

DOI: 10.53078/20778481_2022_1_31

УДК 621.9.044

М. П. Кульгейко, Н. М. Симанович, Г. С. Кульгейко

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СОВМЕЩЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ

M. P. Kulgeyko, N. M. Simanovich, G. S. Kulgeyko

ON THE POSSIBILITY OF USING THE COMBINED TECHNOLOGY OF MAGNETOELECTRIC PROCESSING TECHNIQUES

Аннотация

В работе представлен вариант исполнения технологического модуля для совмещенной магнитно-электрической обработки. Предложенное техническое решение позволяет реализовать в одном устройстве (совмещение в пространстве) процесс магнитно-абразивной обработки и магнитно-электрического упрочнения. При этом оба процесса могут осуществляться одновременно (совмещение во времени) с достижением синергетического эффекта, что обеспечивает повышение эффективности технологии формирования поверхностного слоя обрабатываемой детали с заданными свойствами.

Ключевые слова:

совмещенные технологии, технологический модуль, магнитно-абразивная обработка, магнитно-электрическое упрочнение.

Для цитирования:

Кульгейко, М. П. К вопросу о возможности реализации совмещенной технологии магнитно-электрических способов обработки / М. П. Кульгейко, Н. М. Симанович, Г. С. Кульгейко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1 (74). – С. 31–38.

Abstract

The paper presents the version of the technological module for combined magnetoelectric processing. The proposed technical solution makes it possible to realize the process of magnetic-abrasive treatment and magnetoelectric hardening in one device (by combining in space). Furthermore, the two processes can be carried out simultaneously (by combining in time), thus achieving a synergistic effect, which provides an increase in the efficiency of the technology used for forming a surface layer of the workpiece with specified properties.

Keywords:

combined technologies, technological module, magnetic-abrasive treatment, magnetoelectric hardening.

For citation:

Kulgeyko, M. P. On the possibility of using the combined technology of magnetoelectric processing techniques / M. P. Kulgeyko, N. M. Simanovich, G. S. Kulgeyko // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 1 (74). – P. 31–38.

Введение

В настоящее время одним из главных и основополагающих методологических подходов к созданию современных технологий является принцип совмещенности [1]. Совмещение отдельных процессов обработки – важный

фактор повышения эффективности производства за счет сокращения длительности производственного цикла, числа рабочих мест, уменьшения количества необходимых процессов и операций. Вместе с тем, совмещенность технологий направлена на решение проблем создания качественно новых объектов, из-

делий с заданными функциональными свойствами.

Реализация принципа совмещенности предполагает не просто объединение объектов или только суммирование выполняемых ими функций. Речь идет о совмещенности выполнения функций объектами во времени и в пространстве при сокращении их общего количества. Это достигается за счет эффекта совместного действия, т. е. синергетического эффекта. И в этом смысле принцип совмещенности является методологической основой не только создания, но и развития техники и технологии [1].

Постановка задачи

Совмещенные технологии позволяют осуществлять на одном рабочем месте разнохарактерные процессы за счет совмещения их функциональных назначений. Это возможно в условиях преемственности и взаимосвязанности технологий. К таким технологиям относятся, в частности, магнитно-электрические процессы обработки [2].

Магнитно-электрические способы обработки представляют собой комплекс взаимосвязанных технологий, характеризующихся рядом общих условий их реализации, т. к. они базируются на использовании одних и тех же энергетических факторов: магнитного поля, электрического тока и механического силового воздействия. Магнитно-абразивную обработку (МАО) и магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) можно проводить на одном и том же оборудовании [3], т. к. в обоих процессах силовым источником и упругой инструментальной связкой является энергия магнитного поля. При этом магнитное поле оказывает непосредственное влияние на материал детали, на структурные и фазовые превращения в поверхностном слое, на физико-механические и эксплуатационные свойства поверхности [3–6]. При различной роли электрической и механической энергии

(первая имеет определяющее значение при МЭУ, а вторая – при МАО) они обе имеют место в процессах реализации технологии. В обоих процессах могут применяться одни и те же порошковые ферроабразивные материалы [7–9], т. е. ферромагнитные абразивы для чистовой обработки деталей могут использоваться для формирования упрочняющих покрытий. Очевидная взаимосвязанность магнитно-электрических технологий позволяет на их основе реализовать различные технологические направления генерации поверхностей деталей [2].

