



2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технологической обработки

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

EVALUATION OF THE EFFECT OF GRINDING MODES ON THE ROUGH-NESS OF PLASMA COATINGS

✉¹ **Бухтояров Владимир Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, e-mail: 79081469891@yandex.ru

✉¹ **Bukhtoyarov Vladimir Nikolaevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: 79081469891@yandex.ru

Иванников Валерий Александрович, д.т.н., профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Ivannikov Valery Aleksandrovich, doctor of technical sciences, professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Голев Александр Дмитриевич, к.т.н., доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Golev Aleksandr Dmitrievich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. Представлено оборудование для лабораторных испытаний при проведении шлифования плазменных покрытий. Изложены результаты исследования о влиянии режимов механической обработки абразивным инструментом на качество поверхности плазменных покрытий. На поверхности были нанесены три материала: на основе железа, никеля и самофлюсующегося порошка для плазменного напыления, с последующим их шлифованием и изучением качества поверхности.

Annotation. The equipment for laboratory tests during grinding of plasma coatings is presented. The results of the study of the influence of the modes of mechanical treatment with an abrasive tool on the quality of the surface of plasma coatings are presented. Three materials were applied to the surfaces - based on iron, nickel and self-fluxing powder for plasma spraying, with their subsequent grinding and study of the surface quality.

Ключевые слова: ОБРАБОТКА АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ, ПОКРЫТИЕ, ШЕРОХОВАТОСТЬ, КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, РЕЖИМЫ ШЛИФОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ.

Keywords: ABRASIVE TOOL PROCESSING, COATING, ROUGHNESS, SURFACE LAYER QUALITY, GRINDING MODES, GRINDING ATTACHMENT.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Развитие и повышение эффективности современного машиностроения, автомобилестроения и других отраслей производства требует повышения удельных нагрузок в различных узлах механизмов и агрегатов. Все это, в свою очередь, вызывает необходимость усовершенствовать и разрабатывать новые способы упрочнения рабочих поверхностей деталей. Причём к данным поверхностям предъявляются противоречивые специфические требования, соответствующие условиям работы деталей. При значительных нагрузках данные поверхности должны одновременно хорошо сопротивляться изнашиванию и усталостному разрушению. При классических способах изготовления деталей чаще всего используется термическая и химико-термическая обработка, которая позволяет обеспечить высокую твёрдость поверхности в пределах 60 HRC, сохранив при этом достаточно вязкую сердцевину. Этого вполне достаточно для обеспечения долговечной работы поверхности трения на весь срок службы изделия как по износостойкости, так и по сопротивлению усталости. Но не всегда конструкция детали или условия её эксплуатации позволяют в качестве способа повышения физико-механических свойств рабочих поверхностей использовать термическую и химико-термическую обработку. Возникают ситуации, когда на поверхность могут воздействовать агрессивная химическая среда, повышенная температура, ударные нагрузки, а иногда деталь испытывает все это одновременно. Поэтому конструкторы и технологи вынуждены искать альтернативу термообработке. В качестве такой альтернативы может выступать технология нанесения плазменных покрытий.

Машиностроение обладает достаточным арсеналом технологий нанесения функциональных покрытий различного назначения на поверхности, для которых обеспечиваются необходимые физико-механические свойства, характерные для конкретного сочетания условий работы. При этом каждый из технологических способов нанесения покрытий имеет свои достоинства и недостатки, которые и определяют его применимость для деталей того или иного рода.

Плазменным напылением, имеющим несомненные преимущества, можно нанести широкую номенклатуру функциональных покрытий, начиная от термостойкого и заканчивая износостойким без излишней термической нагрузки на деталь. Это в значительной степени определяется наносимым порошкообразным материалом, в частности, его химическим составом, а также технологическими режимами нанесения конкретного покрытия. При этом физико-механические свойства материала покрытия, уровень внутренних напряжений в самом покрытии и прочность соединения с основой непосредственно оказывают влияние на выбор способов и режимов механической обработки поверхности детали для достижения необходимого качества поверхностного слоя [1-4].

