

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Гусляков В.В., Давыдов В.М., Якуба Д.Д.

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Ключевые слова: электроискровое легирование, разработка требований, сложнопрофильные детали, аддитивные технологии, комбинированная обработка.

Аннотация. В статье рассматривается современное состояние технологии электроискрового легирования, ее применения на машиностроительных производствах, требованиях к оборудованию и условиям финишной обработки после электроискрового легирования.

RESTORATION OF GEOMETRICALLY-COMPLEX PARTS BASED ON ADDITIVE TECHNOLOGIES

Guslyakov V.V., Davydov V.M., Yakuba D.D.

Pacific national university, Khabarovsk

Keywords: electrospark alloying, development of requirements, complex-profile details, additive technologies, combined processing.

Abstract. The article discusses the current state of the technology of electrospark alloying, its application in engineering industries, equipment requirements and conditions of finishing after electrospark alloying.

Одним из способов восстановления сложнопрофильных деталей или их элементов является электроискровое легирование (ЭИЛ).

При ЭИЛ осуществляется процесс разрушения электродов и перенос части продуктов эрозии на противоположный электрод. Суть электроискровой обработки металла с контактным началом работы в газовой среде состоит в том, что анод, находящийся под действием вибрации, приближается к шероховатой поверхности изделия. При контакте вершин неровностей заготовки и инструмента происходит разряд конденсаторов, при котором появляется плазменный канал, имеющий сквозную проводимость. Именно через этот канал происходит импульсный разряд энергии накопительного конденсатора. Далее, под влиянием газодинамических сил, возникающих от взрывного оплавления мостиков связи, происходит отход анода от катода. После чего конденсатор снова заряжается и процесс повторяется заново [1].

Наиболее важной особенностью метода ЭИЛ является формирование измененных поверхностей слоев и покрытий на деталях с разнообразными физическими и химическими свойствами [2].

Электроискровое легирование позволяет произвести ремонт и восстановить исходные размеры детали, придав ее поверхностному слою новые свойства:

- повышение срока службы деталей и режущего инструмента;
- повышение износостойкости;
- повышение жаростойкости;
- повышение твердости;

- повышение коррозионной стойкости;
- снижение коэффициента трения.

На рисунке 1 представлена обобщенная модель процесса ЭИЛ.

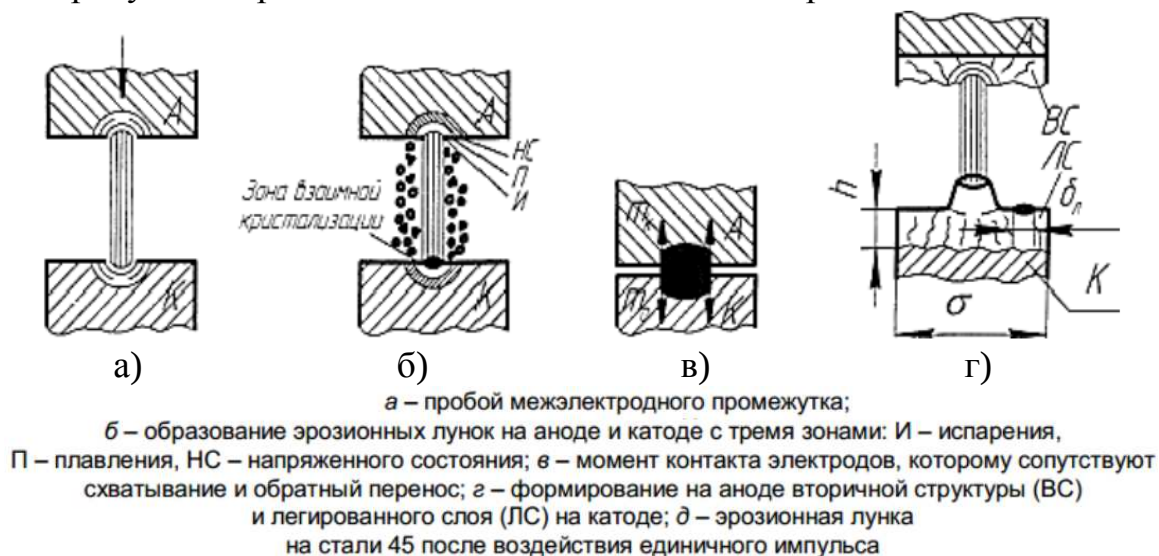


Рис. 1. Обобщенная модель процесса ЭИЛ

При этом, ЭИЛ не получил широкого распространения в серийном производстве и используется для восстановления изношенных поверхностей или упрочнения режущего инструмента. Анализ работ, посвященных автоматизации процесса, свидетельствует о нестабильности процесса, которая в свою очередь затрудняет прогнозирование результатов обработки и не гарантирует получение одинаковых эксплуатационных свойств получаемых покрытий на большой выборке изделий. Отсутствие полной математической модели процесса ЭИЛ в настоящее время объясняется сложностью происходящих электро-физико-химических явлений при его реализации. Это затрудняет выбор режимов обработки и используемых электродных материалов, снижает эффективность применения ЭИЛ в производстве и воспроизводимость результатов процесса [3]. В условиях чувствительности процесса ЭИЛ к изменению параметров обработки: температуры, газового состава среды, силы прижатия анода к катоду, режима работы генератора и скорости относительного перемещения электродов относительно друг друга требуется математическое описание процесса ЭИЛ и его автоматизация.

