

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ СПОСОБОМ

Е.А. Перевертень

beastrock@mail.ru

Д.П. Коновалов

В.А. Терниченко

А.В. Савченко

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Представлен обзор электроэрозионного оборудования для обработки широкого спектра деталей. Отмечены особенности, преимущества и недостатки данного вида оборудования. Даны рекомендации по выбору оборудования для деталей общего машиностроения

Ключевые слова

Электроэрозионная обработка, машиностроение, производительность

Поступила в редакцию 07.04.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) — это процесс разрушения поверхности заготовки (вырывания частиц материала) при помощи импульсного электрического заряда, целью которого является изменение формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности изделия [1, 2].

В случае если между электродами существует разность потенциалов (напряжение), при этом они погружены в диэлектрик, находящийся в жидком состоянии, то при сближении электродов, происходит так называемый пробой диэлектрика. Один из электродов является обрабатываемой заготовкой, другой — электрод-инструментом. В данной ситуации возникает электрический разряд, в его канале образуется плазма высокой температуры. На поверхности заготовки температура возрастает до 1000–12000 °С, вследствие чего происходит мгновенное оплавление и испарение металла. Разряды производятся периодически, импульсно так, чтобы среда между электродами восстановила свою электрическую прочность.

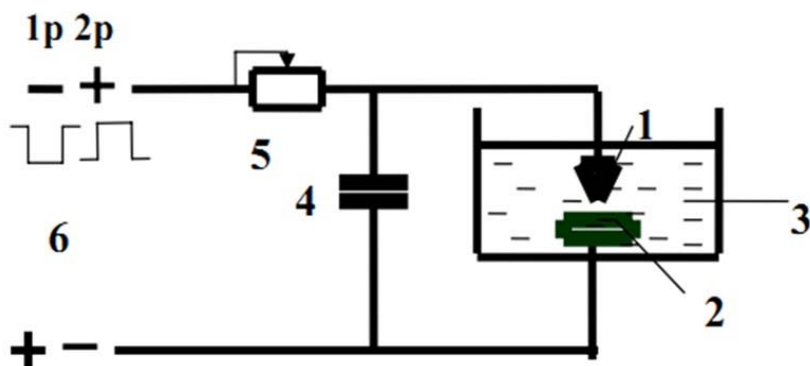


Рис. 1. Принципиальная схема устройства электроэрозионного оборудования:

1 — электрод-инструмент; 2 — обрабатываемая заготовка; 3 — диэлектрик;
4 — конденсатор; 5 — реостат; 6 — источник питания

В 1938 г. советский ученый Л.А. Юткин показал, что серия электроискровых разрядов порождает формообразующие гидравлические удары, что положило начало электроискровой штамповке металлов и стало следующим, после электродуговой сварки, шагом в развитии технологических методов формообразования электрическими разрядами [1].

В 1943 г. ученые Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко, предложили использовать электроэрозионные свойства разрядов в воздушном промежутке для формообразования (электроискровой метод электроэрозионной обработки). Первый станок, основанный на методе электроэрозии, был выпущен в том же году и предназначался для удаления из детали застрявшего инструмента.

Первым станком, который работал по принципу, изображенному на рис. 1, стал электроэрозионный прошивочный станок ELERODA D1, выпущенный швейцарской фирмой Charmilles Technologies в 1952 г.

ЭЭО применяют, когда использование традиционных механических станков затруднено или нерентабельно из-за отходов или повышенной твердости материала заготовки. Она получила широкое распространение, как экономичная и производительная, но вскоре из-за сложности автоматизации техпроцесса популярность метода упала, уступив место механической обработке с ЧПУ, лазерной и плазменной обработке [2].

В настоящее время наблюдается тенденция к снижению массовости производств и их локализации. Многие производства снова обращаются к электроэрозионным станкам, потому что, эта технология оказывается более рентабельной для создания объемных деталей сложной формы, например лопастей турбин, валов или пресс-форм, поскольку стоимость электроэрозионного станка значительно ниже. Кроме того, установки лазерной и плазменной обработки, как правило, рассчитаны на заготовки небольших размеров, что резко ограничивает их применение в тяжелой промышленности [3 - 6]. Кроме того, данная технология считается более экологичной, по сравнению с методами механической обработки (точение, фрезерование, шлифование и др.), потому что в процессе обработки образуется меньше отходов (стружки и угара) и требуется меньших энергетических затрат.