Таким образом, совмещенность способов магнитно-электрической обработки (МЭО) основывается на общности энергетических факторов процессов, их технического и технологического оснащения, а также соответствующих условий их реализации. Здесь важным является не только непрерывность, преемственность и взаимосвязанность технологий, но и свойство инверсионности факторов и параметров процессов обработки. Достоинства и преимущества совмещенной магнитно-электрической обработки с максимальной эффективностью можно обеспечить при реализации процессов на одном оборудовании, в одном технологическом комплексе.

Цель работы – разработка технологического модуля реализации процесса совмещенной технологии магнитно-электрической обработки.

Основная часть

Схема модуля совмещенной технологии магнитно-электрической обработки представлена на рис. 1. В представленном устройстве сердечник 1 электромагнита установлен с возможностью вращения в катушке 2. Совместно с сердечником вращается диэлектрическая втулка 3 с коллектором 4. Через коллектор 4 и ось 5 сердечника с помощью скользящих контактов 6 и 7 в зону обработки подается электрический ток.

Ферроабразивный порошок подается в рабочий зазор между деталью и торцом полюсного наконечника. Величина ра-

бочего зазора поддерживается с помощью диэлектрического шарика 8.

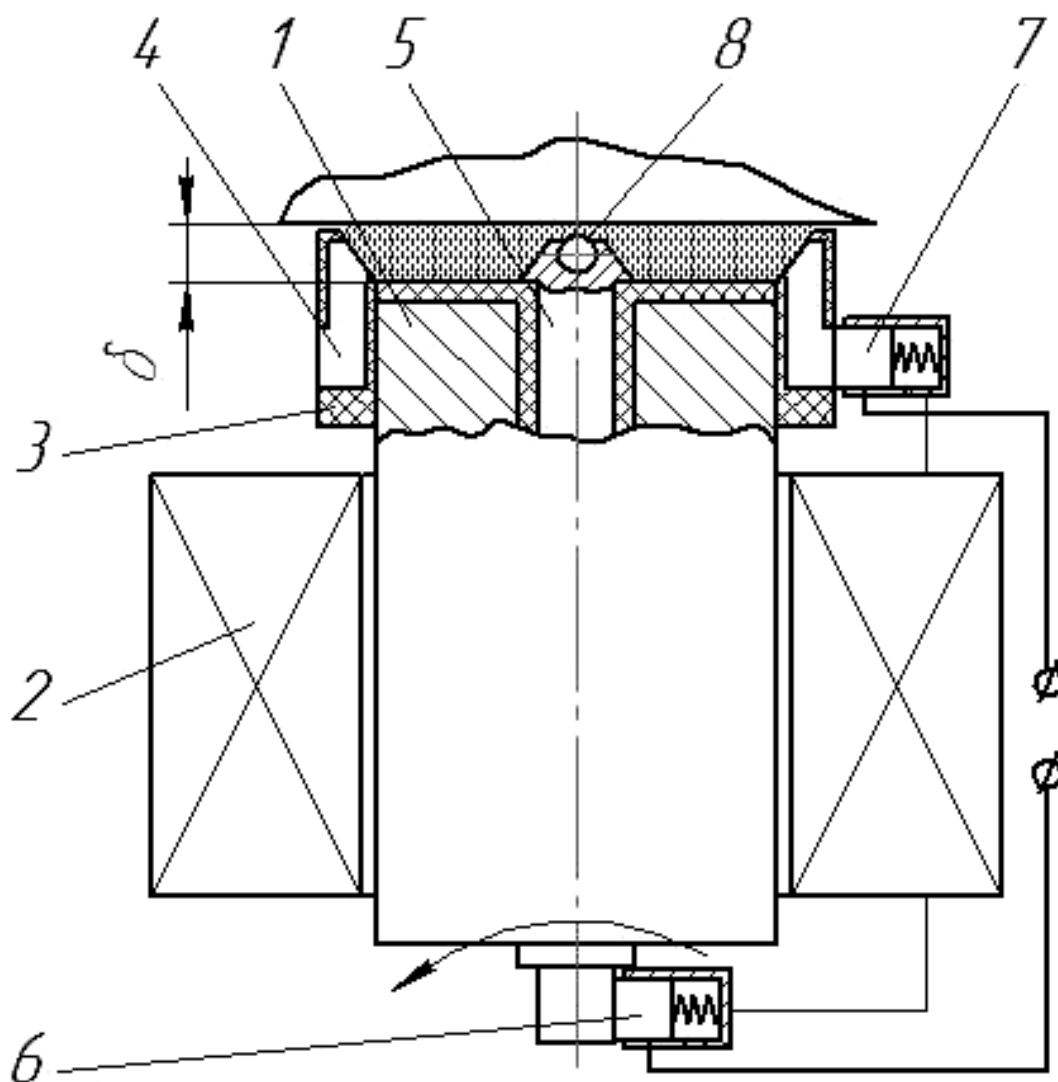


Рис. 1. Модуль совмещенной магнитно-электрической обработки

При работе модуля сердечник электромагнита 1 приводится во вращение, а обрабатываемой детали сообщаются необходимые рабочие движения. Ферромагнитный порошок, расположенный на торце сердечника и охваченный внутренней поверхностью втулки 3, образует жестко-эластичную щетку, которая вращается совместно с полюсным наконечником. При этом шарик 8 наконечника 5 контактирует с обрабаты-

