



Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей

Михаил Борисов^{1, a}, Дмитрий Лобанов^{1, b, *}, Александр Янюшкин^{1, c}, Вадим Скиба^{2, d}

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015, Россия

² Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

^a <https://orcid.org/0000-0001-9084-1820>, borisovmgou@mail.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>, lobanovdv@list.ru,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>, yanyushkinas@mail.ru, ^d <https://orcid.org/0000-0002-8242-2295>, skeeba_vadim@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.9.047

История статьи:

Поступила: 25 ноября 2019

Рецензирование: 21 декабря 2019

Принята к печати: 20 января 2020

Доступно онлайн: 15 марта 2020

Ключевые слова:

Электрохимическое шлифование

Программируемое устройство

Гибридная технология

Автоматическое управление

Коррозионно-стойкая сталь

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1_20.

Благодарности

Исследования выполнены в ЦКП ССМ НГТУ.

АННОТАЦИЯ

Введение. В различных отраслях промышленности все более широкое использование находят термообработанные конструкционные материалы с повышенными физико-механическими свойствами. К таким материалам относятся коррозионно-стойкие стали. Они применяются в машиностроении для изготовления деталей и узлов машин и механизмов, в нефтехимической и газоперерабатывающей отрасли, в производстве и переработке пищевых продуктов, в фармацевтике для изготовления медицинского инвентаря и оборудования и в медицине для изготовления протезов. В современном производстве наряду с традиционными методами интенсификации технологических операций применяют комбинированные и гибридные технологии обработки. Для обработки сложнопольных изделий возможно применение гибридной технологии электрохимической обработки, при которой периодическая электрохимическая правка алмазного круга осуществляется путем смены полярности тока, протекающего по цепи, непосредственно в процессе шлифования без применения дополнительной цепи правки инструмента. Одной из проблем, сдерживающих широкое практическое применение гибридных технологий в промышленности, является создание необходимого оборудования, сочетающего в себе основной вид механической обработки с дополнительными источниками энергии, способное работать в автоматическом режиме. Это ведет к необходимости создания специальных систем управления для организации гибридных и комбинированных технологий в условиях автоматизированного производства. **Цель работы** – повышение эффективности гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей за счет автоматического управления сменой полярности тока. **Результаты и обсуждение.** Для выполнения поставленной задачи нами разработано и изготовлено программируемое устройство для автоматического управления сменой полярности тока в электрической цепи. Оно может реализовывать поочередно два режима работы. Первый режим – электрохимическое шлифование детали. Второй режим – электрохимическая правка алмазного круга. Исследование процесса электрохимического шлифования образцов из стали 12Х18Н10Т и электрохимической правки алмазного инструмента с использованием устройства для автоматического управления сменой полярности тока проводилось на изготовленном нами стенде. Для оценки параметров качества обработанной поверхности проводились измерения микротвердости обработанных образцов на микротвердомере НМV-G21S, исследования микрорельефа образцов, полученного на сканирующем зондовом микроскопе ACM Solver Next, и измерение величины шероховатости обработанной поверхности на профилометре модели 130. Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод, что применение программируемого устройства позволяет автоматизировать процесс управления сменой полярности электрического тока без снижения показателей качества шлифования поверхности в условиях гибридной технологии электрохимической обработки.

Для цитирования: Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей / М.А. Борисов, Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, В.Ю. Скиба // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 6–15. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-6-15.

Введение

В различных отраслях промышленности все более широкое применение находят конструкционные материалы с повышенными физико-механическими свойствами [1–3]. К таким

*Адрес для переписки

Лобанов Дмитрий Владимирович, д.т.н., доцент
 Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова
 пр. Московский, 15,
 428015, г. Чебоксары, Россия
 Тел.: +7-908-303-47-45, e-mail: lobanovdv@list.ru

материалам относят в том числе и высокопрочные термообработанные коррозионно-стойкие стали. Они применяются в машиностроении для изготовления деталей и узлов машин и механизмов, в нефтехимической и газоперерабатывающей отрасли, в производстве и переработке пищевых продуктов, в фармацевтике для изготовления медицинского инвентаря и оборудования, а также в медицине для изготовления протезов [4]. Требования к качественным и эксплуатационным характеристикам готовых изделий из труднообрабатываемых материалов наряду с повышением производительности их обработки традиционными методами выполнить сложно [5–9]. Достигнуть эффективности обработки возможно за счет изменения механизма контактных процессов, протекающих в зоне резания [10, 11].

Подобное воздействие достигается комбинированием механического резания с химической, электрической, электромагнитной или тепловой энергией. Дополнительная энергия от сопутствующих резанию процессов в этом случае может быть совмещена с действием основного процесса механической обработки, что синтезирует новые гибридные или комбинированные технологии [12–14].

Одним из методов финишной обработки термообработанных деталей является абразивная обработка – шлифование. Существенно повысить качество абразивной обработки удалось введением в зону контакта обрабатываемой поверхности и поверхности абразивного инструмента дополнительной энергии – постоянного электрического тока и электролита. Для этого создают электрическую цепь, в которую входят источник тока, обрабатываемая деталь и инструмент. Обработка основана на одновременном использовании анодного растворения материала детали и механическом удалении продуктов распада [15–18].

