

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ЧАСТЬ 2. ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ

This article examines trends in the development of technologies and equipment for electrical-discharge machining. The examples show interesting technological and design solutions which allow to provide implementation of escalating requirements of the consumer.

К отверстиям малого диаметра относят условно отверстия с диаметром 0,1–3 мм. Глубокими считаются отверстия с отношением длины к диаметру более 10, в ряде случаев это отношение достигает 100–200. Так, в перспективных энергетических машинах ставится задача получения отверстий в охлаждаемых лопатках турбины с минимальным диаметром 0,2–0,3 мм, отношением глубины к диаметру 50–100, углом входа менее 20° и точностью отверстия 0,05 мм.

При прошивке отверстия сплошным инструментом-стержнем (проволока) все его геометрические дефекты, такие как погрешность формы в поперечном и продольном сечениях, отклонение от прямолинейности оси, будут сказываться на качестве получаемых отверстий. Недостатком данного вида обработки является неэффективная эвакуация продуктов эрозии из зоны обработки. Поэтому глубина получаемых отверстий ограничена, а точность формообразования невысока.

На практике, во избежание подобных осложнений, используют различные технические мероприятия. Так, электроду придается вращательное движение, устраняющее овальность получаемого отверстия, вызванную погрешностью поперечного сечения проволоки. Применяют шнековые электроды, при вращении которых более эффективно удаляются продукты эрозионного разрушения, используют прокачку рабочей жидкости через трубчатые электроды, разрабатывают маловязкие рабочие среды. Производительность операции электроэрозионной прошивки может быть увеличена также за счет орбитального движения электрода инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия. При этом снижается конусность и появляется возможность регулирования размера отверстия за счет изменения радиуса орбитального движения.

Многоэлектродная электроэрозионная обработка позволила эффективно решить задачу обработки мелких отверстий, а также создать качественно новые конструкции деталей, улучшающие основные показатели авиационных двигателей. Современные генераторы импульсов позволяют эффективно обрабатывать одновременно до 10000 отверстий диаметром 0,5...1 мм.

В качестве электродов используют проволоку из меди, вольфрама и его сплавов с медью или серебром. Вольфрамовые электроды небольшого диаметра отличаются высокой жесткостью и более эффективны при обработке малых отверстий. При обработке титановых сплавов применяют латунную проволоку (ЛС-59, ЛС-62), обеспечивающую большую стабильность обработки по сравнению с электродами из меди и вольфрама.

Прошивку глубоких отверстий малого диаметра трубчатым капиллярным электродом с прокачкой РЖ под давлением 7...10 МПа часто называют *струйной электроэрозионной обработкой*. При ее осуществлении электрод-инструмент совершает поступательное движение подачи и дополнительное вращение вокруг собственной оси. Такая схема обработки обеспечивает весьма высокую производительность прошивки отверстий с подачей до 20 мм/мин.

В настоящее время полые трубки производятся специально для электроэрозионной прошивки отверстий. Так, компания Ionex Ltd. предлагает одноканальные и многоканальные (2, 3, 4 канала) полые электроды из меди и латуни с наружным Ø 0,1...3 мм, одноканальные трубки из вольфрамо-медного сплава Ø 0,15...6 мм, одноканальные трубки из твердого сплава Ø 0,1...3 мм. Длина поставляемых трубок составляет 150, 300, 400 мм для электродов из меди и латуни и 175 мм для электродов из вольфрамо-медного сплава и твердого сплава.

Трубчатые электроды с различной формой поперечного сечения из меди, латуни и вольфрама (Tab. 1).

Для реализации эффективных технологий получения глубоких отверстий малого диаметра разработаны специальные станки, часто называемые *супердрелями* (super drill).

Супердрели ряда фирм оснащены генераторами, разработанными специально для операции прошивки малых отверстий. Применение таких генераторов и специальных рабочих жидкостей на водной основе приводит к значительному снижению износа электродов.

Для обработки отверстий диаметром 0,2...0,5 мм применяется отечественный станок СЭП-85-001, оснащенный автономной станцией для подачи рабочей жидкости под давлением до 10 МПа, устройством вращения электрода-инструмента. Конструктивной особенностью станка является наличие вибратора электрода-инструмента с частотой до 800 Гц и транзисторного генератора с регулируемой частотой 40...200 кГц.