мой поверхностью, свободно вращаясь в гнезде наконечника и обкатываясь по поверхности детали, и поддерживает необходимый рабочий зазор δ для размещения порошка. От объема порошка и размеров рабочей области зависит степень уплотнения порошковой массы, что, в свою очередь, наряду с некоторыми другими факторами (характеристикой магнитного поля, магнитными свойствами материала порошка и т. п.),

определяет жесткость порошкового инструмента.

Через порошковую массу пропускают электрический ток заданной величины в пределах до 150 А, замыкая цепь от источника электрического тока посредством двух скользящих контактов 6 и 7 через наконечник 5 и коллектор 4. Электроизоляционное термостойкое покрытие, выполненное на торце сердечника, предотвращает замыкание электрической цепи через сердечник, предохраняя его от оплавления. Плотность тока, проходящего через ферроабразивный порошок, зависит от площади соответствующего сечения рабочей зоны и степени ее заполнения зернами ферропорошка.

Векторная схема процесса изображена на рис. 2. Электрический ток подается через ферромагнитный порошок в объеме, охваченном сектором

с углом α . Величина сектора пропускания тока определяется количеством замкнутых в электрическую цепь пластин коллектора, т. е. $\alpha = 2\pi t/n$, где t – количество замкнутых пластин коллектора, n – общее количество пластин коллектора. За счет изменения количества замыкаемых в электрическую цепь пластин коллектора можно изменять угол α сектора пропускания тока, выбирая его величину от 0 до 2π . Таким образом, при отсутствии электрического тока происходит процесс магнитно-абразивной обработки, а при пропускании тока соответствующей величины через весь объем порошка осуществляется процесс магнитно-электрического упрочнения. В промежуточных вариантах реализуется комбинированная обработка, совмещающая в определенном соотношении оба процесса.