Преимуществами электрохимического шлифования по сравнению с традиционными способами шлифования являются: улучшение качества поверхностей изделий, резкое повышение производительности шлифования труднообрабатываемых материалов, в том числе коррозионно-стойких сталей [19, 20].

Для реализации этого способа необходимо наличие электропроводного абразивного инструмента, например, алмазных кругов на ме-

таллической связке. Вместе с тем в процессе обработки рабочая поверхность алмазного круга с течением времени теряет режущую способность вследствие затупления абразивных зерен и заполнения пространства между зернами продуктами износа, называемого процессом «засаливания». Это явление приводит к ухудшению режущих способностей инструмента и снижению качества поверхности детали [21–27].

Правку алмазного круга проводят электрохимическим способом с остановкой процесса шлифования и подачей тока обратной полярности в дополнительно создаваемую электрическую цепь, в которую входят источник тока, алмазный круг и правящий катод. При этом алмазный круг является анодом, что приводит к растворению засаленного слоя и связки, а также восстановлению его режущей способности. Но частая остановка процесса обработки для осуществления правки инструмента снижает эффективность его применения.

Повысить эффективность процесса обработки позволило решение осуществления непрерывной электрохимической правки поверхности круга непосредственно в процессе электрохимического шлифования. При этом используются две электрические цепи одновременно. В одну цепь входят источник тока, обрабатываемая деталь и инструмент, а во вторую – источник тока, алмазный круг и правящий катод. Такой метод нельзя применить при обработке пазов, отверстий, а также при обработке деталей со сложным переменным профилем, так как отсутствует пространство для размещения правящего катода вблизи инструмента [28].

Для сложнопрофильных изделий возможно применение гибридной технологии электрохимической обработки, при которой периодическая электрохимическая правка алмазного круга осуществляется путем смены полярности тока, протекающего по цепи, непосредственно в процессе шлифования без применения дополнительной цепи правки инструмента. Для управления направлением прохождения электрического тока по цепи и его длительностью используется блок управления с ручным переключением полярности тока [28].

Широкое практическое применение гибридных и комбинированных технологий, на наш взгляд, сдерживается необходимостью исполь-

зования для их реализации специализированного или конструирования специального оборудования, сочетающего в себе необходимые виды воздействия в совокупности с возможностью управления процессами в автоматическом режиме. Это ведет к необходимости создания систем автоматического управления гибридными и комбинированными технологиями для обеспечения заданных качественных и эксплуатационных параметров [29].

Цель работы – повышение эффективности гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойких сталей за счет автоматического управления сменой полярности тока.

Методика исследований

Для выполнения поставленной цели нами было разработано и изготовлено программируемое устройство для автоматического управления сменой полярности тока в электрической цепи. Оно может реализовывать поочередно два режима работы. Первый режим – электрохимическое шлифование детали; второй режим – электрохимическая правка алмазного круга. Принцип работы устройства в указанных режимах показан на рис. 1 и 2.

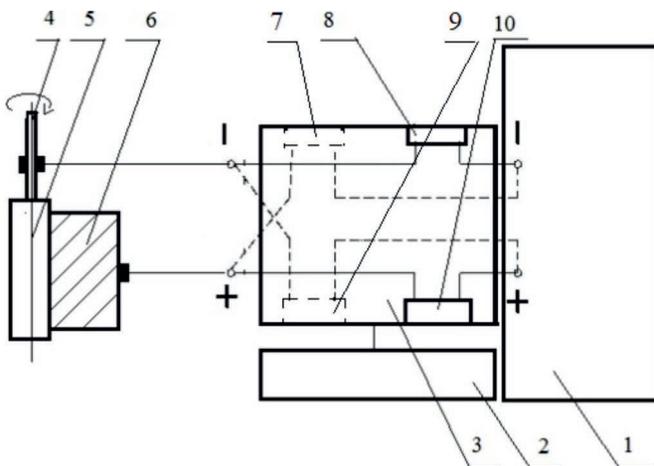


Рис. 1. Схема работы устройства в режиме электрохимического шлифования детали:

1 – источник тока; 2 – блок управления; 3 – блок коммутации токов; 4 – инструментальный шпиндель; 5 – алмазный круг; 6 – обрабатываемая деталь; 7, 8, 9, 10 – реле

Fig. 1. The scheme of the device in the electrochemical grinding of the part:

1 – current source; 2 – control unit; 3 – current switching unit; 4 – tool spindle; 5 – diamond wheel; 6 – work piece; 7, 8, 9, 10 – relay