Электроэрозионные станки позволяют решать сложные технологические задачи:

- 1) выполнять углубления и отверстия сложной конфигурации, в том числе глухих проемов;
- 2) обрабатывать титан, инструментальные и легированные стали, твердые сплавы и закаленные стали высокой твердости;
- 3) выполнять выемки различной конфигурации на внутренних поверхностях детали;
- 4) выполнять отверстия с резьбой в заготовках из твердых металлов;
- 5) изготавливать детали, которые сложно или невозможно сделать на токарных и фрезерных станках.

Наиболее распространены электроэрозионные станки с ЧПУ. Они предназначены для выполнения работ очень широкого профиля. Различают специализированные, специальные и универсальные станки. Наибольшей популярностью пользуется специализированное оборудование, предназначенное для работы с однотипными видами материалов. Специальные станки ориентированы прежде всего на получение определенного вида продукции.

По степени точности обработки выделяют прецизионные, повышенной точности и станки общего назначения.

Наибольшее распространение на предприятиях машино- и приборостроения получили следующие технологии электроэрозионной обработки:

- обработка сложноконтурных поверхностей и отверстий (операция электроэрозионная копировально-прошивочная);
- прошивка глубоких отверстий малого диаметра (операция электроэрозионная прошивочная);
- обработка сложноконтурных линейчатых поверхностей (операция электроэрозионная профильно-вырезная).

Электроэрозионные копировально-прошивочные станки предназначены для решения самого широкого спектра задач, таких как изготовление деталей объемной формы типа штампов, пресс-форм, матриц вырубных штампов, обработка отверстий различной конфигурации в деталях, как из обычных конструкционных материалов, так и из труднообрабатываемых: высокопрочных, закаленных, нержавеющей сталей, твердых сплавов и др. Такие станки обеспечивают:

- 1) высокопроизводительную обработку глубоких и узких полостей без промывки;
- 2) высокую производительность;
- 3) работу электродами с малыми межэлектродными зазорами без потери производительности;
- 4) высокую точность конечного изделия;
- 5) высокую точность позиционирования рабочих органов станка и очень низкие значения износа электродов;
- 6) высокие класс шероховатости обработанных поверхностей и однородность поверхностей, в том числе и больших площадей обработки.

Производством копировально-прошивочных электроэрозионных станков занимаются в Японии (Makino, Mitsubishi), Швейцарии (AGIE Charmille), Испании (ONA), Великобритании (WinbroGroup, Sodick), Германии (Zimmer + KreinGmbH& Co). Каждая фирма предоставляет широкий ассортимент серий и моделей, различающихся наборами дополнительных опций, уровнем автоматизации, наличием автоматических устройств, расширяющих возможности станка (например, устройства для смены заготовок и инструмента) [4 - 7].

Станки японских компаний Makino и Mitsubishi обладают широкими технологическими возможностями и снабжены рядом проектно-технологических функций, отличающих их от конкурентов. Так, на станках серии S компании Makino используется система HQSF для ЭЭО с параметром шероховатости по-

верхности $Ra = 0,2$ мкм (зеркальная обработка). Имеется функция SuperEdge для получения радиусов 0,01 мм при обработке точных углов. Станки фирмы Mitsubishi компоуются по схеме «неподвижный стол–подвижная головка», в них использованы линейные направляющие качения. Также они оснащены системой адаптивного управления процессом, системой быстрой прошивки узких глубоких полостей.

Копировально-прошивочные станки фирмы Sodick оснащены ЧПУ и генераторами серии LN/LQ с максимальным током генератора импульсов 40, 80, 160, 240 А. Базовый генератор обеспечивает максимальную производительность до 600 мм³/мин при обработке стали графитовым электродом-инструментом (ЭИ). Имеется функция чистовой обработки (зеркальное выхаживание, $Ra = 0,06$ мкм) без замены диэлектрика или в специальном диэлектрике. Функция Pikagenpulse обеспечивает пониженный износ ЭИ, функция MAP11 — оптимизацию параметров режима по мере изменения геометрии межэлектродного промежутка. Используется объектно-ориентированная 3D CAD-CAM-система сквозного проектирования. Линейные двигатели привода осей и высокоточные датчики линейного положения обеспечивают, по данным компании, точность позиционирования $\pm 0,01$ мкм. Достижимая точность обработки по стандартной технологии фирмы составляет от $\pm 1,5$ до ± 5 мкм на 300 мм длины в зависимости от модели станка. В качестве опции поставляется ось C углового позиционирования со шпинделем вращения. Предусмотрена обработка с орбитальными осцилляциями ЭИ (5 базовых траекторий и 72 производных). В зависимости от модели станка линейные перемещения по осям осуществляются за счет перемещения стола или головки.

