

Сарилов М. Ю., Чугай Е. А., Жихарева Д. А. 05.02.07
M. Y. Sarilov, E. A. Chugai, D. A. Zhikhareva

ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ STABILITY IN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESSES

Сарилов Михаил Юрьевич, д. т. н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (ГОУВПО «КНАГТУ»), E-mail: sarilov@knastu.ru

Mikhail Y. Sarilov — Doctor in Engineering, Professor at the Department of Mechanical Engineering Technology of the Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: sarilov@knastu.ru

Чугай Е. А., инженер-технолог ОАО «КНААПО им. Ю. А. Гагарина»

E. A. Chugai — Process control Engineer for JSC «Yury Gagarin KnAAPO»

Жихарева Д. А., инженер-технолог ОАО «КНААПО им. Ю. А. Гагарина»

D. A. Zhikhareva — Process control Engineer for JSC «Yury Gagarin KnAAPO»

Аннотация: В данной статье дано как общее понятие о надежности обработки металлов, так и применительно для электроэрозионной обработки. Приведены и подробно объяснены основные причины появления нестабильности в результате ЭЭО, а также освещены основные способы устранения этой нестабильности. Далее освещена проблема регуляторов МЭП и их влияние на устойчивость процесса обработки. Описана краткая история исследования данного вопроса и определены основные технические требования для устройств данного типа.

Summary: This paper provides a general idea of what reliability of metal processing is, including when used for electrical discharge machining (EDM). We present and explain in detail all main causes of instability manifestations resulting from EDM, as well as the key ways to eliminate this instability effect. Further on in the paper the problem of EDM controls is discussed along with their impact upon the stability of processing. The history of studies on this issue is reviewed, and key technical requirements for devices of this type are identified.

Ключевые слова: Надежность, устойчивость, нестабильность, электроэрозия, регулятор, эвакуация, зазор, износ, электрод, ЧПУ.

Keywords: reliability, stability, instability, EDM, control, evacuation, clearance, wear, electrode, CNC.

Надежность обработки — это устойчивость технологического процесса, т.е. его способность обеспечивать в течение заданного времени выпуск деталей с установленными требованиями по точности формы и размеров и физико-механическим свойствам поверхностного слоя. Устойчивость процесса ЭЭО является основным условием получения высокой производительности, возможной при данном режиме обработки, материале и форме электродов, составе и характеристиках жидкой среды и других заданных факторах. Появление нестабильности процесса, выражающейся в непрерывных, недопустимо больших отклонениях регулируемой величины от заданного значения, приводит к резкому снижению производительности ЭЭО и делает его малоэффективным. Нестабильность процесса ЭЭО обусловлена разнообразными причинами, в частности [1]:

— ухудшением условий эвакуации продуктов эрозии из межэлектродного промежутка. Станок, работавший вначале стабильно, по мере углубления электрода инструмента в обрабатываемую деталь может начать работать неустойчиво, если не принять мер для улучшения условий эвакуации продуктов эрозии. Возрастет количество импульсов, энергия которых затрачивается на повторное разрушение частиц в МЭП;

— несоответствием между обрабатываемой площадью и выбранным режимом обработки. Если площадь обработки мала, а режим слишком жесткий, происходит периодическое вытеснение жидкой среды из МЭП образующимися парами и газами. При этом разряды прерываются, а при попытках уменьшить зазор между электродами начинаются короткие замыкания;

— малой энергией единичных разрядов, недостаточной для эффективной эвакуации постепенно накапливающихся продуктов эрозии при обработке больших площадей на чистовых режимах. На чистовых режимах обработки величины геометрического зазора между электродами во много раз меньше, чем при черновых режимах, что также затрудняет эвакуацию продуктов эрозии;

— несоответствием между поддерживаемой величиной геометрического зазора и максимальным размером образующихся частиц. Чаще всего мы не задаемся вопросом, какие частицы будут получаться при данном режиме и какой зазор между электродами нужно поддерживать, так как процесс электрической эрозии обладает свойством саморегулирования величины геометрического зазора. Появление в МЭП крупных частиц вызывает увеличение зазора, а уменьшение максимального диаметра образующихся частиц неизбежно приведет к уменьшению зазора. Но само-

регулирование величины МЭП обеспечивает стабильность процесса только при условии, что появление крупных частиц будет закономерным, т.е. достаточно частым. Если же они будут появляться как исключение и после того, как величина зазора установилась, то неизбежны резкие изменения зазора вплоть до коротких замыканий электродов;

— материалом некоторых пар электродов, не соответствующих друг другу при электроэрозионной обработке, например стальной ЭИ при стальной ЭЗ. Появление нестабильности выражается в том, что независимо от оператора вышеуказанные параметры процесса начинают резко изменяться, вслед за серией разрядов наступают короткие замыкания и устойчивый процесс не устанавливается.