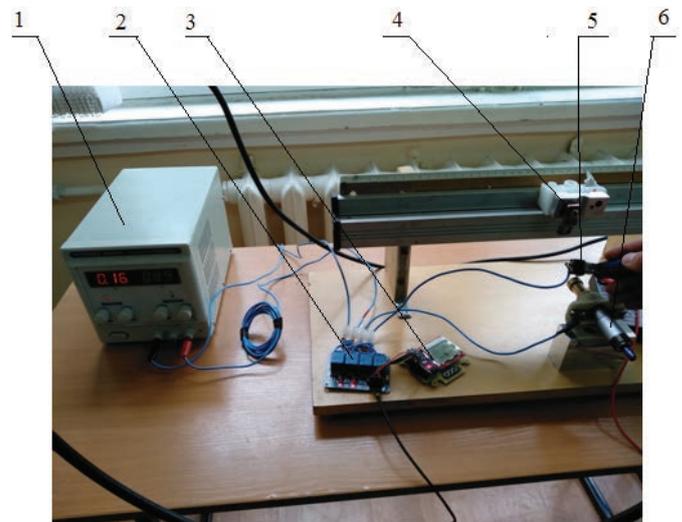


Рис. 2. Исследовательский стенд:

1 – источник тока; 2 – блок коммутации токов; 3 – блок управления; 4 – привод линейного перемещения; 5 – инструментальный наконечник гравера; 6 – приспособление для закрепления детали

Fig. 2. Research bench:

1 – current source; 2 – current switching unit; 3 – control unit; 4 – linear displacement drive; 5 – tool tip engraver; 6 – fixture for fixing parts

На рис. 1 представлена схема работы устройства в режиме электрохимического шлифования детали (электролит условно не показан).

Управляющий сигнал поступает с блока управления 2 на реле 8 и 10, установленные в блоке коммутации токов 3. Силовые цепи реле замыкаются. В результате этого обрабатываемая деталь 6 соединяется с положительным полюсом источника тока 1, а алмазный круг 5 соединяется с отрицательным полюсом источника тока 1. Происходит процесс анодного растворения материала на поверхности обрабатываемой детали 6, который удаляется алмазным кругом 5.

В режиме электрохимической правки алмазного круга управляющий сигнал поступает с блока управления 2 на реле 8 и 10, размыкает их силовые цепи и на реле 7 и 9 замыкает их силовые цепи. В результате этого обрабатываемая деталь 6 соединяется с отрицательным полюсом источника тока 1, а алмазный круг 5 соединяется с положительным полюсом источника тока 1. Происходит процесс анодного растворения засаленного слоя и материала связки алмазного круга 5.

Исследование процесса электрохимического шлифования и электрохимической правки инструмента с использованием устройства для

автоматического управления сменой полярности тока проводилось на изготовленном нами стенде (рис. 2).

Исследовательский стенд состоит из источника тока 1, устройства для автоматического управления сменой полярности тока, имеющего блок коммутации токов 2 и блок управления 3, привода линейного перемещения 4, инструментального наконечника гравера 5 и приспособления для закрепления детали 6. Наконечник гравера 5 при проведении исследований устанавливался в привод линейного перемещения 4. Приспособление для закрепления детали 6 снабжено микрометрическим винтом для настройки глубины резания. Деталь, инструмент и источник тока соединены в одну электрическую цепь, изолированную от других элементов стенда.

Исследования проводились путем электрохимического шлифования образцов из стали 12X18H10T диаметром 10 мм и высотой 6 мм с использованием программируемого устройства для автоматического управления сменой полярности тока. Режимы обработки – скорость резания $5,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, глубина резания 0,1 мм, продольная подача 50 мм/мин – соответствовали режимам резания, устанавливаемым при исследовании гибридной технологии электрохимической обработки коррозионно-стойкой стали 12X18H10T [28]. В качестве инструмента применялась цилиндрическая алмазная головка на металлической связке диаметром 3 мм. Размер зерна 90...125 мкм.

Обработка осуществлялась с применением электролита на водной основе (NaNO_3 – 3 %, NaNO_2 – 1 %, Na_2CO_3 – 0,5 %). Напряжение в цепи «источник тока – инструмент – образец» без нагрузки составляло 11...12 В; величина тока во время обработки составила 0,1...0,18 А; плотность тока – 1...1,8 А/см²; продолжительность импульса рабочего тока – 2 с; продолжительность импульса тока правки – 0,5 с. Указанные режимы смены полярности приняты с учетом обеспечения максимальной интенсивности съема материала [30].

Циклы импульсов тока воспроизводились посредством программируемого устройства. На рис. 3 представлен дисплей программируемого устройства и его главное меню.

Главное меню включает следующие пункты:
– выбор программы;



Рис. 3. Дисплей программируемого устройства и его главное меню

Fig. 3. The display of the programmable device and its main menu

- параметры программы;
- настройки.

С целью контроля корректности отработки управляющих программ для последовательного воспроизведения циклов обработки детали и правки инструмента использовался цифровой тестер-мультиметр и часы реального времени, встроенные в программируемое устройство.

Для оценки параметров качества обработанной поверхности проводились измерения микротвердости обработанных образцов на микротвердомере HNV-G21S, исследования микрорельефа образцов, полученного на сканирующем зондовом микроскопе ACM Solver Next и измерение величины шероховатости обработанной поверхности на профилометре модели 130.

Исходная микротвердость образцов составляла 420...450 НВ. Значение шероховатости $Ra = 0,408$ мкм.