В литературных источниках нет глубокого анализа получаемых свойств плазменных покрытий после окончательной механической обработки с учётом сравнительной характеристики режущего инструмента, а режимы механической обработки носят характер рекомендаций, не имеющих достаточного научного обоснования [5-7]. Кроме того, не установлена связь между конкретными технологическими режимами механической обработки и показателями качества поверхностного слоя, не вскрыты процессы и явления, происходящие при микрорезании абразивным инструментом неоднородного по составу ламелеобразного плазменно-порошкового покрытия.

Цель работы – установление влияния технологических режимов механической обработки шлифованием разнородных плазменно-порошковых покрытий на шероховатость поверхностного слоя деталей машин.

Полученные результаты могут быть полезны при проектировании узлов и деталей машин, при назначении технологических режимов механической обработки деталей с напыленными плазменными покрытиями. Опыт работы будет интересен специалистам, занимающимся изучением физико-механических свойств плазменных или других газотермических покрытий.

2 Материалы и методы

Для напыления покрытий использовалась разработанная на кафедре ПРЭМ установку воздушно-плазменного напыления [4-5]. В качестве материала покрытий были выбраны: 1) самофлюсующийся порошок ПГ-СР4 по ГОСТ 21448-75; 2) порошки на основе железа ПРХ18Н9 по ГОСТ 14086-68 ; 3) порошок на основе никеля и алюминия ПН85Ю15 по ТУ 14-127-104-78. Выбор материалов обусловлен широким спектром применимости и доступностью для ремонтных предприятий.

Предварительно перед напылением образцы подвергались пескоструйной обработке, обезжириванию, непосредственно после чего наносилось покрытие для предотвращения окислительного воздействия кислорода воздуха. Напыление осуществлялось согласно режимам, представленным в табл. 1 и рекомендованных в источниках [7-9]. Образцы выдерживали на протяжении 24 часов в предварительно нагретой печи, для релаксации внутренних напряжений в покрытии.

Таблица 1 – Режимы плазменного напыления порошковых материалов

Материал	Дистанция напыления, мм	Мощность дуги плазмотрона, кВт	Расход плазмообразующего воздуха, м ³ /с	Расход транспортирующего пропана, м ³ /с
ПГ-СР4	120	30,0 ... 31,0	$0,75 \cdot 10^{-3} \dots 0,78 \cdot 10^{-3}$	$0,50 \cdot 10^{-4} \dots 0,55 \cdot 10^{-4}$
ПРХ18Н9	100	24,0 ... 25,0	$0,80 \cdot 10^{-3} \dots 0,90 \cdot 10^{-3}$	$0,50 \cdot 10^{-4} \dots 0,55 \cdot 10^{-4}$
ПН85Ю15	170	37,0 ... 38,0	$0,65 \cdot 10^{-3} \dots 0,70 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-4} \dots 0,50 \cdot 10^{-4}$

Для шлифования плазменных покрытий применялось приспособление, внешний вид которого представлен на рис. 1 с установкой, а принципиальная схема на рис. 2.

