

Козочкин Михаил Павлович

д-р техн. наук, профессор

Порватов Артур Николаевич

канд. техн. наук, доцент

Дуйсенгали Акбота

студент

ФГБОУ ВО «Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»

г. Москва

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Аннотация: в статье предлагается применение методов виброакустической диагностики для повышения стабильности, предотвращения обрывов проволочных электродов и оптимизации скорости подачи электрода.

Ключевые слова: электроэррозионная обработка, мониторинг, спектральный анализ, межэлектродный промежуток, динамическая характеристика, продукты эрозии, оптимальная подача.

Описание проблемы. Поиск параметров, наилучшим образом отображающих эффективность процесса электроэррозионной обработки (ЭЭО), по которому можно регулировать технологические режимы, является актуальной задачей, решение которой способствует повышению стабильности, точности и производительности высокоэффективного технологического процесса [1–5; 10]. В настоящее время системы управления ведут адаптацию режимов обработки за счет контроля электрических параметров во время ЭЭО. Например, оценку доли энергии, расходуемой на съем металла, осуществляют с помощью коэффициента использования импульсов ($K_{ии}$), соответствующего отношению полезных импульсов к общему числу поданных. В критических ситуациях эта оценка оказывается слишком грубой, поскольку при большой концентрации в межэлектродном про-

межутке (МЭП) продуктов эрозии часть энергии рабочих импульсов идет на разрушение частиц продуктов эрозии. Поэтому поиск параметров, наилучшим образом отображающих эффективность процесса ЭЭО, по которому можно регулировать технологические режимы, является актуальной задачей [3; 4].

Преимущество вибраакустических (ВА) методик [6; 7] заключается в том, что сигналы вибраций в определенных частотных диапазонах порождаются волновыми процессами, формируемыми разрядными импульсами в МЭП. То есть информация, регистрируемая акселерометрами, поступает непосредственно из зоны обработки. Если при ЭЭО в качестве возмущающего воздействия рассматривать разрядные импульсы, в качестве упругой системы рассматривать МЭП и материал детали и приспособления, а в качестве выходного сигнала использовать ВА сигналы, получаемые с акселерометра, установленного на поверхности приспособления, то такая динамическая система проявляет себя как линейная [8]. Модель ЭЭО в виде динамической системы, охватывающей МЭП, оказалась достаточно плодотворной.

Предотвращение обрывов проволочного электрода-инструмента (ЭИ). Обрывы проволочного ЭИ препятствуют повышению производительности процесса ЭЭО. Несмотря на автоматизацию процесса заправки ЭИ после обрыва на восстановление технологического процесса затрачивается достаточно много времени. Кроме этого ситуация обрыва сопровождается изменениями структуры поверхностного слоя заготовки, изменением геометрии реза. Это ведет к тому, что после восстановления ЭИ вероятность нового обрыва сохраняется достаточно высокой.

На рис. 1 показаны графики АЧХ, полученных при начале обработки сплава ВК 60, когда рабочая жидкость содержала минимальное количество продуктов эрозии, и перед моментом наступления обрыва ЭИ. На рис. 1а показаны АЧХ для низкочастотного диапазона, а на рис. 1б – для высокочастотного диапазона. В качестве входного сигнала были взяты импульсы разрядного тока, а в качестве выходного сигнала использовался ВА сигнал, записанный с помощью акселерометра, установленного на приспособлении для крепления заготовки.

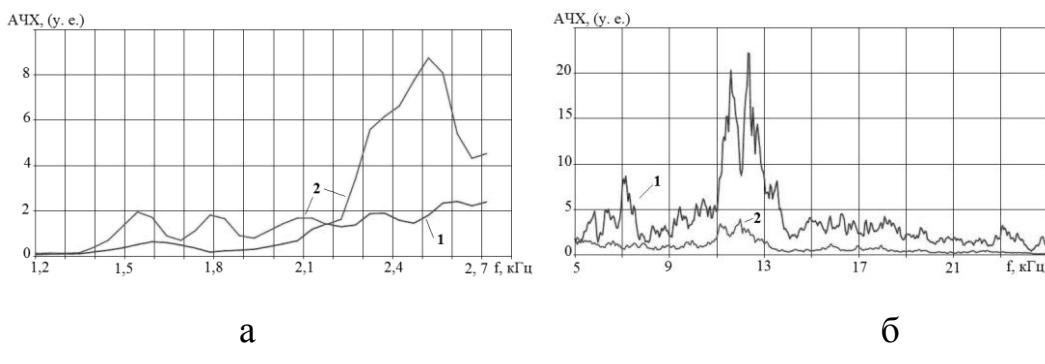


Рис. 1. АЧХ процесса ЭЭО сплава ВК 60 в начальной стадии обработки (графики 1) и перед обрывом электрода (графики 2): а – АЧХ в области низких частот; б – АЧХ в области высоких частот

На рис. 1 видно, что при повышении вероятности обрыва электрода наблюдается рост значений АЧХ в области низких частот и падение в области высоких. Столь радикальное изменение ВА сигнала при возникновении ситуации повышения вероятности обрыва говорит о возможности применения акустического мониторинга для предотвращения обрыва ЭИ.