Изменение режимов обработки, материалов, состава межэлектродной среды и других параметров, позволяет исследователям получить покрытия с определенными эксплуатационными характеристиками. К сожалению, публикуемые научные результаты не позволяют сравнивать их между собой ввиду отсутствия общих оценочных критериев, что не позволяет перейти от стадии экспериментов к стадии разработки технологических процессов, позволяющих прогнозировать и гарантировать результаты [4].

Поэтому разработка экономичных и эффективных методов восстановления сложнопрофильных деталей на основе аддитивных технологий, сводящих к минимуму имеющиеся недостатки и сохраняющих достоинства ЭИЛ, простых для освоения в промышленном производстве является актуальной задачей

Разработка требований к оборудованию для процесса восстановления сложногопрофильных деталей на основе ЭИЛ

Для стабильного и качественного протекания процесса ЭИЛ, его необходимо контролировать. ЭИЛ является многопараметрическим процессом. К основным параметрам, характеризующим процесс относят:

- условия окружающей среды, в которой проводится обработка: влажность, температура воздуха и газовый состав межэлектродной среды;
- форму, состав и структуру материалов электродов;
- человеческий фактор - при прочих равных условиях, два оператора получают покрытия с разными свойствами;
- энергия единичного импульса и общее количество рабочих импульсов - режимы обработки;
- тепловой баланс системы;
- исходная шероховатость поверхностей;
- форма контактной поверхности электродов и ряд других параметров [5].

Целями такого управления являются:

- обеспечение стабильности существования электроискрового разряда;
- обеспечение постоянства и управления скважностью межэлектродного пространства;
- минимизация интенсивности процессов дефектообразования и обезуглероживания в аноде;
- стабилизация свойств получаемых покрытий во времени и по площади обработки;
- снижение вероятности перегрева обрабатываемой поверхности;
- получение заданной толщины получаемого покрытия;
- определение оптимальной стратегии обхода сложной поверхности;
- повышение КПД процесса эрозии анода, повышение эффективности массопереноса;
- получение наиболее оптимального микрорельефа покрытия;
- обеспечение достижения целей осуществляется через управляющие воздействия:
 - управление режимом работы генератора импульсов;
 - управление системой позиционирования;
 - управление скоростью перемещения приводов;
 - управление частотой вибрации анода;
 - управление интенсивностью прокачки СОЖ;
 - управление газовой средой.

Управление осуществляется через контроль конкретных параметров процесса ЭИЛ:

- удельное время обработки;
- амплитуда колебаний анода;
- напряжение и ток генератора;
- количество рабочих импульсов;
- напряжение и ток в рабочей цепи;
- количество нерабочих импульсов;
- температура анода и катода;

- форма электрод-инструмента (анода);
- величина межэлектродного промежутка;
- звуковое излучение единичного импульса;
- частота вибрации или частота вращения анода;
- скорость взаимного перемещения анода и катода;
- угол наклона анода к катоду относительно нормали.

Таким образом, реализация процесса восстановления сложнопрофильных деталей на основе ЭИЛ возможна на оборудовании с числовым программным управлением, при этом информация о конкретных параметрах процесса ЭИЛ должна поступать комплексно, непрерывно, задержка поступления информации должна быть минимальна.

Оптимальное решение - совмещать процессы ЭИЛ и механической обработки. Такое решение позволяет применять процесс ЭИЛ в ремонте и производстве сложнопрофильных деталей, и в нанесении покрытий.

Согласно [6] все материалы делятся на три группы. К первой относят тугоплавкие металлические соединения (карбидные, нитридные, боридные и т. д.), а также металлокерамические твердые сплавы (ВК – вольфрамокобальтовые, ТК – титановольфрамокобальтовые и ТТК – титанотанталовольфрамокобальтовые и ряд других твердых сплавов). Покрытия из металлов первой группы характеризуются: высоким качеством покрытия (низкая хим. активность), не склонны к схватыванию при трении, не чувствительны к составу окружающей среды, обладают высокой износоустойчивостью и твердостью, обладают высоким коэффициентом трения (0.3...0.7). Ко второй группе относят мягкие металлы и их сплавы (алюминий, серебро, медь, золото и т.д.). Покрытия, получаемые этими материалами, характеризуются высокими антифрикционными и антикоррозионными свойствами, а также высокой электропроводностью. Все остальные металлы и сплавы на их основе относят к третьей группе. Однозначной характеристики покрытий, получаемых из электродов третьей группы дать невозможно, в связи с широким спектром включенных в данную группу материалов и как следствие этого различными свойствами [7]

На основе [8] составлены рекомендации по обработке поверхности детали после ЭИЛ в зависимости от нанесенного материала. Полученные рекомендации представлены в таблице 1.

