. Tsai, M. Y. Development of a micro-graphite impregnated grinding wheel / M. Y. Tsai, S. X. Jian // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2012. – V. 56. – Pp. 94-101.
7. Носенко, В. А. Повышение эффективности шлифования с использованием галогенообразующего импрегнатора / В. А. Носенко, А. П. Митрофанов, А. А. Крутикова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – № 8 (665). – С. 65-72.
8. Butenko, V. Method for improving the quality of the product obtained by abrasive treatment with impregnated tools / V. Butenko, L. Gusakova, D. Durov, B. Safoklov, O. Dolgov // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal Vol. 5, No. 6, 398-402 p. (2020).
9. Патент РФ № 2618682 С1 МПК В24D 3/34(2006.01). Способ импрегнирования абразивных инструментов. заявл. 2015-11-17: опубл. 10.05.2017 Бюл. № 13 / В. И. Бутенко.
10. Бутенко, В. И. Научные технологии создания высокоресурсных деталей машин / В. И. Бутенко, Д. С. Дуров, Р. Г. Шаповалов. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – 404 с.
11. Патент РФ №2703063 РФ МПК В24 D 3/34 (2019). Способ импрегнирования абразивных инструментов: заявл. 2019-05-21 : опубл. 2019-10-15 / В. И. Бутенко, К. В. Давиденко; заявитель Бутенко В. И.
12. Рыжкин, А. А. Физические основы обработки металлов резанием: учеб. пособие / А. А. Рыжкин, В. С. Дмитриев, М.М. Климов [и др.]. – Ростов-на-Дону: Издат. центр. ДГТУ, 1996. – 354 с.

13. **Бутенко, В. И.** Технологическая совместимость функциональных слоев и покрытий / В. И. Бутенко. – Ростов-на-Дону, 2020. – 169 с.
14. **Островский, В. И.** Теоретические основы процесса шлифования / В. И. Островский. – М.: Машиностроение, 2010. – 284 с.
15. **Димов, Ю. В.** Математическая модель для определения производительности обработки деталей полимерно-абразивными кругами / Ю. В. Димов, Д. Б. Подашев // Вестник машиностроения. – 2018. - № 8. - С. 56-63.
16. **Подашев, Д. Б.** Оптимизация финишной обработки деталей эластичным инструментом: монография / Д. Б. Подашев. – LAP Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH&Co. KG (Германия), 2017.
1. **Rudometov, Yu.I.** Use of abrasive tools impregnated with impregnator suspensions / Yu.I. Rudometov // *Machines and Tool*. – 2012. – No.11. – pp. 34-37.
2. **Patent No. 20474776 the RF, IPC B 24 D 3/34 (1995).** *Impregnator for Grinding Disks*: No. 2047476; claimed: 11.01.1993; published: 10.11.1995 / Serdyuk V.V., Kutsenok Yu.B., Stepanov A.B., Ashkinazy L.A.; applicant: Serdyuk V.V.
3. **Chirkov, G.V.** Impact of grinding disk impregnation upon processing quality / G.V. Chirkov // *Engineering Technique*. – 2007. – No.2. – pp. 22-23.
4. **Nikitin, A.V.** Hard-to-machine material grinding with impregnated disks as means for their cutting properties increase / A.V. Nikitin // *Tool and Technologies*. – 2010. – No.28. – pp. 52-58.
5. **Patent № 101791786 CN, B 24 D 3/34 (2010).** Impregnant for impregnated grinding wheels and application thereof in preparing impregnated grinding wheels / Li Wei, Tian Qianjun, Zhang Bo.
6. **Tsai, M. Y.** Development of a micro-graphite impregnated grinding wheel / M. Y. Tsai, S. X. Jian // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2012. – V. 56. – Pp. 94-101.
7. **Nosenko, V.A.** Grinding effectiveness increase using halogen-forming impregnator / V.A. Nosenko, A.P. Mitrofanov, A.A. Krutikova // *College Proceedings. Mechanical Engineering*. – 2015. – No.8 (665). – pp. 65-72.
8. **Butenko, V.** Method for improving the quality of the product obtained by abrasive treatment with impregnated tools / V. Butenko, L. Gusakova, D. Durov, B. Safoklov, O. Dolgov // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* Vol. 5, No. 6, 398-402 p. (2020).
9. **Patent the RF No. 2618682 S1 МПК В24D 3/34(2006.01).** *Method for Abrasive Tool Impregnation*. Claimed: 17.11.2015; published: 10.05.2017; Bull. No.13 / V.I. Butenko.
10. **Butenko, V.I.** *High Technologies for Long-operated Machinery Development* / V.I. Butenko, D.S. Durov, R.G. Shapovalov. – Taganrog: SFU Publishers, 2014. – pp. 404.
11. **Patent No. 2703063 the RF IPC B24 D 3/34 (2019).** *Method for Abrasive Tool Impregnation*: claimed: 2019-05-21; published: 2019-10-15 / V.I. Butenko, K.V. Davidenko; applicant: Butenko V.I.
12. **Ryzhkin, A.A.** *Physical Fundamentals of Metal Cutting*: manual / A.A. Ryzhkin, V.S. Dmitriev, M.M. Klimov [et al.]. – Rostov-upon-Don: Publishing Center of DSTU, 1996. – pp. 354.
13. **Butenko, V.I.** *Technological Compatibility of Operational Layers and Coatings* / V.I. Butenko. – Rostov-upon-Don, 2020. – pp. 169.
14. **Ostrovsky, V.I.** *Theoretical Fundamentals of Grinding* / V.I. Ostrovsky. – М.: Mechanical Engineering, 2010. – pp. 284.
15. **Dimov, Yu.V.** Mathematical model for definition of parts machining capacity with polymer-abrasive disks / Yu.V. Dimov, D.B. Podashev // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2018. – No.8. – pp. 56-63.
16. **Podashev, D.B.** *Parts Finishing Optimization with Elastic Tool*: monograph / D.B. Podashev. - LAP Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH&Co. KG (Germany), 2017.