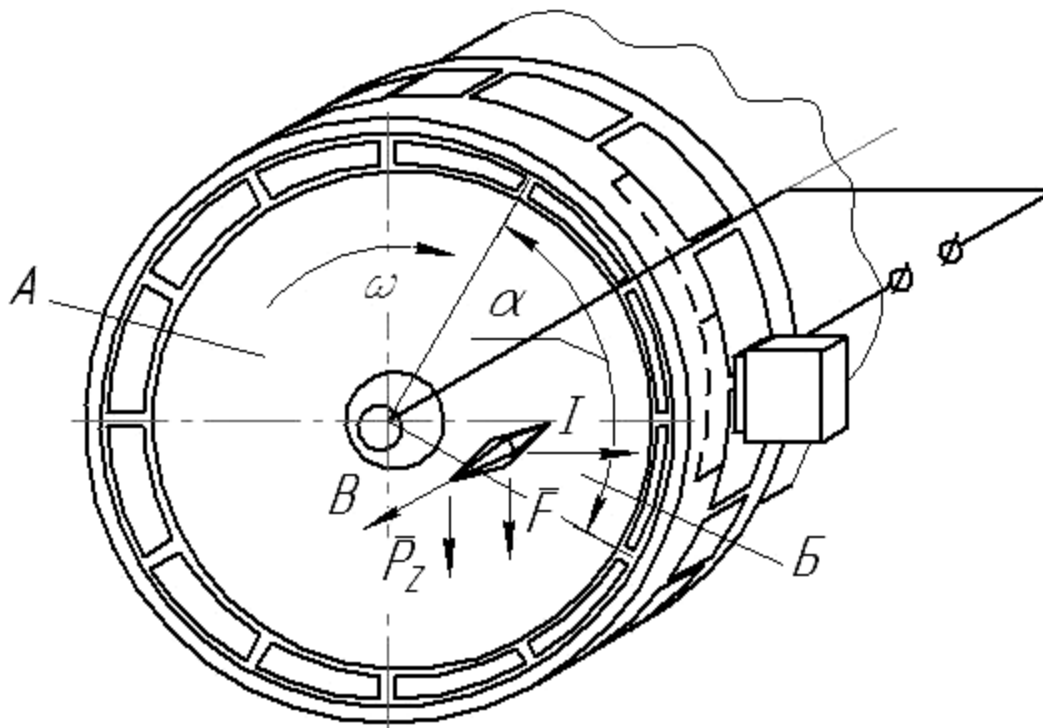


Рис. 2. Векторная схема процесса совмещенной магнитно-электрической обработки

Например, в условиях, представленных на рис. 2, через сектор α , охватывающий три пластины коллектора,

проходит электрический ток. В результате порошок, вращающийся совместно с сердечником электромагнита, перио-

дически проходит зону A без тока (сектор в $2\pi - \alpha$ радиан) и зону B пропускания тока (сектор в α радиан). Следовательно, в зоне A порошок осуществляет процесс абразивного микрорезания и пластического деформирования, интенсивность которого определяется силами резания, и в первую очередь тангенциальной составляющей P_z , величина которой, в свою очередь, определяется силами магнитного поля.

В рабочей области пропускания тока (зона B) частицы порошка представляют собой проводники с током в магнитном поле, на которые в соответствии с законом Ампера действует возникающая магнитная сила F (см. рис. 2). При этом направление вращения сердечника и электрического тока выбирается таким образом, чтобы вектор силы F был коллинеарен вектору линейной скорости порошка и, следовательно, вектору составляющей P_z силы резания, действующей на обрабатываемую поверхность. В результате в зоне B увеличивается сила воздействия порошка на обрабатываемую поверхность, которая складывается из двух составляющих, одна из которых определяется силами магнитного поля, действующими на ферромагнитное тело (порошок), а вторая составляющая представляет собой пондеромоторную силу, действующую на проводник (частицы порошка) с током в магнитном поле. Таким образом, в зоне пропускания тока увеличивается интенсивность процесса микрорезания, что способствует повышению производительности процесса MAO.

При пропускании тока до 10...15 А выделенное тепло разогревает поверхность детали и оплавляет вершины микровыступов обрабатываемой поверхности. В результате нагрева происходит разупрочнение границ зерен обрабатываемого материала, снижаются прочностные свойства поверхностного слоя. Это способствует интенсификации съема материала, в первую очередь с вершин микровыступов, и их сглажива-

нию. Следует отметить, что в [6, 10, 11] определенная роль в интенсификации процесса MAO и улучшении физико-механических свойств обработанной поверхности отводится электрическим токам. С целью интенсификации процесса диспергирования материала и выглаживания микрорельефа формируемой поверхности при тонкой финишной обработке под руководством автора [6] были предложены способы и устройства MAO с наложением электрического тока на зону обработки.

При увеличении силы тока до 40...50 А выделенное тепло, наряду с оплавлением микровыступов обрабатываемой поверхности, нагревает и оплавляет кромки ферромагнитного порошка. В результате происходят проникновение элементов материала порошка в поверхностный слой детали, адсорбция поверхностью детали ионов и атомов ферропорошка. Осуществляется процесс легирования поверхности детали химическими элементами, находящимися в составе порошка. При этом происходит упрочнение поверхности без существенного изменения размеров, что соответствует «мягкому» режиму электроискрового упрочнения [12, 13]. Так как одновременно происходит и процесс обработки, т. е. с поверхности детали удаляются окислы, то образуется так называемая ювенильная поверхность [7], или по терминологии, используемой в технологической практике, – «чистый металл» [14]. Это способствует интенсификации процесса диффузии химических элементов.

Дальнейшее увеличение силы тока до 100...140 А [3] приводит к интенсивному выделению тепла в зоне обработки, расплавлению зерен ферромагнитного порошка и оплавлению поверхности детали. Образовавшиеся капли расплава совместным действием электрического и магнитного полей ускоряются и наносятся на обрабатываемую поверхность. В результате, наряду с процессом диффузии химических элемен-

тов, происходит наращивание поверхности детали с увеличением ее размеров за счет материала порошка. Таким образом, по сути, осуществляется выход на режим электромагнитной наплавки, т. е. реализуется технология магнитно-электрического упрочнения.