Результаты и их обсуждение

На рис. 4 представлены показания цифрового тестера мультиметра при нахождении программируемого устройства в режиме электрохимического шлифования образца и показания времени выполнения процесса на дисплее программируемого устройства. На дисплее тестера отображается напряжение, равное 11,19 В, а на дисплее программируемого устройства отображается время, равное 2 с. Указанные значения соответствуют значениям, заданным в программе функционирования устройства.

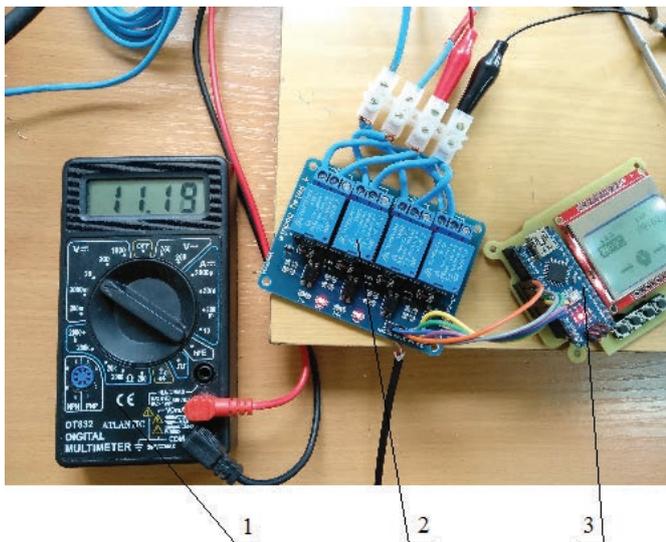


Рис. 4. Показания цифрового тестера мультиметра при нахождении программируемого устройства в режиме электрохимического шлифования детали: 1 – цифровой тестер мультиметр; 2 – блок коммутации токов; 3 – блок управления реле с дисплеем

Fig.4. Indications of a digital multimeter tester when a programmable device is in electrochemical grinding of a part:

1 – digital multimeter tester; 2 – current switching unit; 3 – relay control unit with display

На рис. 5 представлена фотография цифрового тестера мультиметра при нахождении программируемого устройства в режиме электрохимической правки алмазного круга. На дисплее тестера отображается напряжение, равное $-11,18$ В, а на дисплее программируемого устройства отображается время, равное $0,5$ с. Указанные значения соответствуют значениям, заданным в программе функционирования устройства.

Микротвердость образцов после электрохимического шлифования с периодической электрохимической правкой инструмента составила $420 \dots 450$ HV, что соответствует исходной микротвердости образцов.

На рис. 6 представлен микрорельеф участка поверхности образца. Он характеризуется плавным контуром неровностей, величина которых находится в пределах от 2 до 4 нм, что свидетельствует о стабильности процесса электрохимической обработки.

Измеренное значение шероховатости $Ra = 0,315$ мкм. Это значение на 30% меньше, чем исходная шероховатость образцов.

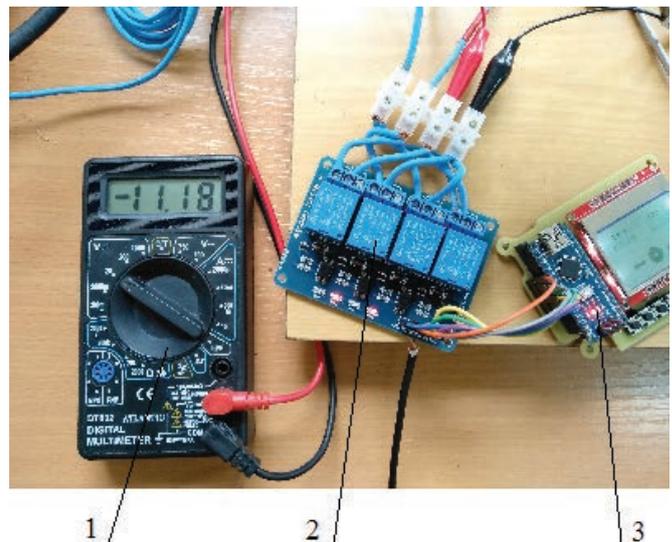


Рис. 5. Показания цифрового тестера мультиметра при нахождении программируемого устройства в режиме электрохимической правки алмазного круга: 1 – цифровой тестер мультиметр; 2 – блок коммутации токов; 3 – блок управления реле с дисплеем

Fig.5. Indications of a digital multimeter tester when a programmable device is in the diamond wheel electrochemical dressing mode:

1 – digital multimeter tester; 2 – current switching unit; 3 – relay control unit with display

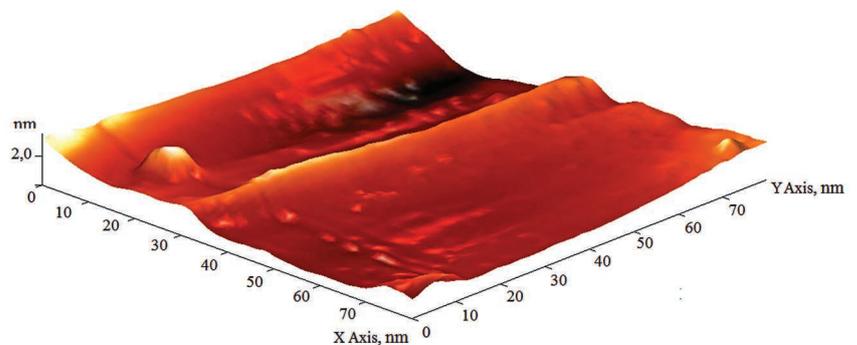


Рис. 6. Микрорельеф поверхности образца

Fig. 6. Microrelief of the sample surface

Выводы

Анализ результатов исследования процесса электрохимического шлифования образцов, изготовленных из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T, и электрохимической правки алмазных головок на металлической связке с использованием программируемого устройства для автоматического управления сменой полярности тока в электрической цепи, образованной источником тока, обрабатываемым образцом и алмаз-