В настоящее время существует ряд способов обеспечения устойчивости процесса электроэрозионной обработки [2]. К ним можно отнести:

— принудительную прокачку жидкой среды через межэлектродное пространство, что улучшает условия эвакуации продуктов эрозии (внешне или через электрод-инструмент);

— сообщение одному из электродов колебательного движения в направлении подачи, что приводит к резкому увеличению средней величины геометрического зазора между торцевыми поверхностями электродов, а следовательно, содействует лучшей эвакуации продуктов эрозии, облегчает доступ жидкой среды и приводит к ликвидации случайных коротких замыканий между электродами;

— сообщение одному из электродов орбитального движения или другого относительного движения в плоскости, перпендикулярной подаче, что приводит к увеличению зазора между боковыми поверхностями электродов и содействует улучшению эвакуации продуктов эрозии;

— повышение амплитудного значения напряжения на электродах, что приводит к увеличению электрического и геометрического зазоров;

— правильный выбор пар материалов электродов, состава жидкой среды и электрических режимов, в настоящее время только на основе трудоемких экспериментов.

На ранней стадии развития ЭЭО устойчивость электроэрозионной обработки обеспечивалась сохранением, по мере удаления материала, снимаемого слоя, постоянства межэлектродного зазора путем применения различных регуляторов. Качество их работы определяется, прежде всего, правильным выбором критерия для регулирования, он должен отражать процесс формирования рабочего зазора, который происходит в результате взаимодействия физико-химического процесса съема материала с электрической, механической и тепловой систем станка.

Механизм и характер процесса эвакуации продуктов из полости определяет устойчивость процесса, зависимости между электрическими и технологическими параметрами, определяющими режим обработки, возможности и пути дальнейшей интенсификации процесса [3].

Исследование этого механизма долгое время выпадало из поля зрения исследователей, хотя можно утверждать, что нельзя построить единую теорию процесса ЭЭО, не рассмотрев сложные и интересные явления, связанные с механизмом эвакуации продуктов эрозии. Под устойчивостью понимают [1] способность сохранять в течение заданного промежутка времени непрерывный съем металла и эвакуацию продуктов эрозии, несмотря на возникновение в системе случайных или закономерных возмущающих воздействий.

Если обозначить через Δp отклонение от какого-либо из определяющих процесс параметров, то условие устойчивости будет иметь вид

$$\lim_{t \rightarrow \tau} \Delta p(t) \leq \varepsilon,$$

где ε — малое, заданное значение параметра; τ — заданный интервал времени.

Это условие означает, что если система, выведенная из равновесия и будучи (после прекращения действия возмущающих сил) предоставлена самой себе, вновь вернется к установившемуся состоянию — исходному или новому, то такая система будет устойчивой в данном интервале времени. В общем случае устойчивость следует рассматривать в целом для системы «генератор — станок — эрозионный промежуток (собственно процесс) — регулятор» [4].

Рассмотрим устойчивость собственно процесса в той мере, в какой она связана с механизмом эвакуации из полости. Если интервал времени τ в условии ограничить длительностью импульса $t_{\text{и}}$, а в качестве Δp считать отклонение от падения напряжения на промежутке, то при несоблюдении условия возникает неустойчивость в импульсе. Это означает, что по каким-то причинам (отсутствие пробоя, несоответствия напряжений, зазоров, материалов электродов, среды, наличия участка шлакования и др.) единичный разряд не может быть инициирован. Если $\tau = n t_{\text{и}}$ соизмеримо с продолжительностью серии импульсов и при этом условие также не соблюдается, то получим локальную неустойчивость. Соблюдение же условия означает, что система устойчива в общем, и в импульсе, и локально. Устойчивость в общем будет иметь место при соблюдении в заданном весьма большом интервале времени баланса вновь образующихся эвакуируемых продуктов эрозии.

Необходимость управлять процессом обработки очевидна, так как позволит: снизить процент производственного брака; снизить себестоимость изготавливаемых деталей за счет уменьшения износа электрода-инструмента; теоретически, без проведения (часто дорогостоящих) экспериментов назначать и корректировать режимы обработки.

В подавляющем большинстве случаев для управления процессом ЭЭО применяют пропорциональные или пропорционально-интегральные регуляторы. В ка-

честве обратной связи используются отклонения одного из сигналов, связанных с величиной МЭП, от задаваемого оператором уровня. Как правило, в устройстве управления процессом используется принцип сравнения сигналов, снимаемого с МЭП после соответствующей фильтрации и усиления, с задаваемыми пороговыми значениями. В результате сравнения вырабатывается сигнал на сближение электродов или их разделение. Скорость обработки существенно зависит от выбора и задания пороговых значений и выбора параметров аналоговой части регулятора. Как показывает практика, процедура настройки регулятора на оптимальную скорость обработки сравнительно сложна. Причина неэффективности работы регуляторов, особенно при ЭЭО отверстий малого диаметра, заключается в том, что оценка состояния МЭП не всегда отражает его реальное состояние, так как позволяет судить о нем лишь косвенно.

