

условиях эксплуатации. Поэтому до сих пор ведутся исследования в этом направлении, которые заключаются в выборе оптимальных параметров лазерной обработки (мощности и времени излучения), а также нанесение узора, который бы обеспечил необходимую твердость и пластичность поверхностного слоя гильзы цилиндра [11].

Заключение. Таким образом, проведенный анализ показал, что для чугунных и стальных гильз цилиндров наиболее действенными способами восстановления лазерной обработкой являются лазерное упрочнение и лазерная наплавка, которые существенно увеличивают износостойкость и прочность поверхностного слоя. А для алюминиевых гильз, которые в последнее время все чаще стали заменять гильзами из железоуглеродистых сплавов, на современном этапе применяется в основном только лазерная наплавка с введением различных легирующих элементов, призванных повышать их эксплуатационные свойства. Однако поиск оптимальных методов лазерной обработки поверхностного слоя как для гильз цилиндров из железоуглеродистых сплавов, так и для гильз, изготовленных из алюминиевых сплавов, продолжается из-за огромного количества всевозможных вариантов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Fuch, H. Leichtmetallwerkstoffe / H. Fuch, M. Wappelhorst // MTZ: Motortechn. – Z. 2003. – 64. – №1. – P. 868–875.
2. Schwaderlapp, M. Base engine design improves fuel efficiency / M. Schwaderlapp, J. Dohmen, N. Andors / Ing. Automob. – 2003. – № 726. – P. 44–46.

3. Шляхтов, В.А. Снижение износа цилиндропоршневой группы дизелей / 1 Междунар. конф. «Энергодиагностика» – Москва, сент. 1995. – Т. 3. – С. 57.
4. Sauer, H. Hoherer Laufbahn // Auto, Met. und Sport. – 1999. – № 20. – P. 92–93.
5. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К.И. Крылов, В.Г. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 363 с.
6. Позняк, Г.Г. Современные методы проектирования нанотехнологических процессов в машиностроении. / Г.Г. Позняк, В.В. Копылов, В.А. Погов. – Москва, 2008. – 150 с.
7. Майоров, В.С. Исследование структуры и свойств сплавов при лазерной обработке и разработка технологии упрочнения промышленных изделий / В.С. Майоров, А.Н. Сафинов, В.М. Тарасенко. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 1987. – 664 с.
8. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов. / Под ред. А.Г. Григорьянца. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 634 с.
9. Mayer, H.W. Winiger Reibungsverluste dank Laserstrahl // AMZ: Auto, Mot., Zubehor. – 2005. – № 10 – P. 20–21.
10. Седунов, В.К. Изменение структуры и свойств гильзы цилиндра ДВС после лазерной обработки / В.К. Седунов, В.М. Андрихин, Н.Т. Чекунова // МитОМ. – 1980. – № 9. – С. 10–13.
11. Bruni, L. Silgral. A new silicon-graphite-aluminium alloy for cylinder liners / L. Bruni, P. Igiera // Aotomit. Eng. (Gr. Brit.) – 1987. – № 1. – P. 29–32, 34–35.

Материал поступил в редакцию 13.04.12

KOSTRITSKY V.V., LISSOVSKY A.L. Laser processing of sleeves of cylinders

Various methods of laser processing of a blanket of sleeves of cylinders made of zhelezouglерodisty alloys (steel and pig-iron sleeves) and aluminum alloys are given. Influence of laser radiation on structure and property of these alloys for the purpose of identification of an optimum method of hardening of a blanket of steel, pig-iron and aluminum sleeves of cylinders is considered.

УДК 621.833

Григорьев В.Ф., Дакало Ю.А., Плющев Ю.И.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЬЕВ ПРИРАБОТКОЙ

Введение. Увеличение выпуска конкурентоспособной продукции машиностроения стимулирует поиск и внедрение экономичных и производительных методов обработки, поскольку основной задачей производства является изготовление качественных изделий с наименьшей трудоёмкостью и себестоимостью.