ной головкой, позволяет сделать вывод: применение программируемого устройства позволяет автоматизировать процесс управления сменой полярности электрического тока, что повышает эффективность гибридной технологии электрохимической обработки.

Список литературы

1. Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Илларионов И.Е. Расчет заготовки поршня из объемного наноструктурного материала на основе меди для машин литья под давлением // Теория и технология металлургического производства. – 2019. – № 2. – С. 29–36.
2. Шалунов Е.П., Смирнов В.М., Урянский И.П. Износостойкие подшипники скольжения из наноструктурных материалов для мощных электродвигателей // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 1. – С. 131–139.
3. Солер Я.И., Гайсин С.Н., Казимиров Д.Ю. Прогнозирование микрорельефа шлифованных деталей переменной жесткости из стали 13X15H4AM3 при многопроходном съеме припуска // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006. – № 1 (25). – С. 64–70.
4. Grigorenko V.B. Applications of corrosion-resistant steel // Steel in Translation. – 2014. – Vol. 44, iss. 1. – P. 80–85. – DOI: 10.3103/S0967091214010070.
5. Совершенствование технологии формообразования высокопрочных стекловолоконистых композиционных материалов на полимерной основе / Д.А. Рычков, А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.В. Базаркина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 3 (56). – С. 150–153.
6. Аврелькин В.А., Купцов М.В. Использование усовершенствованных технологий, разработанных учеными Поволжья, на машиностроительных предприятиях Чувашской республики // Инновационные технологии в металлообработке: Всероссийская научно-практическая заочная конференция с международным участием, г. Ульяновск, 25 ноября 2018 г.: сборник научных трудов. – Ульяновск, 2019. – С. 158–163.
7. Axial tool for the machining of composites / E.V. Vasil'ev, A.Y. Popov, I.A. Bugai, P.V. Nazarov // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35. – P. 771–772. – DOI: 10.3103/S1068798X1510024X.
8. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, С.В. Орлов, А.В. Саразов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 67–78.
9. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Т. 5 / А.С. Верещагина, А.П. Возняковский, Т.Ф. Григорьева, О.Н. Кириллов, А.М. Козлов, А.А. Козлов, В.А. Лиопо, А.В. Мандрыкин, Б.Я. Мокрицкий, А.В. Морозова, Е.В. Овчинников, В.А. Панайоти, Д.И. Петрешин, С.А. Попов, Д.А. Прушак, А.Ю. Рязанцев, О.В. Скрыгин, В.П. Смоленцев, В.А. Струк, С.Ю. Съянов, О.Н. Федонин, А.В. Хандожко, Е.И. Эйсымонт: коллективная монография. – М.: Спектр, 2015. – 464 с. – ISBN 978-5-4442-0088-9.
10. Чесов Ю.С., Иванцовский В.В., Птицын С.В. Технология, оборудование и инструмент для финишных операций // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2001. – № 1 (12). – С. 52–54.
11. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step “diamond smoothing” / V.Yu. Skeebeba, V.V. Ivancivsky, D.V. Lobanov, A.K. Zhigulev, P.Yu. Skeebeba // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 125, iss. 1. – P. 012031. – DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
12. Скиба В.Ю., Иванцовский В.В. Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-7782-3690-5.
13. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel / V.A. Nosenko, V.K. Zhukov, A.A. Vasil'ev, S.V. Nosenko // Russian Engineering Research. – 2008. – Vol. 28. – P. 442–449. – DOI: 10.3103/S1068798X08050109.
14. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01002. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901002.
15. Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D. Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1426–1431. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.656.
16. Моделирование процесса стохастического взаимодействия инструмента и заготовки на операциях шлифования / С.М. Братан, В.Б. Богуцкий, Ю.К. Новоселов, С.И. Рошупкин // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 5 (71). – С. 9–18.
17. Nosenko V.A., Nosenko S.V. Deep grinding of titanium alloy with continuous wheel correction // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30. – P. 1124–1128. – DOI: 10.3103/S1068798X10110110.

18. Формирование поверхностных пленок при шлифовании твердых сплавов кругами на токопроводящих связках / Л.С. Секлетина, О.И. Медведева, В.А. Гартфельдер, А.Р. Янюшкин // Наука и техника Казахстана. – 2018. – № 3. – С. 96–106.

19. Влияние СОЖ на момент трения при обработке резанием стали У8 / А.А. Ражковский, А.Г. Кисель, А.А. Фёдоров, Д.С. Реченко // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (120). – С. 111–114.