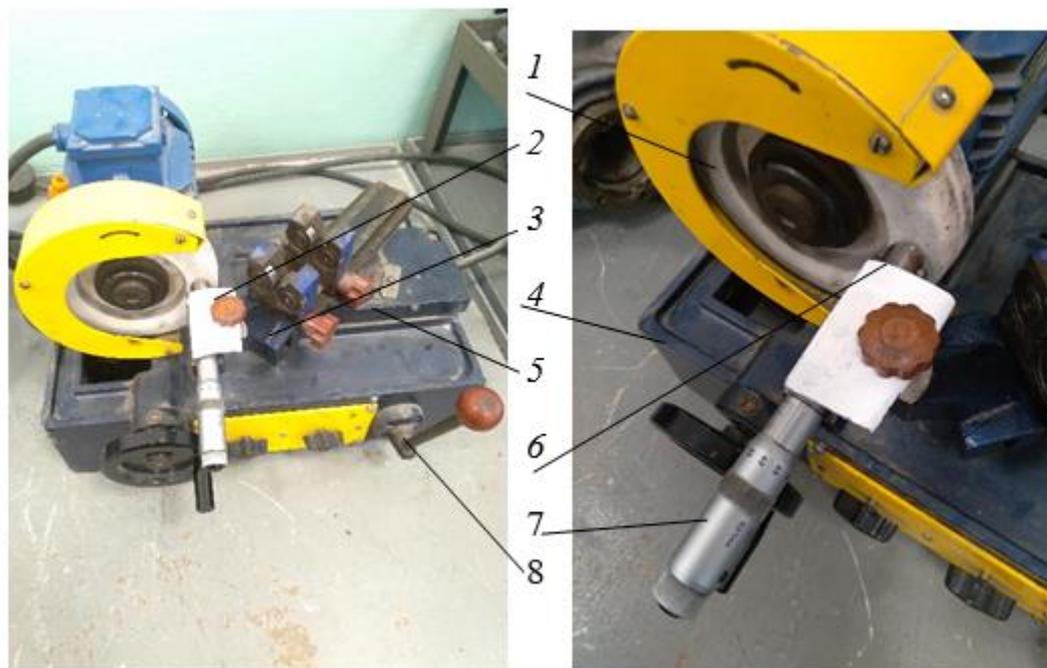
Устройство представляет собой станину 4, на которую устанавливается электродвигатель с шлифовальным кругом 1 и столом 5, на котором крепится призма 3. На призму 3 установлено приспособление 2, продольное перемещение происходит при помощи рукоятки 6 (рис. 1).

Установленное на подающий стол приспособление, представленное на рис. 2, настраивается следующим образом. На призму 1 устанавливается оправка 6, которая вместе с микрометром 7 накрывается крышкой 2 и вместе они фиксируются винтом 3. Микрометром 7 регулируется глубина резания. Образец перемещается до касания круга (определяется по появлению искр металла от круга без применения охлаждающей жидкости). Далее образец отводится и помощью микрометра 7 настраивается по шкале необходимая глубина резания и подавалась охлаждающая жидкость. С помощью продольной подачи образца осуществляем шлифование покрытия. Частота вращения электродвигателя регулируется тиристорным регулятором.

Шлифование на экспериментальной установке осуществляется с режимами: при скорости резания 17 м/мин глубина резания изменялась от 0,005 до 0,025 мм с интервалом 0,005 мм (рис. 3, а); при глубине резания 0,010 мм скорость резания менялась от 15 до 30 м/мин с интервалом 5 м/мин (рис. 3, б). Продольная подача образца осуществлялась вручную с помощью стола 5 рукояткой 6 и находилась в пределах 0,5 ... 1,0 м/мин (рис. 1). Охлаждающей жидкостью служила вода с добавкой 5 % эмульсола при расходе 0,6 ... 0,85 л/мин [10].

Для обработки плазменных покрытий применялся круг шлифовальный 25АF46 L6V35B3 ГОСТ 2424-83.

Для исследования шероховатости поверхности после шлифования использовался профилограф-профилометр 130 и набор калибровочных образцов «ПРО-10» производства «Завод ПРОТОН».



a – внешний вид установки; *б* – внешний вид приспособления;
1 – шлифовальный круг; 2 – приспособление (рис. 2); 3 – призма; 4 – станина;
5 – стол рабочий; 6 – оправка; 7 – микрометр; 8 – рукоятка

Рисунок 1 – Установка с приспособлением для обработки плазменных покрытий шлифованием