За рубежом рядом фирм разработаны технологии и выпускается оборудование для струйной обработки глубоких отверстий диаметром 0,3...6 мм. Станки серии KICN фирмы Sodick оснащены специальными генераторами тока, системой

Таблица 1
Техническая характеристика трубчатых электродов

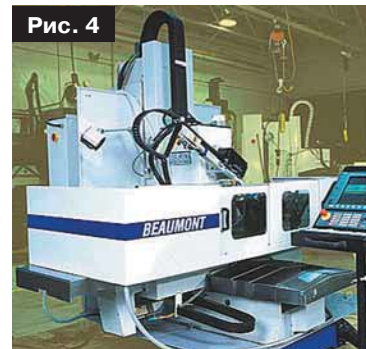
Параметр	Порядковый номер типоразмера трубки				
	1*	2	3	4	5
Форма поперечного сечения					
Материал	медь	латунь	медь	медь	вольфрам
Диаметр, мм	0,08–10 через 0,05 мм	0,3–3 через 0,1 мм	0,4–3 через 0,1 мм	2,1–6 через 0,1 мм	0,15–2,9 через 0,05 мм
Длина, мм	250	300, 400	300	300	200, 250

* Медные электроды с кольцевым сечением рабочей части диаметром 0,08–0,5 мм выпускаются также с цилиндрическим хвостовиком диаметром 1 мм (ступенчатый ЭИ)

Рис. 1

Супердрель модели S26CNC
Рис. 2

Станок CT-500 компании Current EDM Inc.
Рис. 3

Устройство автоматической смены ЭИ
Рис. 4

Многокоординатный прошивочный станок фирмы Beaumont

автоматического управления процессом на базе ЭВМ, системой очистки и подачи рабочей жидкости. Станки комплектуют устройством автоматической смены ЭИ на 15 позиций. Для супердрелей разработаны специальные генераторы импульсов со средним током до 50 А с управлением от компьютера. Так, КЧПУ–LN10K обеспечивает ток до 40 А и управление станка по шести координатам.

Установки швейцарской компании Sarix SA моделей SX–100HPM и SX–200 HPM успешно используют для получения отверстий диаметром 0,005...3 мм цельным или трубчатым ЭИ.

Высококачественные станки SH2CNC, SH2 для прошивки малых отверстий выпускаются швейцарской фирмой Charmilles Technologies.

Электроэрозионные супердрели (модели S 26, 36, SDR 56) с одной, тремя и шестью управляемыми от ЧПУ осями выпускает тайваньская компания Max See (**рис. 1**). Станки хорошо показали себя при эксплуатации на российских предприятиях.

Супердрели выпускаются различными компаниями США. Так супердрель EDM Drillmate с размера стола 600х300 мм и ходом по осям X, Y, Z 350х260х200 мм соответственно обеспечивает эффективную обработку малых отверстий в деталях различного назначения. Супердрель компании Current EDM Inc. модели CT-500 – одна из наиболее производительных машин данного класса, предназначена для получения отверстий Ø 0,1...6,5 мм с отношением длины к диаметру до 300 с использованием воды в качестве диэлектрика (**рис. 2**).

Станок снабжен устройством автоматической смены инструмента, обеспечивающим длительную работу оборудования в автоматическом режиме (**рис. 3**). Наряду с этим разработан блок для замены направляющих втулок. Осуществляется надежная замена до 4 втулок различных диаметров.

Компания Joemars предлагает супердрели моделей JM325D, JM528DZ, DNC42 с системой управления FAZZY (автотехнолог). Для выбора эффективного режима обработки в этой системе задают материал, диаметр и величину износа электрода, материал детали. Супердрели включают в себя систему предотвращения столкновения ЭИ с заготовкой. Используются 5 видов индикаторов тревоги: достижение заданной глубины прошивки, возникновение дуги, низкий уровень диэлектрика, безопасность, короткое замыкание. Для обработки твердых сплавов, закаленной и легированной стали используется специальная система MOSFET.

Станок для изготовления глубоких отверстий модели X Tech FHD CNC EDM (компания MJ Technologies) обладает современным набором автоматических функций. Для повышения производительности и гибкости технологий прошивки отверстий компания MJT разработала оборудование, включающее в себя две или три автономные рабочие головки с индивидуальным приводом, смонтированные на одной станине. Так, модель Trio Tech EDM с тремя рабочими головками специально спроектирована для обработки групп отверстий в изделиях малых и средних размеров, таких как лопатки и лопаточные колеса изделий авиационной техники. На каждой головке можно устанавливать до 30 электродов. Очевидно, на подобной установке можно обрабатывать параллельно одинаковые или различные изделия при индивидуальной настройке каждой головки.

Фирма Beaumont разработала 6 и 7-координатные станки серии FH для электроэрозионной обработки отверстий

с устройствами ЧПУ Siemens 840Di (**рис. 4**). Станок оснащен роботом, выполняющим смену инструмента, системой определения выхода из строя ЭИ, встроенной КИМ, системой правки ЭИ. Используются вращающиеся ЭИ Ø 0,3...5 мм длиной 300 мм. Отверстие 1,6 мм глубиной 16 мм в никелевом сплаве обрабатывается за 35 с. В станках осуществляется автоматическая смена инструмента с использованием 18-типозиционного магазина.