Ссылка для цитирования:

Бутенко, В.И. Обеспечение качественных показателей деталей, обработанных импрегнированным абразивным инструментом / В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова, Д.С. Дуров, Ю.В. Петухов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 7. – С. 4 - 11. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-7-4-11.

Статья поступила в редакцию 24.03.21.  
Рецензент: д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, Мокрицкий Б.Я., член редсовета журнала «Вестник БГТУ».  
Статья принята к публикации 21.06.21.

**Сведения об авторах:**

**Бутенко Виктор Иванович**, д.т.н., профессор кафедры «Проектирование специальных авиационных комплексов», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), e-mail: butenkowiktor@yandex.ru.

**Гусакова Лиана Валерьевна**, к.т.н., доцент кафедры «Проектирование специальных авиационных комплексов», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), e-mail: GusakovaLV@mail.ru.

**Butenko Victor Ivanovich**, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. "Design of Special Aircraft Complexes", Moscow Aircraft Institute (National Research University), e-mail: butenkowiktor@yandex.ru.

**Gusakova Liana Valerievna**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Design of Special Aircraft Complexes", Moscow Aircraft Institute (National Research University), e-mail: GusakovaLV@mail.ru.

**Дуров Дмитрий Сергеевич**, к.т.н., доцент кафедры 104 «Технологическое проектирование и управление качеством», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), e-mail: drdsdrd@mail.ru/

**Петухов Юрий Владимирович**, к.т.н., доцент кафедры 104 «Технологическое проектирование и управление качеством», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), e-mail: uvp1946@mail.ru.

**Durov Dmitry Sergeevich**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. 104 "Technological Design and Quality Control", Moscow Aircraft Institute (National Research University), e-mail: drdsdrd@mail.ru.

**Petukhov Yury Vladimirovich**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. 104 "Technological Design and Quality Control", Moscow Aircraft Institute (National Research University), e-mail: uvp1946@mail.ru.