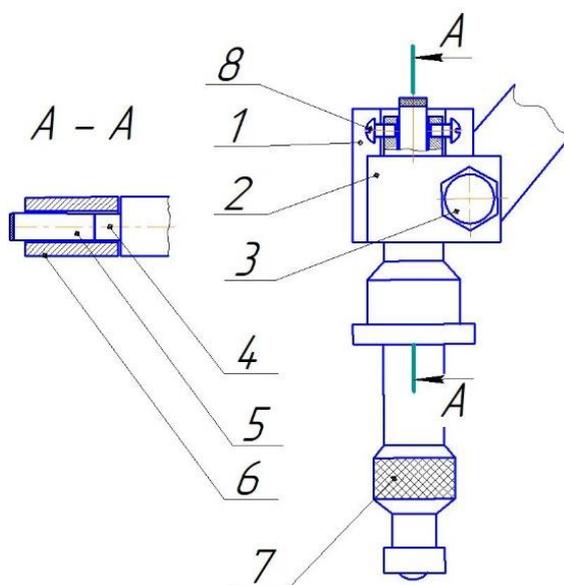
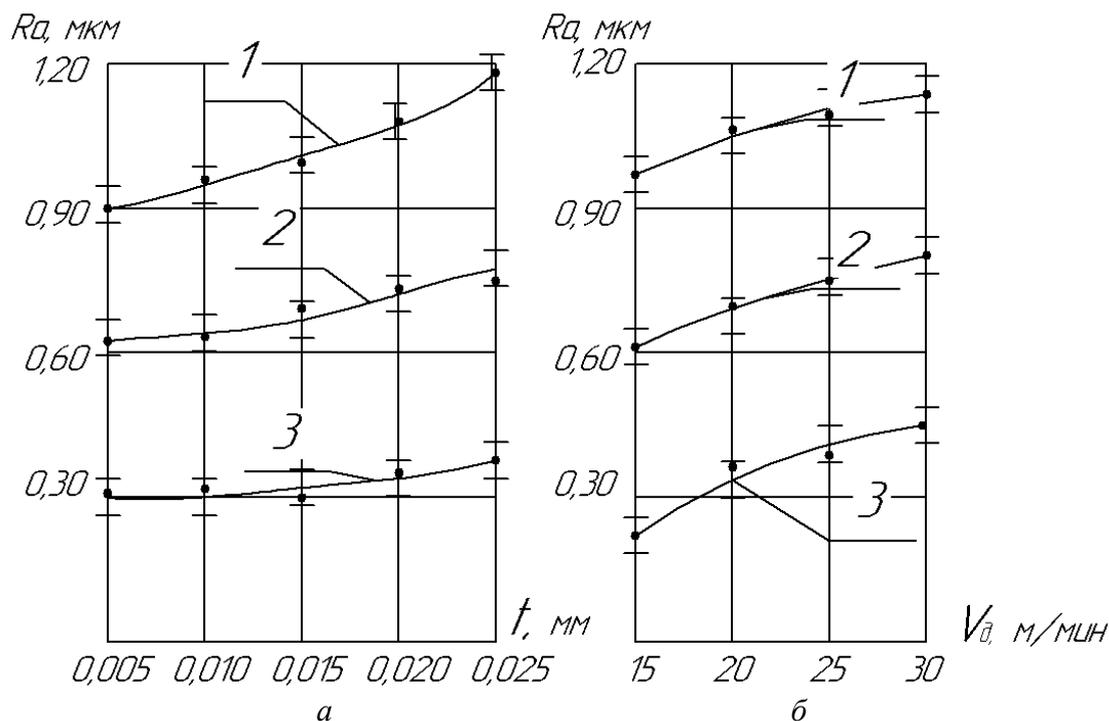


Рисунок 2 – Принципиальная схема приспособления для шлифования

3 Результаты исследований

Как показывают результаты исследований (рис. 3) шероховатость поверхности плазменных покрытий возрастает незначительно с увеличением глубины резания. Этот факт объясняется тем, что с увеличением глубины резания зерна шлифовального круга активнее изнашиваются, разрушая шлифовальный круг, что отрицательно влияет на качество поверхности [10-11].



a – влияние глубины резания при скорости резания 17 м/мин;
б – влияние скорости резания при глубине резания 0,010 мм;
 1 – порошок на основе железа ПРХ18Н9; 2 – порошок ПН85Ю15;
 3 – самофлюсующийся порошок ПГСР-4

Рисунок 3 – Зависимость шероховатости поверхности Ra от глубины резания t и скорости резания V_d при различных видах покрытий

Увеличение скорости резания приводит к увеличению числа элементарных резов и их количества на единицу длины детали, тем самым достигается снижение шероховатости поверхности покрытия [12-13].