Значительную долю в трудоёмкости изготовления машин составляет трудоёмкость изготовления зубчатых колёс. Одним из методов отделочной обработки эвольвентных поверхностей зубьев зубчатых колёс является зубошлифование. Данный метод является распространенным и точным способом отделки зубчатых колёс, обеспечивающим надежные результаты и позволяющим получать требуемое качество поверхности, в первую очередь шероховатость. Обычно шлифованию подвергаются зубья ответственных цементованных и закаленных колёс. Однако данный метод обработки является трудоёмким и дорогостоящим способом обеспечения шероховатости и других показателей качества поверхности, определяющих её ресурс.

Для повышения долговечности пар трения обычно стараются уменьшить их приработку в процессе эксплуатации, добиваясь финишной обработкой близкой к оптимальной равновесной шероховатости. Заслуживает внимания и более экономичный подход, связанный с

переносом финишных операций на этап приработки деталей [1].

Такой подход позволяет в обоснованных случаях исключить из технологического процесса дорогостоящие отделочные операции, повысить производительность и снизить затраты на изготовление машин. Так, одним из вариантов совершенствования технологии изготовления эвольвентных зубчатых колёс может быть замена отделочной операции зубошлифования последующей приработкой в процессе эксплуатации для достижения требуемой шероховатости. Целью исследования было установление возможности такой замены при изготовлении синхронизирующих зубчатых колёс роторных насосов серий НМ, НР, ВЗ-ОР2-А-2 для снижения трудоёмкости.

Согласно ГОСТ 27674-88 под приработкой понимается процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств поверхностных слоёв материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Процесс приработки сопряженных поверхностей сопровождается сложными необратимыми явлениями, протекающими в тонком поверхностном слое.

При трении в начальный период приработки участвует очень большое количество контактирующих между собой выступов, вслед-

Григорьев Владимир Федорович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Дакало Юрий Александрович, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Плющев Юрий Иванович, зам. генерального директора по производству ОАО «Брестмаш», доцент.

Машиностроение

ствии чего истинные напряжения на образовавшихся площадках могут быть велики, поэтому происходит интенсивное разрушение неровностей, полученных при механической обработке, их дробление и пластическое деформирование, сопровождаемое наклёпом поверхностного слоя.

В результате приработки происходит сглаживание наиболее выступающих неровностей, частичное или полное уничтожение первоначальных и установление новых, отличных от первоначальных по форме и размерам.

При граничном трении поверхностей с относительно высокими неровностями вследствие разрыва масляной плёнки имеет место металлический контакт по выступам данных поверхностей. Интенсивное деформирование и смятие вершин отдельных выступов происходит в начале работы двух трущихся поверхностей, пока они не приработаются, т.е. неровности этих поверхностей не примут более устойчивой формы и размеров. При приработке выступы приобретут оптимальную кривизну, обеспечивающую наибольшую устойчивость масляной плёнки.

Под оптимальной эксплуатационной шероховатостью понимается воспроизводимая в стационарных условиях шероховатость, которой соответствует наименьшая интенсивность изнашивания. Определение «равновесная» шероховатость предлагается понимать как шероховатость, устанавливающуюся на фрикционном контакте при неизменном режиме трения после завершения процесса приработки.

Одной из важных закономерностей приработки является независимость равновесной шероховатости от исходной [2]. Имеются экспериментальные подтверждения того факта, что по окончании приработки устанавливается шероховатость, не зависящая от величины и характера первоначальной шероховатости, полученной при механической обработке, а зависящая от условий изнашивания. Данная шероховатость является оптимальной для данных условий трения и обеспечивает минимальное изнашивание. Она может быть как больше, так и меньше исходной. В период стационарного изнашивания, протекающего после приработки, эта шероховатость воспроизводится на всём последующем процессе нормальной работы трущегося сопряжения.

На рисунке 1 приведён график изменения параметра шероховатости R_a во времени при приработке, из которого следует, что при выбранных условиях работы любая шероховатость приходит к равновесной R_a пр. [3].