Прошивные электроэрозионные станки с ЧПУ швейцарской фирмы AGIE Charmille созданы для изготовления пресс-форм и штампов в инструментальном производстве. Базовая комплектация имеет все необходимое для выполнения задач, стоящих перед современным инструментальным производством. Для наглядности рассмотрим станки FORM20 и FORM30 (рис. 2), их характеристики представлены ниже.

Характеристики прошивных электроэрозионных станков с ЧПУ фирмы AGIE Charmille

	Габариты размеры заготовки	Ход X, Y, Z
FORM20	800×500×265 мм	350 ×250 ×250 мм
FORM30	1200×800×500 мм	600×400×400 мм

AGIE Charmille также производит прошивочные электроэрозионные станки повышенной точности. Станки специальной серии прошивочных станков с ЧПУ позволяют вести обработку с ультрапрецизионной точностью менее 1 мкм.



Рис. 2. Прошивной электроэрозионный станок общего назначения AGIE Charmille FORM20 (а) и AGIE Charmille FORM30 (б)

Характеристики прошивочных электроэрозионных станков с ЧПУ повышенной точности фирмы AGIE Charmille

	Габаритные размеры заготовки	Ход X, Y, Z
FORM1000	550×330×250 мм	220×160×250 мм
FORM2000 VHP	820×580×250 мм	400×300×350 мм
FORM3000 VHP	1200×800×350 мм	600×400×500 мм

Испанская фирма ONA предлагает широкую гамму станков, которые отличаются современным дизайном и высокими технологическими характеристиками. Станки оснащены системой ЧПУ ONA, осью С с углом поворота 360°. Максимальный ток генератора импульсов составляет 60 А (опционально — 120 А). Их особенностью является использование современных систем очистки рабочей жидкости без применения сменных картриджей, обеспечивающих отделение твердых частиц размерами до 3 мкм.

Станки серии Genius фирмы Zimmer + KreinGmbH & Co отличаются компактностью и относительно малой производственной площадью при достаточно высокой производительности и точности обработки. Все станки этой серии конструктивно выполнены с неподвижным столом, регулируемой по высоте ванной и встроенной осью С. Модульный принцип, заложенный в конструкцию станков, позволяет выбрать оптимальную конфигурацию [8, 9]. Станина таких станков представляет собой жесткую литую конструкцию, которая в комбинации с направляющими качения с предварительным натягом обеспечивают вы-

сокие точностные параметры обработки. Станки комплектуются устройством смены инструментов роторного типа на 16 или 24 позиции или линейным устройством Eagle магазинного типа на 50 позиций. Помимо этого, станки могут комплектоваться загрузочно-разгрузочным устройством Chameleon, обеспечивающим любую комбинацию паллет с заготовками и электродами, поворотным устройством (пятая ось), а также встраиваемым модулем, обеспечивающим финишную обработку с параметром Ra менее 0,8 мм, специальным модулем для повышения производительности при обработке твердых сплавов. В этом оборудовании предусмотрена опция в виде вращающейся головки и насосной установки высокого давления для прошивки глубоких отверстий диаметром 0,1...6 мм и полостей с помощью полых электродов (функция Superdrill) [4, 7, 10].

В последние годы на рынке электроэрозионного оборудования появились станки китайского производства, которые, как правило, дешевле функциональных аналогов других компаний.

В настоящее время многие производители обращаются к электроэрозионным станкам, в частности к копировально-прошивочным. Популярность и востребованность данной технологии обеспечивает разнообразие оборудования, что позволяет создать здоровую конкуренцию на рынке, а также предоставляет широкий выбор потребителям, принимающим решение в зависимости от поставленных задач.