Шероховатость поверхности плазменных покрытий в значительной степени определяется значением режимов резания и их физико-механическими свойствами. С увеличением частоты вращения появляются дополнительные вибрации, налипы на шлифовальный круг, микротрещины, открываются поры. Немаловажное значение играет число проходов: чем больше число проходов, тем менее шероховатой становится поверхность. С другой стороны, при этом открывается большее количество пор [14].

4 Обсуждение и заключение

В процессе проведения шлифования плазменных покрытий необходимо обработку проводить минимум в два этапа – предварительная и окончательная обработка. При этом нужно стремиться к тому, чтобы глубина и скорость резания была минимальными из рекомендуемых значений. Для срезания заданного припуска на механическую обработку, традиционно, необходимо выполнять в несколько проходов.

Как показывает опыт, в значительной степени ухудшает качество поверхностей наличие в составе напыляемого порошка вязких материалов, которые забивают шлифовальный круг, вызывают прилипание, появление пор, микро- и макротрещин.

Полученные данные работы позволяют сделать вывод, что в результате изменения режимов шлифования шероховатость поверхности покрытия при указанных в работе режимах варьируется в интервале от 0,3 до 1,2 Ra . Следовательно, меняются параметры макро- и микрогеометрии поверхности, определяемые физико-механическими свойствами материала поверхности. В

работе рассмотрено, как основные режимы шлифования влияют на шероховатость поверхности. Кроме данного показателя для рабочих поверхностей важны другие эксплуатационные показатели, такие как прочность соединения с основным материалом, износостойкость, напряжения в покрытии, то есть основные физико-механические свойства покрытия. В информационных источниках работ, посвященных влиянию шлифования на указанные характеристики, не так много, поэтому данный вопрос целесообразен для дальнейшего изучения.

Список литературы

- 1 Черноиванов, В. И. Восстановление коленчатых валов / Черноиванов В.И., Лялякин В.П. // Техника в сельском хозяйстве – 1986. - № 1. - с.57-59.
- 2 Яковлев, К. А. Разработка процесса термомеханического упрочнения поверхностей с газотермическими покрытиями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Яковлев К. А. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 1998 – 17 с.
- 3 Соснин, Н. А. Пламенные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, – 2008. – 406 с.
- 4 Бухтояров, В. Н. Технология восстановления цилиндрических поверхностей валов плазменным напылением с одновременным оплавлением выносной модулируемой дугой (на примере коленчатого вала): Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Бухтояров В.Н. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2003. – 16 с.
- 5 Иванников, В. А. Разработка процесса плазменного напыления покрытий на внутренние поверхности деталей машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Иванников В.А. / Воронежская гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2000. – 16 с.
- 6 Иванников, В. А. Изучение пористости плазменных покрытий из самофлюсующихся порошков после их оплавления плазматроном / Инновации в автомобильном транспорте. материалы Всероссийской научно-технической конференции / Иванников В.А., Бухтояров В.Н., Голев А.Д., Крухмалев С.Н. – Воронеж, 2022. – с. 48-52.
- 7 Чёсов, Ю. С. Шероховатость поверхности износостойких покрытий после финишной механической обработки / Ю. С. Чёсов, Е. А. Зверев, А. И. Попелюх, П. В. Трегубчак // Обработка металлов. – 2011. – № 1(50). – с. 12-14.
- 8 Пантелеенко, А. Ф. Исследование морфологии и микроструктуры покрытий из диффузионно-легированного порошка ПРХ18Н9, полученных плазменным напылением с последующим лазерным модифицированием / А. Ф. Пантелеенко // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение. – 2012. – № 4. – С. 37–39
- 9 Композиционные наноструктурные механически легированные порошки для газотермических покрытий: монография / Ф. Г. Ловшенко, Г. Ф. Ловшенко. – Могилев : Белорус. - Рос. ун-т, 2013. – 215 с.
- 10 Душко О.В. Алмазное шлифование карбидкремниевой керамики для машиностроения: монография / О.В. Душко, В.М. Шумячер. – Волгоград: ВолГАСУ, 2009. – 80 с.
- 11 Фельдштейн, Е. Э. Формирование обработанной поверхности при шлифовании пористых материалов / Е. Э. Фельдштейн // Машиностроение : республиканский межведомственный сборник научных трудов / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: И. П. Филонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Технопринт, 2003. – Вып. 19. – С. 357-363.
- 12 Маслов, Е. Н. Основы теории шлифования материалов / Е. Н. Маслов – М.: Машиностроение, 1974. – 318 с.
- 13 Якимов, А. В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
- 14 Ящерицын, П. И. Шлифование металлов / П.И. Ящерицын, Е.А. Жалнерович – Мн.: Беларусь, 1970. – 324 с.