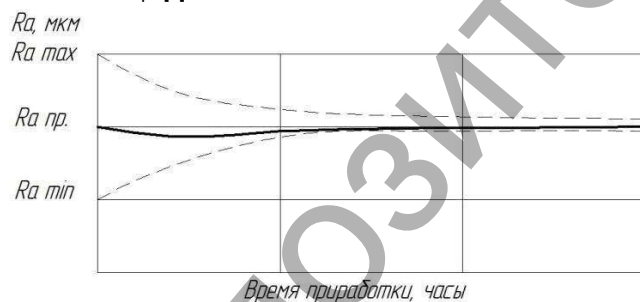


Рис. 1. График изменения параметра шероховатости R_a во времени при приработке

Таким образом, с точки зрения износа шероховатость поверхности не зависит от первоначальной шероховатости, полученной при механической обработке. При этом шероховатость поверхности, образованная при трении, не может быть точно воспроизведена путем механической обработки.

На основании вышеприведенных положений были сформулированы технические мероприятия по совершенствованию технологии обработки: зубошлифование исключается из техпроцесса, зубонарезание производится более точными червячными фрезами, предшествующая абразивной обработке закалка ТВЧ заменяется улучшением.

По исходному рабочему чертежу точность колёс по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев соответствует 7-й степени точности, шероховатость эвольвентных поверхностей зубьев $R_a=1,6$ мкм, твёрдость зубьев HRC 43...48.

Снижение твёрдости до HB 269...302 (HRC 28...33) позволило заменить операцию шлифования фрезерованием с использованием более точной фрезы класса AA - 2510-4014AA P18 ГОСТ 9324-80, обеспечивающей седьмую степень точности по трем нормам [4]. При этом отделка для достижения эксплуатационной шероховатости переносится на этап приработки.

Кроме этого, было предложено исключение из технологического процесса плоскошлифовальной операции, сокращение числа контрольных операций с восьми до шести, а также слесарных с девяти до семи. В результате предложенных изменений технологии штучно-калькуляционное время изготовления колёс сократилось с 64,08 до 44,03 минут (на 31%), а следовательно, снизилась себестоимость их изготовления.

После изготовления зубчатых колёс и сборки роторных насосов производилась приработка на заводском испытательном стенде под рабочей нагрузкой в течение 2,5 часов. При этом контролировался уровень шума при работе насосов, который во всех случаях не превышал допустимого значения 80 дБА.

Затем после разборки изделия производилось измерение параметров шероховатости эвольвентной поверхности зубьев для оценки приемлемости предлагаемых изменений.

Применительно к эвольвентным рабочим поверхностям прямозубых колёс за направление измерения было принято направление вдоль эвольвенты, соответствующее относительноному обкатному движению при работе. При таком выборе особенностью контроля шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колёс является необходимость измерения по криволинейной (эвольвентной) траектории в условиях ограниченного пространства впадины зубьев с модулем 2 мм.

Измерение шероховатости производилось портативным прибором для профильного измерения шероховатости TR200 (Time Group Inc.), который позволяет контролировать тринадцать параметров шероховатости, отвечающих стандартам ISO, DIN, ANSI и JIS.

Объектами контроля являлись фрезерованные и шлифованные приработанные и неприработанные зубчатые колёса с модулем $m=2$ мм и числом зубьев $z=40$. С помощью встроенного интерфейса RS232 результаты измерения заносились в персональный компьютер.*

При определении параметров шероховатости вдоль эвольвенты с помощью данного прибора штатный щуп профилометра не мог измерить шероховатость ввиду малого пространства впадины зубчатых колёс.

Для обеспечения доступа к поверхности измерения зубчатые колёса были разрезаны на электроэрозионном станке. Однако измерение шероховатости таким способом не всегда приемлемо, так как колёса больше не пригодны к использованию. С целью установления возможности неразрушающего контроля была сделана проверка наличия функциональной зависимости значений параметров продольной и поперечной шероховатости, но корреляционной зависимости значений параметров не выявлено.

Установка профилометра при измерении шероховатости показана на рисунке 2.