Обработка контурных линейчатых поверхностей высокого уровня сложности осуществляется на проволочно-вырезных электроэрозионных станках. За последнее время технология электроэрозионной вырезки электродом-проволокой (ЭП) получила широкое распространение, образовав обширный рынок станков для данного вида обработки. Чтобы обеспечить точность при относительном перемещении рабочего участка проволоки по заданному контуру и стола применяют современные приводы с ЧПУ. Рабочий участок проволоки может перемещаться как поступательно, так и дополнительно вращаясь в пространстве, что позволяет получить более сложные поверхности в ходе данной операции. Последнее достигается при действии таких схем обработки, в которых верхняя и нижняя направляющие проволоки перемещаются независимо друг от друга по заданной программе. Использование многокоординатных проволочно-вырезных станков значительно расширяет возможности конструктора при проектировании новых технических объектов. Также разработаны различные технические решения, направленные на повышение жесткости рабочего участка проволоки: предложен способ обработки, при котором одна из находящихся в плотном контакте проволока является рабочей, а вторая — поддерживающей. Такой способ вдвое снижает прогиб рабочей проволоки, препятствуя изгибу рабочего участка ЭП и его вибрации [1, 2, 4].

В технологиях электроэрозионной проволочной вырезки масло, керосин или вода являются рабочими средами: промышленной, дистиллированной или деионизированной. Водные и углеводородные среды в качестве рабочих жидкостей для ЭЭО имеют свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе рабочей жидкости.

Для исключения окисления поверхности при обработке в воде за счет применения биполярных импульсов тока большинство ведущих производителей оборудования оснащают станки антиэлектролизными генераторами импульсов или соответствующими приставками. Точность используемой проволоки как электрода инструмента с максимальным отклонением диаметра от номинального должна составлять не более 0,005 мм. Латунная проволока является наиболее подходящим инструментом для проволочной вырезки, так как ее прочность в зависимости от состава равна 400–900 МПа, а относительное удлинение — 3–30 %. Ряд фирм специализируется на выпуске высококачественной проволоки для проволочно-вырезных станков (SEI, Primatec GmbH). Установлено, что применение покрытия с высоким содержанием цинка обеспечивает повышение производительности на 40–50 % для заданной толщины реза или существенно повышает толщину реза при заданной производительности. Увеличить максимальные растягивающие напряжения латуни можно за счет ее легирования специальными компонентами.

Проволочно-вырезные станки фирмы Sodick поставляются со встроенной объектно-ориентированной трехмерной системой CALS (3D CAD-CAM) и системой автоматизированного программирования с рядом функциональных подсистем. Процессорные системы предоставляют управление по четырем–пяти координатам ($X, Y, U, V, +Z$) с максимальной скоростью сервоподач до 5 м/мин.

Станок EXL100L и его модификации названы компанией ультрапрецизионными и позиционируются как самые точные электроэрозионные проволочно-вырезные станки. В их конструкции использованы сдвоенные линейные двигатели без сердечников, закрытые керамические направляющие аэростатического типа, керамическая станочная конструкция на гранитной станине, высокоточный холодильник-термостат диэлектрика, нанометровые линейные датчики положения Heidenhein и специально разработанная система управления Sodick Motion Controller (SMC). Конструкция привода обеспечивает дискретность подач 10 нм по осям X, Y, U, V . Станок укомплектован системой автоматической заправки проволоки диаметром от 0,03 мм. Масло используется в качестве диэлектрической среды [6, 7, 12].

AP200L и AP450L являются станками повышенной точности (прецизионными). Станок AP200L предназначен для обработки в масле или воде и оснащен одним баком (объем 420 л), а станок AP450L оснащен двумя баками — для масла и деионизированной воды объемом 550 л каждый. Дискретность подач приводов осей составляет 100 нм. Новые виды керамики используются для изготовления плиты стола, опор заготовки, кронштейнов и деталей механизмов протяжки проволоки.

Станки серии AQ предназначены для резания в воде, модели AQ325L, AQ535L, AQ550L обеспечивают обработку в ванне и струйную обработку; модель погружного типа AQ750L и модель струйного типа AQ800LF — созданы для обработки габаритных заготовок.

Станки, работающие на воде, имеют в своем составе антиэлектролизный генератор биполярных импульсов. Такой источник питания компании Sodick ге-

нерирует импульсы малой длительности на первых двух проходах и биполярные импульсы на третьем проходе. Для расширения технологических возможностей оборудования в некоторых моделях станков предусмотрены добавочные координаты. Так, наряду с пятью координатами, рассмотренными выше, предусмотрен поворот стола, называемый осью W , которая кроме углового позиционирования используется для вращения детали, что увеличивает технологические возможности станка.