Известные системы автоматической настройки на оптимальную скорость обработки используют экспериментальный характер зависимости скорости съема материала от величины МЭП. При этом используются известные принципы реализации экстремальных самонастраивающихся систем. Критерием оценки состояния МЭП может служить относительное количество импульсов холостого хода и коротких замыканий. Отношение вычисляется по 1000 импульсов. Система на базе ЭВМ ищет максимум коэффициента использования импульсов с помощью градиентного метода либо по методу проб и ошибок с помощью директив оператора.

Очевидно, что данный подход к оценке состояния МЭП дает неточное представление о процессах, происходящих в МЭП, так как позволяет судить о них лишь косвенно.

Для организации непрерывного контроля состояния МЭП целесообразно внедрение подсистем автоматического контроля. Функции обработки информации в подсистеме автоматического контроля могут возлагаться на ЭВМ ЧПУ или на сателлитную для ЧПУ микро-ЭВМ — вариант локальной подсистемы контроля. Учитывая многофакторность процессов ЭЭО, для создания подсистем автоматического контроля состояния МЭП требуется комбинированное применение различных методов и средств диагностики, а также использование различных алгоритмов обработки получаемой информации. Для успешного выполнения функции контроля состояния МЭП к элементам подсистемы предъявляются определенные технические требования [5].

В общем виде эти требования можно сформулировать следующим образом:

а) общие требования для измерительного преобразователя: обеспечение необходимого быстродействия на всех режимах, выполняемых на станке; надежность при эксплуатации в заводских условиях; малые габаритные размеры и простота встраивания в станок; возможность настройки и регулировки в процессе эксплу-

тации; инвариантность к воздействию таких внешних факторов, как температура, вибрация, шумы, действие технологической среды (РЖ);

б) требования к диагностическому сигналу измерительного преобразователя: высокая чувствительность к изменению измеряемых параметров; низкий уровень помех при воздействии внешних факторов (ГИ, технологической среды (РЖ), изменения температуры и т.д.); высокое быстродействие (менее 1...100 мс); возможность передачи сигнала от контрольной точки на определенное расстояние; возможность ввода в систему управления станком;

в) требования к аппаратуре обработки диагностического сигнала: прием сигналов от измерительных преобразователей; задание эталонных значений контролируемых параметров и допустимых отклонений от них; логико-математическая обработка входных сигналов с требуемым быстродействием и точностью; сравнение величин обрабатываемых сигналов между собой и эталонными величинами, выдача сигналов управления в систему ЧПУ; надежность работы в заводских условиях, экономичность и безопасность.

В настоящее время надежных методов и средств контроля состояния МЭП и управления процессом ЭЭО, удовлетворяющим всем этим требованиям, не разработано. Существующие средства и методы контроля и управления в каждом конкретном случае имеют определенные преимущества и недостатки. Поэтому актуальность и практическая значимость исследований в области устойчивости процесса и разработки средств управления процессом ЭЭО не вызывает сомнений.

Таким образом, традиционная схема управления электроэрозионных операций до настоящего времени еще не реализована в полной мере и перспективы ее развития остаются под вопросом. Между тем, более эффективным видится подход в формировании единой, не разделенной на подсистемы, адаптивной системы управления процессом ЭЭО, созданной на общем принципе анализа устойчивости процесса обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотых, Б. Н. Физические основы электроэрозионной обработки/Б. Н. Золотых, Р. Р. Мельдер — М.: Машиностроение, 1977. — 42 с.
2. Кабалдин, Ю. Г. Повышение устойчивости процесса электроэрозионной обработки и качества обработанной поверхности на основе подходов искусственного интеллекта/Ю. Г. Кабалдин, М. Ю. Сариков, С. В. Биленко — г. Комсомольск-на-Амуре, КНАГТУ — 2007. — 191 с.
3. Лившиц, А. Л. Электроимпульсная обработка металлов/А. Л. Лившиц, А. Т. Кравец, И. С. Рогачев, А. Б. Сосенко — М.: Машиностроение, 1967. — 183 с.
4. Мицкевич, М. К. Электроэрозионная обработка материалов/Мицкевич М. К., Бушин А. И., Бакуто И. А. и др.; Под ред. Некрашевича И. Г. Минск: Наука и техника, 1988. — 216 с.
5. Сариков, М. Ю. Выбор параметров управления процессом электроэрозионной обработки/М. Ю. Сариков, М. А. Покотило // Известия ТулГУ. — г. Тула, ТулГУ. — 2006. — С. 80-87.