References

- 1 Chernoiivanov, V. I. Restoration of crankshafts / Chernoiivanov V.I., Lyalyakin V.P. // Technique in agriculture – 1986. - No. 1. - pp.57-59.
- 2 Yakovlev, K. A. Development of the process of thermomechanical hardening of surfaces with gas-thermal coatings: Abstract. ... Candidate of Technical Sciences: 03/05/2011 / Yakovlev K. A. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 1998 – 17 p.

3 Sosnin, N. A. Flame technologies. Handbook for engineers / N. A. Sosnin, S. A. Ermakov, P. A. Topolyansky. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University. un-ta, – 2008. – 406 p.

4 Bukhtoyarov, V. N. Technology for restoring cylindrical surfaces of shafts by plasma spraying with simultaneous melting by an external modulated arc (using the example of a crankshaft): Abstract. ... Candidate of Technical Sciences: 03/05/2011 / Bukhtoyarov V.N. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 2003. – 16 p.

5 Ivannikov, V. A. Development of the process of plasma spraying of coatings on the inner surfaces of machine parts: Abstract. ... Candidate of Technical Sciences: 03/05/2011 / Ivannikov V.A. / Voronezh State Forestry Engineering. acad. – Voronezh, 2000. – 16 p.

6 Ivannikov, V. A. Studying the porosity of plasma coatings from self-fluxing powders after their melting with a plasmatron / Innovations in automobile transport. materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference / Ivannikov V.A., Bukhtoyarov V.N., Golev A.D., Krukhmalev S.N. – Voronezh, 2022. – pp. 48-52.

7 Chesov, Yu. S. Surface roughness of wear-resistant coatings after finishing mechanical treatment / Yu. S. Chesov, E. A. Zverev, A. I. Popelyukh, P. V. Tregubchak // Metalworking. – 2011. – № 1(50). – pp. 12-14.

8 Panteleenko, A. F. Investigation of morphology and microstructure of coatings from diffusion-doped powder PRH18H9 obtained by plasma spraying followed by laser modification / A. F. Panteleenko // Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Mechanical Engineering. – 2012. – No. 4. – pp. 37-39

9 Composite nanostructured mechanically alloyed powders for gasothermal coatings : monograph / F. G. Lovshenko, G. F. Lovshenko. – Mogilev : Belarus. - Russian University, 2013. – 215 p.

10 Dushko O.V. Diamond grinding of silicon carbide ceramics for machine building: monograph / O.V. Dushko, V.M. Shumyacher. – Volgograd: VolgGASU, 2009. – 80 p.

11 Feldstein, E. E. Formation of the treated surface during grinding of porous materials / E. E. Feldstein // Mechanical engineering : Republican interdepartmental collection of scientific papers / Belarusian National Technical University; editorial board: I. P. Filonov (Chief editor) [et al.]. – Minsk : Technoprint, 2003. – Issue 19. – Pp. 357-363.

12 Maslov, E. N. Fundamentals of the theory of grinding materials / E. N. Maslov – M.: Mashinostroenie, 1974. – 318 p.

13 Yakimov, A.V. Optimization of the grinding process / A.V. Yakimov – M.: Mashino-stroenie, 1975. – 176 p

14 IAshcheritsyn, P. I. Grinding of metals / P.I. IAshcheritsyn, E.A. Zhalnerovich – Mn.: Belarus, 1970. – 324 p.

© Бухтояров В. Н., Иванников В. А., Голев А. Д., 2024