Рис. 2. Измерение шероховатости

* В измерениях принимали участие студенты машиностроительного факультета А.С. Романюк, А.Н. Левчук

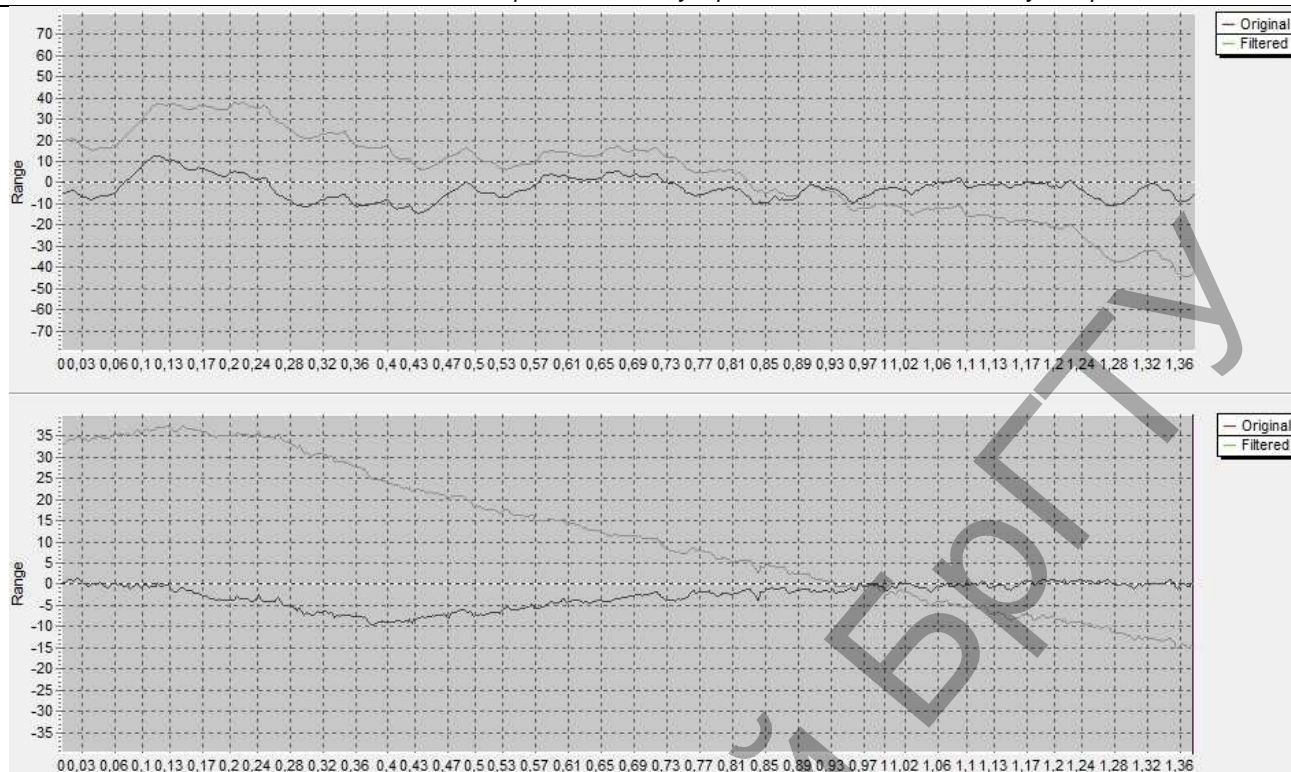


Рис. 3. Профилограммы фрезерованной (сверху) и шлифованной (снизу) поверхностей: Original - реальная поверхность; Filtered – поверхность, прошедшая обработку через фильтр

