

2. Абрамович С.А., Беляев И.Н. *Автоматизация машиностроительных производств.* — СПб.: Питер, 2020.
3. Ковалёв С.В. *Цифровое производство и гибкие производственные модули.* — Журнал *Инженерная практика*, №4, 2022.
4. Siemens Industry Software. *Flexibility in Manufacturing Systems.* — White Paper, 2021.
5. Порталы: *Automation.ru*, *RobotForum.ru* — аналитика и статьи 2022–2023 гг.
6. Официальные сайты АО «КамАЗ» и Группы ГАЗ — отчёты о цифровой трансформации.
7. FlexSim Simulation Software — www.flexsim.com
8. ISO 10303-238 (STEP-NC) — международный стандарт для обмена производственными данными в автоматизированных системах.

УДК 621.9.048.4

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ: ПРИНЦИПЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ

Магистрант Гурин Макар Витальевич

Научный руководитель – д.т.н., профессор Синькевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В условиях стремительного развития высокоточных и ресурсосберегающих технологий всё большую значимость приобретает электроэрозионная обработка (ЭЭО) — способ безконтактного снятия материала с поверхности токопроводящих заготовок с помощью электрических разрядов. Эта технология позволяет получать изделия сложной формы с высокой точностью, особенно в случаях, когда традиционные методы обработки металлов оказываются малоэффективными или невозможными.

Электроэрозионная обработка широко используется при производстве штампов, пресс-форм, инструментов и ответственных деталей машин, особенно из твёрдых, жаропрочных и труднообрабатываемых материалов. Она даёт возможность создавать тонкие каналы и острые углы.

Электроэрозионная обработка основана на явлении электрической эрозии — разрушении материала под действием многократных электрических

разрядов между электродом-инструментом и заготовкой, погружёнными в диэлектрическую жидкость.

При подаче импульсного напряжения между электродом и заготовкой в малом зазоре (от 0,005 до 0,05 мм) происходит пробой диэлектрика и возникает искровой разряд. Температура в зоне разряда достигает 8000–12000 °С, что вызывает локальное плавление и частичное испарение материала. Продукты эрозии выносятся потоком жидкости из межэлектродного промежутка. Процесс повторяется десятки тысяч раз в секунду, постепенно формируя нужную геометрию.

Ключевые параметры, влияющие на точность и производительность:

- форма и материал электрода-инструмента;
- параметры импульсов (напряжение, ток, длительность);
- свойства диэлектрика (обычно это керосин или масло);
- межэлектродный зазор;
- система управления разрядным процессом.

Обрабатывать можно только токопроводящие материалы, включая твёрдые сплавы, нержавеющей стали, титан, вольфрам, молибден и даже закалённые детали. Именно поэтому ЭЭО особенно эффективна там, где традиционные методы не справляются.

Существует несколько основных разновидностей ЭЭО, каждая из которых имеет свои особенности и область применения:

- погружная электроэрозионная обработка (EDM)

Осуществляется с помощью формообразующего электрода, который повторяет форму обрабатываемой полости. Заготовка и электрод полностью погружены в диэлектрик. Применяется для создания пресс-форм, штампов, литников, различных выемок.

- проволочно-вырезная электроэрозионная обработка (WEDM)

Вместо твердотельного электрода используется тонкая проволока, которая медленно подаётся через заготовку, вырезая нужный контур. Метод применяется для высокоточной резки деталей сложной формы и изготовления штамповочных контуров. Достижимая точность — до $\pm 2\text{--}5$ мкм.

- электроэрозионное прошивание

Используется для создания отверстий малого диаметра (например, в лопатках турбин). Электрод-прошивка медленно погружается в материал, формируя отверстие путём последовательных разрядов.

- электроконтактная обработка

Иногда выделяется в отдельную группу. В этом случае механическое соприкосновение и электрические импульсы вызывают локальное разрушение. Применяется для точечных операций.

ЭЭО применяется в самых различных отраслях:

- авиакосмическая промышленность — изготовление твердосплавных лопаток, сопел, деталей из жаропрочных сплавов;
- медицина — производство микроинструментов и имплантов сложной формы;
- инструментальное производство — формообразование пресс-форм, штампов, резбонарезных и фрезерных инструментов;
- машиностроение и автомобилестроение — изготовление прецизионных деталей, отверстий под углом, фигурных пазов.

Преимущества метода:

- Высокая точность и чистота обработки;
- Возможность обработки твёрдых и закалённых материалов;
- Отсутствие механического контакта (нет механических нагрузок);
- Минимальное тепловое влияние вне зоны разряда.

Ограничения:

- Только проводящие материалы;
- Низкая производительность по сравнению с механической обработкой;
- Износ электрода (особенно в погружной ЭЭО);
- Требования к точности настройки оборудования.

Современные системы электроэрозионной обработки оснащаются ЧПУ, что позволяет автоматизировать процесс, повысить точность и повторяемость. Внедрение CAD/CAM систем обеспечивает быструю подготовку управляющих программ. Новые источники питания с цифровым управлением позволяют гибко настраивать режимы работы.

Активно развиваются гибридные технологии, совмещающие ЭЭО с другими методами (например, ультразвуковыми колебаниями или лазером), что позволяет расширить технологические возможности и повысить эффективность.

Электроэрозионная обработка представляет собой незаменимый инструмент современной прецизионной инженерии. Благодаря способности обрабатывать твёрдые и сложнопрофильные детали с высокой точностью и минимальным тепловым воздействием, ЭЭО активно используется в высокотехнологичных отраслях. Несмотря на сравнительно низкую производительность, метод компенсирует это широчайшими возможностями по обработке труднодоступных поверхностей и материалов. С развитием

автоматизации, цифровых технологий и гибридных решений потенциал ЭЭО продолжает расширяться.

Литература

1. Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1977. – 43 с.
2. Кабалдин Ю.Г., Сариллов М.Ю., Биленко С.В. Повышение устойчивости процесса электроэрозионной обработки и качества обработанных поверхностей на основе подходов искусственного интеллекта. – Комсомольск-наАмуре: КНАГТУ, 2007. – 191 с.
3. Каблов, Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г. // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7-17.
4. Серебrenицкий, П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование: учебное пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 228 с.

УДК 621.762.3

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛМАЗНЫХ ПОРОШКОВ

Магистрант Мельник Юлия Андреевна

Научный руководитель – к.т.н., доцент Парницкий А.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Алмазные материалы имеют широкое применение в различных отраслях промышленности, включая обработку материалов, электронику, медицину и строительство. Алмазные порошки и композиционные алмазные материалы играют ключевую роль в создании высокопрочных и износостойких изделий.

На рисунке 1 представлена круговая диаграмма распределения потребления объема алмазов.