20. *Kozlov A.M., Kozlov A.A.* Shaping the surface topology of cylindrical components by means of an abrasive tool // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29. – P. 743–746. – DOI: 10.3103/S1068798X09070223.

21. *Смирнов В.М., Тимофеев Д.А., Шалунов Е.П.* Дисперсно-упрочненная связка на основе порошковой меди для алмазного инструмента // Материалы II Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве». – Чебоксары, 2016. – С. 317–320.

22. *Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P.* Modeling the grinding wheel working surface state // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 1419–1425.

23. *Солер Я.И., Казимиров Д.Ю., Гайсин С.Н.* САПР оптимизации чистового шлифования плоских деталей 13X15H4AM3 переменной жесткости по критерию шероховатости // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2005. – № 4. – С. 127–134.

24. *Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V.* Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride // Russian Engineering Research. –

2007. – Vol. 27, N 12. – P. 916–919. – DOI: 10.3103/S1068798X07120180.

25. *Popov V., Rychkov D., Arkhipov P.* Defects in diamonds as the basic adhesion grinding // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01003. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901003.

26. *Архинов П.В., Потанова Г.Е.* Твердосплавные материалы и методы их обработки // Механика XXI века. – 2012. – № 11. – С. 220–222.

27. Деформации в технологической системе при шлифовании / П.М. Салов, В.Н. Цай, С.С. Сайкин, Д.А. Юрпалов, Т.Г. Виноградова, Н.В. Мулюхин, Е.А. Андреева, Е.В. Антонова, Д.П. Салова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 44–46.

28. *Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.* Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 25–34. – DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-25-34.

29. *Мальшев В.И., Левашкин Д.Г., Селиванов А.С.* Автоматизация гибридных и комбинированных технологий на основе модернизации станочного оборудования и выбора кинематических связей // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2010. – № 3. – С. 70–74.

30. *Борисов М.А., Мишин В.А.* Влияние продолжительности импульсов тока на интенсивность электрохимического шлифования // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2019. – Т. 6, № 1–4. – С. 48–52.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2020 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Investigation of the Process of Automatic Control of Current Polarity Reversal in the Conditions of Hybrid Technology of Electrochemical Processing of Corrosion-Resistant Steels

Mikhail Borisov^{1,a}, Dmitry Lobanov^{1,b,*}, Alexander Yanyushkin^{1,c}, Vadim Skeebea^{2,d}

¹ I.N. Ulianov Chuvash State University, 15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

^a  <https://orcid.org/0000-0001-9084-1820>,  borisovmgou@mail.ru, ^b  <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>,  lobanovdv@list.ru,

^c  <https://orcid.org/0000-0003-1969-7840>,  yanyushkinas@mail.ru, ^d  <https://orcid.org/0000-0002-8242-2295>,  skeebea_vadim@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 November 2019

Revised: 21 December 2019

Accepted: 20 January 2020

Available online: 15 March 2020

Keywords:

Electrochemical grinding

Programmable device

Hybrid technology

Automatic control

Corrosion Resistant Steel

Funding

This work was financially supported within the framework of the NSTU Research and Development Thematic Plan (project No. TP-PTM-1_20 project).

Acknowledgements

The studies were performed at the Collective use center "Structure, mechanical and physical properties of materials" NSTU for help in conducting joint research work.

ABSTRACT

Introduction. In various industries, heat-treated structural materials with enhanced physical and mechanical properties are increasingly used. Such materials include corrosion-resistant steels. These steels are used in mechanical engineering for the manufacture of parts and components of machines and mechanisms, in the petrochemical and gas processing industries, in the production and processing of food products, in pharmaceuticals for the manufacture of medical implements and equipment, and in medicine for the manufacture of prostheses. In modern production, along with traditional methods of intensification of technological operations, a direction is developing to increase the efficiency of machining by temporarily reducing the strength of the processed material, changing the mechanism of contact processes that occur on the working surfaces of tools and in the contact surface layer of the processed work pieces. In this case, combined and hybrid processing technologies are used. For processing complex products, it is possible to use a hybrid technology of electrochemical processing, in which periodic electrochemical dressing of the diamond wheel is carried out by changing the polarity of the current flowing along the chain directly during grinding without using an additional tool dressing chain. One of the main problems hindering the wide practical application of hybrid and combined technologies in industry is that to implement these technologies, equipment is needed that combines the main type of machining with additional energy sources, which can operate in automatic mode. This leads to the need to create special control systems for organizing hybrid and combined technologies in automated production conditions. **Purpose of work** is to increase the efficiency of hybrid technology for the electrochemical treatment of corrosion-resistant steels due to automatic control of the change in current polarity. **Results and discussion.** To accomplish this task, a programmable device for automatically controlling the reversal of current polarity in an electric circuit is developed and manufactured. It can implement two operating modes in turn. The first mode is electrochemical grinding of the part. The second mode is the electrochemical dressing of the diamond wheel. The study of the process of electrochemical grinding of samples made of 12Kh18N10T steel and electrochemical dressing of a diamond tool using a device for automatically controlling the change in current polarity is carried out on an original bench. To assess the quality parameters of the treated surface, the microhardness of the processed samples is measured on an HMV-G21S microhardness meter, the microrelief of the samples obtained using an AFM Solver Next scanning probe microscope is measured, and the surface roughness is measured on a Model 130 profilometer. Analysis of the results of the study suggests that the use of programmable device allows automating the process of controlling the change in polarity of the electric current without reducing the quality of surface grinding in hybrid technology of electrochemical treatment.