В многоэлектродной системе, образованной уплотненными частицами ферропорошка, взаимное влияние дуговых разрядов способствует нагреву и плавлению порошка. Однако при малой силе разрядного тока (по данным [3], меньше 80 А) и большом объеме порошка в секторе пропускания тока энергии электрического тока может быть недостаточно для возбуждения дугового разряда. В результате возможно прерывание импульсного характера протека-

ния процесса, т. к. выделяемой теплоты недостаточно для расплавления порошка и оплавления поверхности детали. В данном случае нарушается стабильность технологического процесса, имеет место переходный режим обработки, характеризующийся нестабильностью параметров. А это, следовательно, обуславливает неопределенность результатов процесса магнитно-электрической обработки.

Изменение режимов процесса МЭО можно представить в виде графической интерпретации в координатах «сила тока I – изменение толщины поверхностного слоя h_n (h_w)» (рис. 3). Здесь h_n и h_w – толщина наносимого покрытия и величина съема материала соответственно.

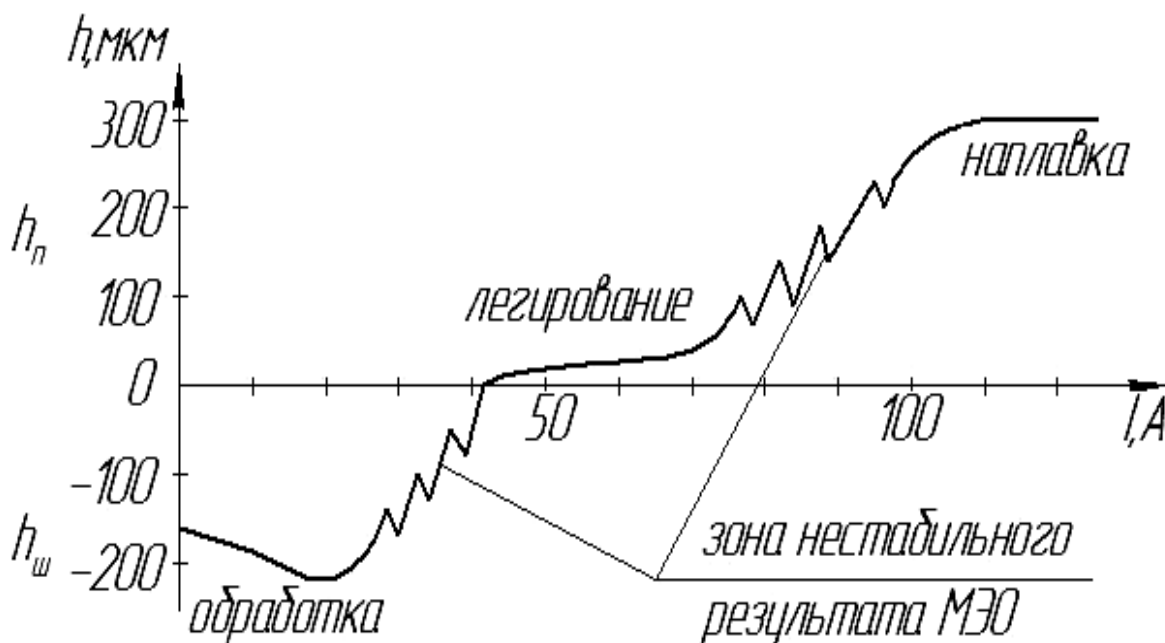


Рис. 3. Режимы процессов магнитно-электрической обработки

Таким образом, данный модуль позволяет реализовать технологию магнитно-электрической обработки в различных режимах процесса, т. е. в одном устройстве (на одном рабочем месте) представляется возможным осуществлять различные способы МЭО – в диа-

пазоне от МАО к МЭУ с переходным процессом легирования. Поскольку в зоне с пропусканием тока реализуется преимущественно упрочняющий режим, а в зоне без пропускания тока осуществляется чистовая обработка, то в зависимости от направления движения подачи

возможны два варианта реализации процесса совмещенной обработки.

Первый вариант. Движение подачи направлено таким образом, что обрабатываемая поверхность проходит вначале зону обработки с пропуском тока (см. рис. 2, зона *Б*), а затем зону без пропуска тока (зона *А*). Тогда в зоне *Б* осуществляется процесс МЭУ, т. е. происходит наплавка поверхностного слоя, а в зоне *А* – зачистка вновь образованной поверхности. В результате обеспечивается менее развитый рельеф поверхности, т. к. максимальный эффект выравнивания достигается при сглаживании неровностей в размягченном состоянии [3, 6].