Станок RA-90AT компании Mitsubishi с габаритными размерами 1440×2075×2030 мм обеспечивает производительность до 330 мм 2/мин и достижимую шероховатость $Ra = 0,6$ мкм. Станок оснащен антиэлектролизным генератором, устройством высокоскоростной автозаправки проволоки, системой адаптивного управления (функция Rower Master-3) с функцией экономичного расхода проволоки. Используется также функция адаптивного управления Rower Master-4. Проектирование технологий обработки на данных станках осуществляется на основе развитого программного обеспечения.

Высококачественные станки для проволочной вырезки выпускают японские компании Makino, FanucLtd и SeibuElectricandMachineryCo., Ltd.

Станки серии Robocut a-ic отличаются качественной системой контроля состояния межэлектродного промежутка. Эта система определяет принцип оптимального управления процессом резания или импульсного управления на базе, как его называют разработчики искусственного интеллекта. Совместная работа систем высококачественной системы ЧПУ Fanuc и обратной связи по состоянию межэлектродного промежутка обеспечивает устойчивый высокоскоростной режим резания с поддержкой постоянной мощности резания и предотвращением разрыва проволоки. При резке латунной проволокой диаметром 0,25 мм достигается производительность около 250 мм 2/мин, а проволокой диаметром 0,3 мм — 330 мм 2/мин. Использование проволоки с покрытием позволяет повысить производительность до 360 мм 2/мин. Для того чтобы предотвратить анодное окисление (антиэлектролизный эффект) высокопроизводительная резка на данных станках осуществляется переменным током высокой частоты. В качестве опции поставляется специальный источник питания для «зеркальной» отделки, который позволяет достичь шероховатости поверхности $Ra = 0,04-0,08$ мкм.

Компания FanucLtd выпускает одну из самых быстродействующих систем автоматической заправки проволоки с величиной рабочего цикла равным 12 с. В станках серии M компании Seibu (ELO ErosionGmbH) также используются современные средства автоматизации процесса резания, в частности система автоматической заправки проволоки и эффективная система управления процессом резания.

За последние несколько лет существенно увеличилось влияние предприятий Тайваня (MAX SEE, ECOWIN, Fair Friend Group, CHMER) на рынок электроэрозионного оборудования. Рассмотрим подробнее модельный ряд станков фирмы MAX SEE:

- электроэрозионные копировально-прошивные. Модели P26, 36, 46, 56 оснащены подвижным столом, модели P40, 50, 58, 66, 207, 307 — с подвижным хоботом. Серия ZNC имеет одну управляемую от ЧПУ ось (ось Z), а серия CNC — четыре управляемые от ЧПУ оси (рис. 3, а);



Рис. 3. Электроэрозионные станки: копировально-прошивной с подвижным столом (а) и проволочно-вырезной (струйного типа) с автоматической заправкой проволоки (б)

- электроэрозионные проволочно-вырезные. Серия FW — станки струйного типа (модели FW325, 530, 540, 645, 840, 1270), SW — погружного типа (модели SW325, 530, 540, 645, 840, 1270), в сериях BFW и BSW реализована автоматическая заправка проволоки (рис. 3, б).

Из оборудования европейского производства наиболее распространены модели компаний Charmilles AGIE и ONA. Оборудование отличается большим количеством высокотехнологичных решений, положительно влияющих на точность обработки и производительность, например модель производства Charmilles — Robofil 690. Станок имеет станину из полимербетона, в системе подачи проволоки применены безззорные алмазные направляющие. Линейки оптические, позволяют достичь точности позиционирования $\pm 0,5$ мкм. Рабочие диаметры проволоки — 0,1, 0,2 и 0,3 мм. Станок способен вести обработку при погружении в ванну и при прокачке диэлектрика вдоль ЭП. Производителем заявленная максимальная производительность — $300 \text{ мм}^2/\text{мин}$ при достижимой шероховатости $Ra = 0,28$ мкм.

Существует ряд модификаций станков, реализующих двухпроволочную вырезку (2030SI-TW, 4030SI-TW, 6030SI-TW). Эти установки обеспечивают последовательный обход контура в два перехода с использованием проволоки диаметром 0,25 мм (черновой проход) и 0,1 мм (чистовой проход), что повышает производительность вырезки на 30–60 %.