Станки данного типа с успехом используются при прошивке отверстий с различной пространственной ориентацией осей в крупногабаритных деталях.

Многокоординатные станки для прошивки отверстий в пространственно сложных изделиях изготавливаются компанией AMCHEM (Winbro Group, Великобритания). Так, станок модели HSD6-GT (**рис. 5**) предназначен для прошивки отверстий с заданным пространственным расположением оси и в заданной точке входа ЭИ на поверхности заготовки в пределах рабочей зоны. Модель обеспечивает перемещения заготовки по шести координатам с ЧПУ и одну координату перемещения инструмента.

Станок оснащается инструментальным восьмипозиционным магазином инструментов с двухзахватным автооператором. Генератор импульсов обеспечивает диапазон изменения среднего тока 0...36 А (амплитудное значение до 96 А). Длительность импульсов 0,5...655 мкс, длительность паузы 1...655 мкс, высокое напряжение 88...300 В. Генератор обеспечен функцией самоконтроля и диагностики неисправностей.

Программное обеспечение станка предусматривает разработку файла на операцию прошивки отверстия. При многооперационной обработке отдельные файлы собирают в блок полной программы обработки. Имеется подпрограмма правки электродов. Станок позволяет не только прошивать отверстия и пазы, но и производить высокоэффективные операции электроэрозионного фрезерования вращающимся стержневым инструментом [4].

В заключение отметим, что получение малых отверстий является актуальной задачей в технологиях ремонта деталей машин. Так, например, извлечение сломанного осевого инструмента часто осуществляется с применением операций электроэрозионной прошивки. Для этой цели используют существующие станки или создают специальное оборудование. Так, компания Joemars Machinery (Тайвань) предлагает на рынке оборудования портативную переносную установку TR100 Tap broken remover, предназначенную для удаления сломанного осевого инструмента, прошивки исходных отверстий для проволочно-вырезных работ. Установка проста в эксплуатации, отличается высокой технологической гибкостью,

Рис. 5

Многокоординатный электроэрозионный прошивочный станок HSD6-GT



может подключаться к различным источникам электропитания. В качестве рабочей жидкости используется техническая вода. Предусмотрены автоматическая подача инструмента, установка глубины прошивки, защита от дугового разряда, перегрева.

Анализ имеющихся данных показывает, что к числу важнейших проблем развития метода ЭЭО относятся следующие [3]:

- дальнейшая разработка теоретических основ процесса электроэрозионного разрушения материалов;
- разработка технологических основ метода ЭЭО, переход от эмпирических и полупромышленных знаний к теоретическому описанию процесса. Так, многие годы исследования в области ЭЭО ограничивались достаточно узким диапазоном режимных параметров, определяющих достижение максимальной производительности процесса. Такой подход, безусловно, затруднил теоретическое обобщение имеющихся экспериментальных результатов, хотя бы потому, что в ряде практически важных задач производительность не является главным показателем эффективности технологии. Вместе с тем разработка методов и средств повышения производительности ЭЭО остается одним из основных условий сохранения и повышения ее конкурентоспособности. В этой связи перспективным объектом исследований является процесс размерной обработки короткой дугой, предложенный В.И. Носуленко [5].

Все большее значение приобретают разработка и применение методов и процедур структурной и параметрической оптимизации технологий ЭЭО [6]. В связи с этим совершенствуются методы и средства технико-экономической оценки альтернативных вариантов технологий, обеспечивающие надежное обоснование целесообразности и необходимости применения операций ЭЭО. Для решения этой практически важной задачи необходимы банки данных о технологических возможностях операций ЭЭО и функционально схожих операций, выполняемых другими методами:

- разработка методов и средств повышения точности и качества обработанной поверхности. К настоящему времени средствами ЭЭО удается надежно обрабатывать объекты по 6–7 квалитетам точности, достигать параметра шероховатости $Ra=0,1$ мкм и ниже. Это позволяет использовать технологии ЭЭО для изготовления миниатюрных объектов с размерами порядка 10 мкм [7]. Так компания Fanuc Robocut сообщает о возможности финишной обработки некоторых объектов с точностью 0,05 мкм на станке Alpha-OiCp. Расширяется спрос на оборудование для микро ЭЭО. Ведущие производители создали и совершенствуют модельный ряд станков для микрообработки. В обозримом будущем применение ЭЭО в области микро- и нанобработки будет расширяться;
- дальнейшее повышение уровня автоматизации, как при технологической подготовке, так и при производстве изделий. Благодаря высокому уровню автоматизации технологии ЭЭО органично вписываются в современную концепцию CALS-технологий. Ведущие компании-производители оборудования интенсивно развивают программный продукт для разработки и реализации электроэрозионных технологий;
- создание интегрированных технологических систем на основе процессов электроэрозионной обработки [8]. Создание многофункциональных станков является устойчивой тенденцией мирового станкостроения. В последние годы расширяются функциональные возможности электроэрозионных станков. Так на некоторых проволочно-вырезных станках имеются блоки прошивки отверстий для ввода проволоки, то есть объединяются функции прошивочных и проволочно-вырезных станков. В 2005 году появился многофункциональный станок с двумя рабочими зонами, который объединяет функции гидроабразивного и электроэрозионного проволочно-вырезного станков, то есть позволяет осуществлять высокопроизводительную предварительную вырезку по заданному контуру с последующей высокоточной обработкой электродом-проволокой. Создан комплекс, состоящий из двух станков – фрезерного и электроэрозионного копировально-прошивочного, объединенных системой автоматической транспортировки заготовки в спутнике и системой управления. Имеются станки,

на которых можно производить электроэрозионные, электрохимические и совмещенные операции. Вне всякого сомнения, работа по созданию многофункционального оборудования с использованием электроэрозионных рабочих головок будет продолжена. Создание гибких технологических модулей для осуществления операций физико-химической обработки и обработки резанием позволит, на наш взгляд, существенно повысить эффективность обработки многих деталей авиационно-космической техники;

- разработка научных основ и соответствующих технологий защиты окружающей среды и безопасности жизнедеятельности при выполнении электроэрозионных работ. Так фирма Reven (Германия) разработала и поставляет специальные высокоэффективные трехступенчатые фильтры для очистки воздуха рабочей зоны электроэрозионных станков. Прилагаются усилия для создания экологически чистых и малотоксичных рабочих сред;
- расширение номенклатуры материалов, эффективно обрабатываемых данным методом. Особый интерес представляют, на наш взгляд, работы, направленные на создание технологий электроэрозионной обработки перспективных керамических материалов, материалов со специальными свойствами;
- создание новых и совершенствование существующих комбинационных методов обработки на основе или с привлечением метода ЭЭО. Получили промышленное применение технологии электроконтактной, электроэрозионно-электрохимической, электроэрозионно-механической, электроэрозионно-ультразвуковой обработки материалов. В этом направлении продолжаются интенсивные исследования в разных странах и организациях [8];
- создание технологий и оборудования для электроэрозионно-го синтеза трехмерных объектов. Большинство имеющихся технологий данного типа основаны на уникальных свойствах лазерного излучения. Однако метод электроэрозионной обработки также успешно развивается в направлении создания аддитивных технологических процессов [2];
- развитие и использование способов электроэрозионной обработки деталей машин в газовых и аэрозольных средах с целью совершенствования технологий упрочнения и восстановления изделий.

Таким образом, электроэрозионные технологии и оборудование сформировали важный элемент в современной технологии машиностроения, роль которого в развитии производства наукоемких изделий постоянно растет.

Б.П. Саушкин

Литература:

1. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей/ Под ред. Б.П. Саушкина.– М.: Изд. Дрофа, 2002. – 656 с.
2. Ю.С.Елисеев, Б.П. Саушкин. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Баумана. 2010.– 437 с.
3. Б.П. Саушкин Инновационные процессы в области физико-химических методов и технологий. Материалы круглого стола: «Знания – главный ресурс инновационного развития». Международный форум «Высокие технологии-2009». 2009. – С. 87–90.
4. Д.М. Забельян, В.В. Рогов, Е.А. Митрюшин и др. Скоростная электроэрозионная обработка пазов системы охлаждения жаровой трубы камеры сгорания / Металлообработка. 2012, № 3. – С. 14–19.
5. В.И. Носуленко Размерная обработка металлов электрической дугой / Электронная обработка материалов. 2005, № 1. С. 8–17.
6. Tzeng Y., Chen F. Multi-objective optimization of high-speed EDM process using a Tagachi fuzzy-based approach. / Mater. and Design. 2007, V.28, №4. – P. 1159–1168.
7. Kozak J., Rajurkar K., Makkar J. Selected problems of micro EDM / J. Mater. Proc. Technol. 2004, V. 149, № 1–3. – P. 426–431.
8. Rajurkar K. P., Kozak J. Hybrid Machining Process Evaluation and Development // Proc. 2th Intern. Conference Machin. Measurements of Sculptured Surfaces.: Krakow. 2000. P. 501–536.