Второй вариант. Обрабатываемая поверхность последовательно проходит зону без пропуска тока (см. рис. 2, зона *А*), а потом зону с пропуском тока (зона *Б*). В этом случае вначале происходит чистовая обработка поверхности, а затем упрочнение. При этом процесс наращивания поверхностного слоя идет по очищенной от окислов и загрязнений поверхности, т. е. по чистому металлу. Это способствует ускорению процесса диффузии и улучшению адгезии материала порошка с основным металлом, а следовательно, снижается уровень энергозатрат и повышается качество сформированного

поверхностного слоя.

Таким образом, применением данного модуля достигается совмещенность способов магнитно-электрической обработки не только в пространстве, но и во времени. Изменяя факторы и параметры процесса МЭУ на основе принципа технологической инверсии, можно управлять процессом обработки, изменяя его от «убыточного» режима (съем материала) до легирования и наращивания поверхностного слоя. В результате оптимального совмещения процессов обеспечиваются заданные геометрические и физико-механические характеристики поверхности обрабатываемой детали.

Заключение

Представленное конструктивное исполнение технологического модуля позволяет осуществлять функциональное объединение в одном устройстве (совмещенность в пространстве) магнитно-абразивной обработки и магнитно-электрического упрочнения. При этом реализация обоих процессов генерации поверхностного слоя может проходить одновременно (совмещенность во времени) с использованием синергетического эффекта, т. е. эффекта совместного действия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокие технологии размерной обработки в машиностроении / А. Д. Никифоров [и др.]. – Москва: Высшая школа, 2007. – 327 с.
2. Кульгейко, М. П. Роль инверсионности способов магнитно-электрической обработки при создании технологических комплексов генерации поверхностей / М. П. Кульгейко, Г. В. Петришин, Н. М. Симанович // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2020. – № 4 (69). – С. 21–30.
3. Мрочек, Ж. А. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин / Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, И. П. Филонов. – Минск: Технопринт, 2000. – 268 с.
4. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 176 с.
5. Скворчевский, Н. Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н. Я. Скворчевский, Э. Н. Федорович, П. И. Ящерицын. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 215 с.
6. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988. – 270 с.
7. Хомич, Н. С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н. С. Хомич. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.

8. **Хомич, Н. С.** Работоспособность ферромагнитных абразивов в условиях автоматизированной обработки длинномерных изделий / Н. С. Хомич, М. П. Кульгейко, А. П. Лепший // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1991. – Вып. 19. – С. 49–53.

9. Исследование износостойкости покрытий из ферромагнитных порошков в условиях трения скольжения со смазкой / Ф. И. Пантелеенко [и др.] // Вестник БГТУ. – 2004. – № 4 (28). – С. 39–42.

10. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С. А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С. А. Чижика и М. Л. Хейфеца. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 376 с.

11. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко [и др.]; под общ. ред. М. Л. Хейфеца и С. А. Клименко. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 463 с.

12. **Шемегон, В. И.** Электроискровое упрочнение пробивных штампов / В. И. Шемегон // СТИН. – 1995. – № 5. – С. 27–29.

13. **Химухин, С. Н.** Структура и свойства металлов и сплавов при электроискровом воздействии: монография / С. Н. Химухин, Хосен Ри, Э. Х. Ри. – Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2015. – 127 с.

14. **Кочергин, К. А.** Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Ленинград: Машиностроение, 1987. – 240 с.

Статья сдана в редакцию 23 декабря 2021 года

Михаил Петрович Кульгейко, канд. техн. наук, доц., Белорусский государственный университет транспорта. Тел.: 8-029-141-35-64. E-mail: kulgeyko82@rambler.ru.

Наталья Михайловна Симанович, ассистент, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Тел.: 8-044-545-83-59. E-mail: nataliasimoniha1991@gmail.com.

Галина Степановна Кульгейко, ст. преподаватель, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Тел.: 8-044-791-38-69. E-mail: kulgeyko@gstu.by.

Mikhail Petrovich Kulgeyko, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian State University of Transport. Tel.: 8-029-141-35-64. E-mail: kulgeyko82@rambler.ru.

Natalia Mikhailovna Simanovich, assistant professor, P. O. Sukhoi State Technical University of Gmel. Tel.: 8-044-545-83-59. E-mail: nataliasimoniha1991@gmail.com.

Galina Stepanovna Kulgeyko, senior lecturer, P. O. Sukhoi State Technical University of Gmel. Tel.: 8-044-791-38-69. E-mail: kulgeyko@gstu.by.