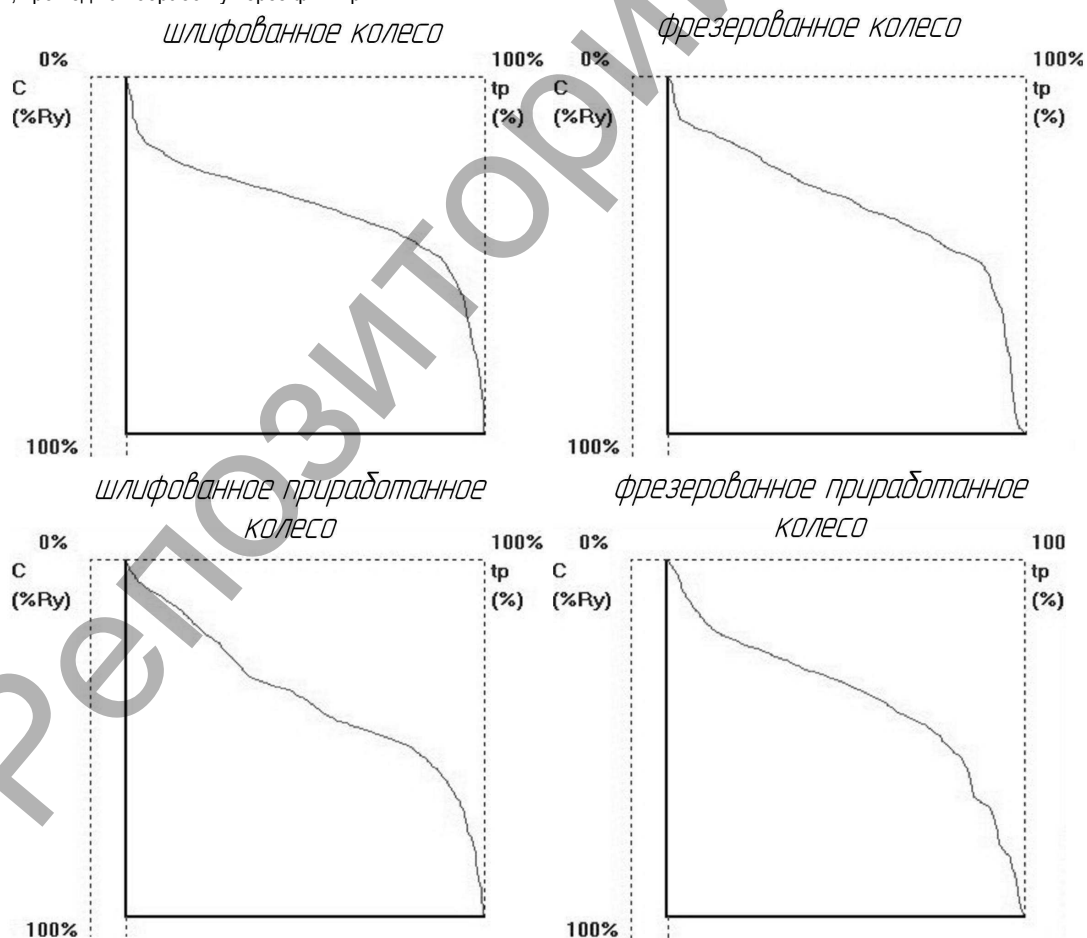


Рис. 4. Кривые относительной опорной длины профиля t_p

В качестве примера на рисунке 3 приведены профилограммы реальной поверхности (Original) и прошедшей обработку через RC-

фильтр (Filtered) фрезерованного и шлифованного колёс для исключения волнистости.

В результате измерений были получены следующие численные значения параметра шероховатости R_a эвольвентных поверхностей зубьев: шлифованных колёс до приработки $Ra_{3,3\pm 20\%}$, после – $Ra_{2,5\pm 13\%}$; фрезерованных колёс до приработки $Ra_{5,3\pm 28\%}$, после – $Ra_{3,4\pm 20\%}$. Таким образом, фрезерованное колесо прирабатывается интенсивнее по сравнению с закалённым шлифованным колесом.

В качестве иллюстрации приближения шероховатости к оптимальной равновесной, на рисунке 4 приведены кривые относительной опорной длины профиля τ шлифованного неприработанного и приработанного, а также фрезерованных колёс до и после приработки.

Как видно из рисунка, кривая τ для шлифованных приработанных опускается ниже кривой для неприработанных колёс, т.е. относительная опорная длина профиля уменьшается. Для фрезерованных приработанных колёс напротив – относительная опорная длина увеличивается по сравнению с неприработанными зубьями. Таким образом, кривые графиков приработанных колёс имеют тенденцию «сближения» и приближения к форме теоретической кривой для равновесной шероховатости.

С целью проверки ресурса зубчатых колёс, изготовленных по новой технологии и имеющих меньшую твёрдость, был произведён расчёт на прочность и долговечность активных поверхностей зубьев до и после изменения техпроцесса.