For citation: Borisov M.A., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Skeebea V.Yu. Investigation of the Process of Automatic Control of Current Polarity Reversal in the Conditions of Hybrid Technology of Electrochemical Processing of Corrosion-Resistant Steels. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 6–15. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-6-15. (In Russian).

* Corresponding author

Lobanov Dmitry V., D.Sc. (Engineering), Associate Professor
 I.N. Ulianov Chuvash State University,
 15 Moskovsky Prospekt,
 428015, Cheboksary, Russian Federation
 Tel.: + 7-908-303-47-45, e-mail: lobanovdv@list.ru

References

1. Vladimirova Yu.O., Shalunov E.P., Illarionov I.E. Raschet zagotovki porshnya iz ob'emnogo nanostruktornogo materiala na osnove medi dlya mashin lit'ya pod davleniem [Calculation of plunger blank made of copper based volumetric nanostructured material for the die casting machines]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva = Theory and Technology of Metallurgical Production*, 2019, no. 2, pp. 29–36.
2. Shalunov E.P., Smirnov V.M., Uryanskii I.P. Iznosostoikie podshipniki skol'zheniya iz nanostruktornykh materialov dlya moshchnykh elektrodvigatelyei [Wear-resistant sliding bearings using nanostructured materials for powerful electric motors]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta = Bulletin of the Chuvash University*, 2015, no. 1, pp. 131–139.
3. Soler Ya.I., Gaisin S.N., Kazimirov D.Yu. Prognozirovaniye mikrorel'efa shlifovannykh detalei peremennoi zhestkosti iz stali 13Kh15N4AM3 pri mnogoprokhodnom s'eme pripuska [Prediction of the microrelief of polished parts of variable stiffness from steel 13X15H4AM3 with multi-pass stock removal]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2006, no. 1 (25), pp. 64–70.
4. Grigorenko V.B. Applications of corrosion-resistant steel. *Steel in Translation*, 2014, vol. 44, iss. 1, pp. 80–85. DOI: 10.3103/S0967091214010070.
5. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Bazarkina V.V. Sovershenstvovaniye tekhnologii formoobrazovaniya vysokoprochnykh steklovoloknistykh kompozitsionnykh materialov na polimernoi osnove [Perfection of technology of formation of the form of high-strength glass-fiber composite materials on the polymeric basis]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2012, no. 3 (56), pp. 150–153.
6. Avrelkin V.A., Kuptsov M.V. [The use of improved technologies developed by scientists of the Volga region on the machine building enterprises of the Chuvash Republic]. *Innovatsionnyye tekhnologii v metalloobrabotke: Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya zaochnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation “Innovative technologies in metal processing”]*, Ulyanovsk, November 25, 2018. Ulyanovsk, 2019, pp. 158–163. (In Russian).
7. Vasil'ev E.V., Popov A.Y., Bugai I.A., Nazarov P.V. Axial tool for the machining of composites. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, pp. 771–772. DOI: 10.3103/S1068798X1510024X.
8. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Ploskoe shlifovaniye tortsov kolets krupnogabaritnykh podshipnikov s trebuemym kachestvom poverkhnosti [Flat grinding of big bearing races end with the demanded quality of a surface]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroeniye = Bulletin of the SUSU. Series “Mechanical Engineering Industry”*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 67–78.
9. Vereshchagina A.S., Voznyakovskiy A.P., Grigorieva T.F., Kirillov O.N., Kozlov A.M., Kozlov A.A., Liopo V.A., Mandrykin A.V., Mokritsky B.Ya., Morozova A.V., Ovchinnikov E.V., Panaioti V.A., Petreshin D.I., Popov S.A., Prushak D.A., Ryazantsev A.Yu., Skrygin O.V., Smolentsev V.P., Struk V.A., Sianov S.Yu., Fedonin O.N., Khandozhko A.V., Eisymont E.I. *Progressivnyye mashinostroitel'nyye tekhnologii, oborudovaniye i instrumenty. T. 5 [Advanced engineering techniques, equipment and tools. Vol. 5]*. Moscow, Spektr Publ., 2015. 464 p. ISBN 978-5-4442-0088-9.
10. Chesov Yu.S., Ivancivsky V.V., Ptitsyn S.V. Tekhnologiya, oborudovaniye i instrument dlya finishnykh operatsii [Technology, equipment and tools for finishing operations]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2001, no. 1 (12), pp. 52–54.
11. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Lobanov D.V., Zhigulev A.K., Skeebe P.Yu. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step “diamond smoothing”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 125, iss. 1, p. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
12. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V. *Hybrid metal working equipment: improving the effectiveness of the details processing under the integration of surface quenching and abrasive grinding*. Novosibirsk, NSTU Publ., 2018. 312 p. ISBN 978-5-7782-3690-5.
13. Nosenko V.A., Zhukov V.K., Vasil'ev A.A., Nosenko S.V. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel. *Russian Engineering Research*, 2008, vol. 28, pp. 442–449. DOI: 10.3103/S1068798X08050109.
14. Popov V.Yu., Arkhipov P.V., Rychkov D.A. Adhesive wear mechanism under combined electric diamond grinding. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01002. DOI: 10.1051/mateconf/201712901002.
15. Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D. Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 1426–1431. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.656.