Преимущества комбинированного электроискрового легирования и фрезерования на станке с ЧПУ:

- максимально высокое качество поверхностей и точность обработки деталей благодаря интегрированной опции нанесения покрытия и фрезерования;
- комплексная технологическая цепочка для мелкосерийного многономенклатурного производства с применением методов CAD/CAM/CAE-технологий;
- привязка электроискровой головки к станку с ЧПУ;
- возможность интегрированного отвода отходов комбинированного производства;
- моделирование процессов формообразования для обеспечения качества обработки;

- создание траекторий станков ЧПУ для электроискрового легирования и фрезерования;
- выбор стратегии обработки (Объединение различных стратегий нанесения покрытий и фрезерования: последовательное, зигзаг, спираль, челночное...); - селективное нанесение частичных и полных антикоррозионных или износостойких покрытий;
- нанесение многослойных покрытий с послойной механообработкой;
- сочетание различных материалов при создании многослойных покрытий.

Табл. 1. Рекомендации по обработке поверхности детали после ЭИЛ

Состав и твердость материала поверхности детали после ЭИЛ	Характеристика покрытия	Материал для режущего инструмента	Методы и инструменты механообработки поверхности детали
тугоплавкие металлические соединения, металлокерамические твердые сплавы	высокое качество покрытия (низкая химическая активность), не склонны к схватыванию при трении, не чувствительны к составу окружающей среды, обладают высокой изнosoустойчивостью и твердостью, обладают высоким коэффициентом трения (0.3...0.7)	поликристаллический алмаз; кубический нитрид бора; оксидная керамика; смешанная керамика; нитридная керамика; кермет с покрытием; твердый сплав с алмазным покрытием; ультрамелкозернистый твердый сплав с покрытием; ультрамелкозернистый твердый сплав	шлифование абразивными кругами; магнитно-абразивная обработка; притирка и доводка; ультразвуковая обработка магнитострикционным излучателем
мягкие металлы и их сплавы	высокие антифрикционные и антикоррозионные свойства, а также высокая электропроводность	Кермет; Твердый сплав с алмазным покрытием; Ультрамелкозернистый твердый сплав с покрытием; Ультрамелкозернистый твердый сплав; Твердый сплав; Твердый сплав с покрытием; Быстрорежущая сталь; Быстрорежущая сталь с покрытием	Шлифование абразивными кругами; Магнитно-абразивная обработка; Выглаживание
остальные металлы	невозможно дать характеристику, в связи с широким спектром включенных в данную группу материалов и как следствие этого различными свойствами	-	-

Выводы

При конструировании и изготовлении деталей для единичного и мелкосерийного производства целесообразно ориентироваться на комбинированную технологию, т.к. в противном случае это существенно влияет на точность и стоимость изделия.

Свобода выбора формы означает совершенно новый уровень технологии получения сложнопровильных деталей, за счет исключения необходимости многоэтапной их обработки.

Объединение процессов электроискрового легирования и фрезерования на станке с ЧПУ предоставляет возможность производить нанесение покрытий на ответственных поверхностях детали и одновременно производить механообработку.

Список литературы

1. Сытченко А.Д. Электроискровое легирование как способ обработки металлов // Юность и знания - гарантия успеха: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (27-28 сентября 2017 года). Т.2.; отв. ред. М.С. Разумов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 151-154.
2. Востриков Я.А. Классификация электродных материалов для электроискрового легирования / Я.А. Востриков, Л.А. Коневцов, В.М. Макиенко, А.Д. Верхотуров // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2013. – № 1. – С. 93-97.
3. Мулин Ю.И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья / Ю.И. Мулин, А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 110 с.
4. Якуба Д.Д., Ледков Е.А. Экспериментальный комплекс интеллектуального управления процессом электроискрового легирования // Современные технологии: сборник научных трудов XIII международной научно-практической конференции (27 января 2018 года). Т.1. – Пенза: Наука и просвещение, 2018. – С. 88-93.
5. Химухин С.Н. Давыдов В.М. Ледков Е.А. Гиль А.В., Соколов Р.А. Стабилизации электроискровой обработки // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 76-79.
6. Бурумкулов Ф.Х. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф.Х. Бурумкулов, П.П. Лезин, П.В. Сенин, В.И. Иванов, С.А. Величко, П.А. Ионов. – Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2003. – 504 с.
7. Ледков Е.А. Повышение качества покрытий, получаемых методом низковольтного электроискрового легирования на основе систем адаптивного управления и ультразвуковой обработки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.07 – 165 с.
8. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С.А. Клименко и др.; под общ. ред. С.А. Чижика и М.Л. Хейфеца. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 376 с.

Сведения об авторах:

Гусляков Виктор Владимирович – аспирант, ТОГУ, г. Хабаровск;

Давыдов Владимир Михайлович – д.т.н., профессор, ТОГУ, г. Хабаровск;

Якуба Дмитрий Дмитриевич – старший преподаватель, ТОГУ, г. Хабаровск.