Рассмотрим еще один вид станков — проволочно-вырезные электроэрозионные, например такой станок с ЧПУ AgieCharmilles CUT общего назначения от GF MachiningSolutions (Швейцария) (рис. 4). Это специализированное оборудование, предназначенное для изготовления пресс-форм и штампов. Также фирма выпускает серию станков (CUT 1000, CUT 2000, CUT 3000), позволяющих вести обработку с ультрапрецизионной точностью. Установки позволяют получать шероховатость менее 0,03 мкм, оснащены системой оптического контроля, при этом возможны двухпроволочная обработка и работа в масле. Минимальный диаметр проволоки — 20 мкм. В совокупности эти характеристики делают станки данной серии уникальными, не имеющими аналогов на рынке [2, 4, 12, 13].



Рис. 4. Одна из самых популярных моделей — проволочно-вырезной станок с ЧПУ AgieCharmilles CUT E 350 (Швейцария)

Отечественные станки представлены на рынке проволочно-вырезным оборудованием среднего технического уровня [13, 14]. Модель ЭИ250Ф4 производит ОАО «Санкт-Петербургский завод прецизионного станкостроения». Станок предназначен для изготовления деталей сложной конфигурации, в том числе профилей с переменным углом наклона и линейчатых поверхностей с различными контурами в верхней и нижней плоскостях обрабатываемого изделия. Предусмотрено выполнение операций копирования формы электрода-инструмента небольшой площади (клейма различной сложности) и гравировки с нанесением знаковой информации. Станок имеет пять управляемых ЧПУ осей. Наибольшая скорость перемещений по осям X и Y составляет 100 мм/мин. В конструкции использованы круглые алмазные направляющие для проволоки диаметром 0,1/0,2/0,25 мм и керамические направляющие для проволоки диаметром 0,05–0,07 мм. Станок оснащен эффективной системой компьютерного ЧПУ и адаптирован к САПР UNICAM.



Рис. 5. Одна из последних разработок российской компании НПК «Дельта-Тест» — станок Арта-450

Научно-промышленная корпорация «Дельта-Тест» выпускает и модернизирует электроэрозионные проволочно-вырезные станки. На предприятии используется погружная схема обработки с подъемом ванны, рабочие среды — водопроводная и деионизированная вода. Применяется латунная, медная, молибденовая проволоки диаметром 0,05–0,3 мм (опция — 0,012 мм). Максимальная скорость резания по стали составляет 110 мм²/мин, точность координатных перемещений — ± 5 мкм. В станках применяется система ЧПУ АРТА-Х7 на основе промышленных компьютеров фирмы Advantech. Генератор импульсов АРТА-3М-5 на базе мощных MOS-транзисторов с микропроцессорным управлением гарантирует высокую производительность. Система ЧПУ обеспечивает широкий диапазон регулировки параметров тока, защиту от обрыва проволоки, выбор оптимальных параметров режима обработки, работу с проволокой малого диаметра (0,012–0,05 мм). Достижимая шероховатость поверхности равна 0,5 мкм. Одна из последних разработок компании — станок Арта-450 (рис. 5).

В заключение хотелось бы отметить, что электроэрозионная обработка — экономичный способ обработки металлов, позволяющий получать высококачественные поверхности сложной формы. Отсутствие отходов в виде стружки и возможность обрабатывать материалы любой твердости определяют широкую область применения данного способа.

Литература

1. Саушкин Б.П. Электрический разряд в жидких и газовых средах – основа нового поколения методов и технологий машиностроительного производства // Электронная обработка материалов. 2004. № 1. С. 4–17.
2. Паршиков О.Н., Яковлева А.П. Обработка стальных деталей электромеханическим методом // Главный механик. 2014. № 7. С. 62–64.
3. URL: <http://galika.ru> (дата обращения 14.04.2017)
4. URL: <http://www.equipnet.ru> (дата обращения 04.03.2017)
5. Яковлева А.П., Омельченко И.С. Повышение нагрузочной способности стальных деталей методом комбинированной обработки // Авиационная промышленность. 2013. № 2. С. 62–64.
6. Яковлева А.П. Поверхностное упрочнение электромеханической обработкой стальных деталей машин // Авиационная промышленность. 2014. № 1. С. 32–34.
7. Большагин Н.П., Яковлева А.П. Повышение производительности обработки шлифованием // Главный механик. 2014. № 8. С. 34–42.
8. Саушкин Б.П., Атанасянц А.Г. Электроразрядные процессы в технологиях машиностроительного производства. Ч.1. Технологическое применение электроразрядных явлений в системе «металл-металл» // Металлообработка. 2006. № 1. С. 16–23.
9. Саушкин Б.П., Митрюшин Е.А. Состояние и перспективы развития электроэрозионных технологий и оборудования // Металлообработка. 2009. № 2. С. 20–27.
10. Яковлева А.П. Повышение нагрузочной способности деталей типа тел вращения методом комбинированной обработки // Главный механик. 2015. № 1. С. 46–48.
11. Большагин Н.П., Яковлева А.П. Сборка червячной передачи // Авиационная промышленность. 2015. № 2. С. 44–47.
12. Кравченко И.И., Яковлева А.П. Анализ видов разрушений зубчатых колес // Главный механик. 2015. № 5–6. С. 45–50.
13. Яковлева А.П. Обработка зубчатых колес крупного модуля // Главный механик. 2014. № 6. С. 40–42.
14. Яковлева А.П. Кравченко И.И. Влияние качества поверхности на нагрузочную способность зубчатых колес // Главный механик. 2015. № 10. С. 36–38.