Рассчитывались контактные напряжения на активных поверхностях зубьев и сравнивались с допустимыми значениями, при которых будет обеспечен требуемый уровень прочности и долговечности колёс [5].

Были получены следующие значения напряжений: для шлифованного колеса $\sigma_H=397,9$ МПа < $[\sigma_H]=1586,3$ МПа, для фрезерованного – $\sigma_H=397,8$ МПа < $[\sigma_H]=704,4$ МПа.

Следовательно, даже при меньшей твёрдости и большей исходной шероховатости эвольвентных поверхностей зубчатых колёс прогнозируется заданный срок службы.

Предложенные трудосберегающие изменения технологического процесса изготовления синхронизирующих зубчатых колёс роторных насосов внедрены на машиностроительном предприятии.

Заключение

1. Установлена теоретическая возможность переноса отделочных операций эвольвентных зубчатых колёс на этап приработки, позволяющая предложить замену зубошлифования чистовым зубофрезерованием.

2. Разработана цеховая методика контроля параметров шероховатости эвольвентных поверхностей зубьев.

3. Выполнен прогнозный расчёт на долговечность зубчатых колёс, изготовленных по двум вариантам технологии, обеспечивающим требуемый срок службы.

4. На основе выполненных исследований была произведена корректировка маршрутного технологического процесса изготовления шестерен ВЗ-ОРА-10.01.017, позволившая снизить трудоёмкость их изготовления на 31%.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
2. Крагельский, И.В. Основы расчётов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добрычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Комбалов, В.С. Влияние шероховатости твердых тел на трение и износ. – М.: Наука, 1974. – 112 с.
4. Производство зубчатых колёс: справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган [и др.]; под общ. ред. Б.А. Тайца. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
5. Расчёт на прочность деталей машин: справочник/ И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.: ил.

Материал поступил в редакцию 26.12.12

GRIGORYEV V.F., DAKALA Y.A., PLIUSHCHOU Y.I. Substantiation of replacement of involute gear teeth finishing processing with break-in process

In article theoretically replacement possibility of the spur gear grinding by the subsequent with break-in process while in service for achievement of a demanded roughness on an example of manufacturing of synchronizing spur gears of rotor pumps ВЗ-ОР2-А-2 series also is experimentally investigated. Objects of probe were milled and grinded spur gears before and after extra earnings. The parameters of a roughness measurement was made by the device for cross-sectional measurement of roughness TR200. The data of experimental researches confirms expediency of modification of technological process.

УДК 621.9.048

Нерода М.В., Нерода Ю.П., Троцкий А.И., Литвинович Т.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ

Введение. Среди традиционных способов упрочнения поверхностей деталей машин широкое распространение получили газотермические методы нанесения упрочняющих покрытий. Для формирования покрытия используются материалы, содержащие соединения никеля, хрома, которые характеризуются высокими физико-механическими свойствами (твёрдостью, вязкостью), что затрудняет их последующую механическую обработку. Низкая производительность обработки, разупрочнение материала поверхностного слоя упрочняющих покрытий, происходящее вследствие высоких локальных температур и плохой обрабатываемости, требуют поиска и раз-

работки новых методов механической обработки.

Особый интерес вызывает интенсификация обработки упрочняющих покрытий электрофизическими методами.

Ранее выполненные исследования [1, 2] показывают, что использование электромагнитного поля в зоне шлифования является перспективным для достижения на поверхности упрочняющего покрытия минимальной шероховатости и создания поверхностного слоя с заданными эксплуатационными характеристиками, отличными от характеристик основного металла. Магнитно-электрическое шлифование (МЭШ), согласно терминологии, [3] является методом

Нерода Михаил Владимирович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии машиностроения Барановичского государственного университета.

Нерода Юлия Павловна, магистрант, преподаватель кафедры общенаучных дисциплин инженерного факультета Барановичского государственного университета.

Троцкий Александр Иванович, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения инженерного факультета Барановичского государственного университета.

Литвинович Татьяна Петровна, преподаватель кафедры технологии машиностроения инженерного факультета Барановичского государственного университета.

Беларусь, БарГУ, 225404, Брестская область, г. Барановичи, ул. Войкова 21.