16. Bratan S.M., Bogutskii V.B., Novoselov Yu.K., Roshchupkin S.I. Modelirovanie protsessa stokhasticheskogo vzaimodeistviya instrumenta i zagotovki na operatsiyakh shlifovaniya [Process simulation of tool and blank stochastic interaction in grinding operations]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2017, no. 5 (71), pp. 9–18.
17. Nosenko V.A., Nosenko S.V. Deep grinding of titanium alloy with continuous wheel correction. *Russian Engineering Research*, 2010, vol. 30, pp. 1124–1128. DOI: 10.3103/S1068798X10110110.
18. Sekletina L.S., Medvedeva O.I., Gartfel'der V.A., Yanyushkin A.R. Formirovanie poverkhnostnykh plenok pri shlifovanii tverdykh splavov krugami na tokoprovodyashchikh svyazkakh [Formation of surface films at grinding of hard alloys by wheels on current-conductive bindings]. *Nauka i tekhnika Kazakhstana = Science and Technology of Kazakhstan*, 2018, no. 3, pp. 96–106.
19. Razhkovskii A.A., Kisel' A.G., Fedorov A.A., Rechenko D.S. Vliyanie SOZh na moment treniya pri obrabotke rezaniem stali U8 [Lubricant and cooling liquid influence at the moment of processing by U8 steel cutting]. *Omskii nauchnyi vestnik = Omsk Scientific Bulletin*, 2013, no. 2 (120), pp. 111–114.
20. Kozlov A.M., Kozlov A.A. Shaping the surface topology of cylindrical components by means of an abrasive tool. *Russian Engineering Research*, 2009, vol. 29, pp. 743–746. DOI: 10.3103/S1068798X09070223.
21. Smirnov V.M., Timofeev D.A., Shalunov E.P. [Dispersion strengthened sheaf on the basis of powder copper for the diamond tool]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve"* [Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies in Mechanical Engineering and Foundry"]. Cheboksary, 2016, pp. 317–320. (In Russian).
22. Bratan S., Roshchupkin S., Novikov P. Modeling the grinding wheel working surface state. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 1419–1425. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.655.
23. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Gaisin S.N. SAPR optimizatsii chistovogo shlifovaniya ploskikh detalei 13Kh15N4AM3 peremennoi zhestkosti po kriteriyu sherokhovatosti [CAD optimization of fine grinding of flat parts 13X15H4AM3 of variable stiffness according to the roughness criterion]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii = New materials and technologies in mechanical engineering*, 2005, no. 4, pp. 127–134.
24. Soler Ya.I., Kazimirov D.Yu., Prokop'eva A.V. Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride. *Russian Engineering Research*, 2007, vol. 27, no. 12, pp. 916–919. DOI: 10.3103/S1068798X07120180.
25. Popov V., Rychkov D., Arkhipov P. Defects in diamonds as the basic adhesion grinding. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01003. DOI: 10.1051/mateconf/201712901003.
26. Arkhipov P.V., Potapova G.E. Tverdosplavnye materialy i metody ikh obrabotki [Carbide materials and methods for their processing]. *Mekhaniki XXI veku = Mechanics of the XXI century*, 2012, no. 11, pp. 220–222.
27. Salov P.M., Tsai V.N., Saikin S.S., Yurpalov D.A., Vinogradova T.G., Mulyukhin N.V., Andreeva E.A., Antonova E.V., Salova D.P. Deformatsii v tekhnologicheskoi sisteme pri shlifovanii [Strain in grinding process in the system]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya = Scientific and Technical Volga region Bulletin*, 2016, no. 3, pp. 44–46.
28. Borisov M.A., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Gibridnaya tekhnologiya elektrokhimicheskoi obrabotki slozhnoprofil'nykh izdelii [Hybrid technology of electrochemical processing of complex profiles]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 25–34. DOI: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-25-34.
29. Malyshev V.I., Levashkin D.G., Selivanov A.S. Avtomatizatsiya gibridnykh i kombinirovannykh tekhnologii na osnove modernizatsii stanochnogo oborudovaniya i vybora kinematicheskikh svyazei [Hybrid and combined technologies automation are based on CNC – machine tool equipment modernization and kinematical connections choice]. *Vektor nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta = Vector of sciences. Togliatti State University*, 2010, no. 3, pp. 70–74.
30. Borisov M.A., Mishin V.A. Vliyanie prodolzhitel'nosti impul'sov toka na intensivnost' elektrokhimicheskogo shlifovaniya [The effect of current pulse duration on the intensity of electrochemical grinding]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii = Actual Problems in Machine Building*, 2019, vol. 6, no. 1–4, pp. 48–52.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.