Перевертень Елизавета Александровна — студентка кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Коновалов Дмитрий Павлович — студент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Терниченко Владимир Александрович — студент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Савченко Алексей Владимирович — студент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.П. Яковлева, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF PARTS

E.A. Pereverten
D.P. Konovalov
V.A. Ternichenko
A.V. Savchenko

beastrock@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

We review electrical discharge machines designed for manufacturing a broad range of parts. We note specifics, advantages and disadvantages of this type of equipment. We provide guidelines for selecting tools to machine general mechanical engineering parts

Keywords

Electrical discharge machining, mechanical engineering, performance

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Saushkin B.P. Electrical discharge in liquid and gas medium is the base of a new generation of methods and technologies in machine-building production. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 2004, no. 1, pp. 4–17. (in Russ.)
- [2] Parshikov O.N., Yakovleva A.P. Electro-mechanic method of steel parts treatment. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2014, no. 7, pp. 62–64. (in Russ.)
- [3] URL: <http://galika.ru> (accessed 14.04.2017)
- [4] URL: <http://www.equipnet.ru> (accessed 04.03.2017)
- [5] Yakovleva A.P., Omel'chenko I.S. Enhancement of load-carrying capacity of steel parts by combined processing. *Aviatsionnaya promyshlennost'* [Aviation Industry], 2013, no. 2, pp. 62–64. (in Russ.)
- [6] Yakovleva A.P. Surface hardening by electromechanical processing of steel components of machines. *Aviatsionnaya promyshlennost'* [Aviation Industry], 2014, no. 1, pp. 32–33. (in Russ.)
- [7] Bol'shagin N.P., Yakovleva A.P. Machining efficiency increase by polishing. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2014, no. 8, pp. 34–42. (in Russ.)
- [8] Saushkin B.P., Atanasyants A.G. Electrodischarge processes in machine-building production (the review of references). Part 1: Technological application of the electrodigit phenomena in system «metal-metal». *Metalloobrabotka*, 2006, no. 1, pp. 16–23. (in Russ.)
- [9] Saushkin B.P., Mitryushin E.A. The review of a condition and prospects of development of electro discharge technologies and the equipment. *Metalloobrabotka*, 2009, no. 2, pp. 20–27. (in Russ.)
- [10] Yakovleva A.P. Increase of bearing capacity of the parts of solid revolution type by using method of combined treatment. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2015, no. 1, pp. 46–48. (in Russ.)
- [11] Bol'shagin N.P., Yakovleva A.P. Assembly of a worm gear. *Aviatsionnaya promyshlennost'* [Aviation Industry], 2015, no. 2, pp. 44–47. (in Russ.)
- [12] Kravchenko I.I., Yakovleva A.P. Analysis of gear wheels breakage types. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2015, no. 5–6, pp. 45–50. (in Russ.)
- [13] Yakovleva A.P. Turning of large module gear wheels. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2014, no. 6, pp. 40–42. (in Russ.)
- [14] Yakovleva A.P. Kravchenko I.I. Influence of surface quality onto loading capacity of gear wheels. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2015, no. 10, pp. 36–38. (in Russ.)

Pereverten E.A. — student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Konovalev D.P. — student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Ternichenko V.A. — student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Savchenko A.V. — student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.P. Yakovleva, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.