Экстремальное регулирование зазора в МЭП при ЭЭО. Величину зазора s в МЭП считают основной, поскольку качественные параметры ЭЭО в значительной степени зависят от него [1; 4; 10]. Именно зазор определяет то пространство, в котором происходят явления, вызывающие электрическую эрозию. Небольшое увеличение зазора может изменить условия пробоев и даже их полностью прекратить. Обратное изменение зазора грозит ухудшением эвакуации продуктов эрозии, снижением производительности процесса, шлакованием электродов и короткими замыканиями. Отсутствие на станке качественного автоматического регулирования зазора делает процесс ЭЭ обработки малоэффективным [1; 11]. При регулировании зазора необходимо ориентироваться не на геометрический зазор, а на электрический, который должен быть больше минимального зазора, при котором возникают короткие замыкания, и меньше максимального значения, когда пробой становится невозможным и возникают импульсы холостого хода. Для поддержания стабильного зазора необходимо поддержание равенства между скоростью производства частиц M_n в МЭП и скоростью их эвакуации M_o . Однако

производительность M процесса, которая может выражаться в объеме снимаемого с поверхности заготовки материала в единицу времени, является функцией не только зазора s , но и концентрации продуктов эрозии γ : $M=F(s,\gamma)$. На рис. 2 показан общий вид такой функции для трех значений γ , где видно, что экстремум производительности процесса ЭЭО имеет свое значение для каждого значения концентрации γ [2].

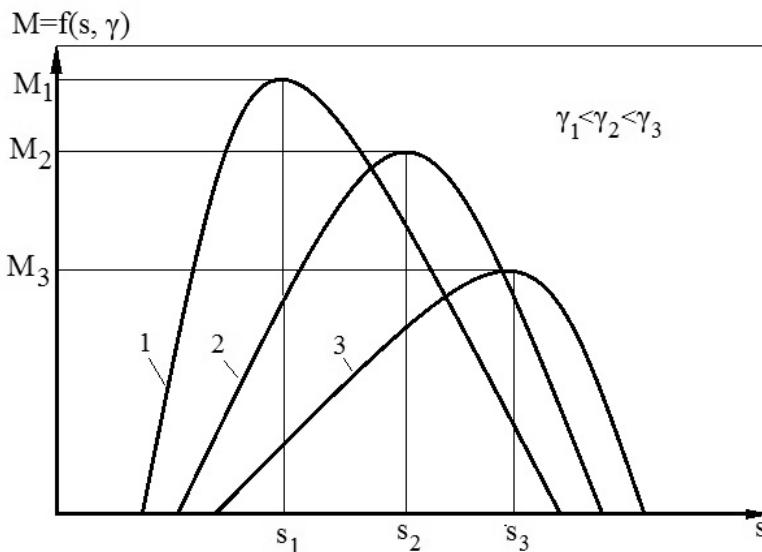


Рис. 2. Вид зависимости производительности ЭЭО от зазора и концентрации продуктов эрозии ($\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$)

В существующих системах управления процессами ЭЭО нет объективной информации о текущей производительности, о концентрации продуктов эрозии и о самом зазоре. С помощью замеров косвенных электрических параметров система управления оценивает состояние процесса ЭЭО и принимает решение об изменении скорости подачи ЭИ и энергии подаваемых разрядов [2; 5; 10]. В задачи таких систем управления входит поддержание стабильности протекания процесса. Для экстремального регулирования, т. е. для поддержания максимального значения функции $M=F(s, \gamma)$ системе управления не хватает информации. Корректирующие воздействия с ее стороны направлены на то, чтобы параметры процесса не приближались к максимальным и минимальным значениям зазора. В условиях случайного поведения возмущающих воздействий даже такую задачу в полной мере решить не удается, с изменением концентрации продуктов эрозии

меняются и крайние границы зазора. Практика ведения работ на станках для ЭЭО показывает, что приходится сталкиваться и с короткими замыканиями, и с холостыми импульсами, и с обрывами ЭИ [2]. Поддержание параметров процесса ЭЭО в окрестности экстремальной производительности более сложная задача, решение которой во многом снимет проблемы, связанные и с поддержанием стабильности ЭЭО. Ситуацию с регулированием скорости подачи электрода можно улучшить, если в основу контроля процесса ЭЭО положить мониторинг за объективными параметрами, связанными с производительностью процесса простой зависимостью. Были проведены эксперименты с лазерным оборудованием и с разрядными импульсами при ЭЭО [2], которые показали, что сопровождающие обработку ВА сигналы монотонно растут с увеличением мощности подаваемых импульсов энергии, как растут и объемы удаленного металла.

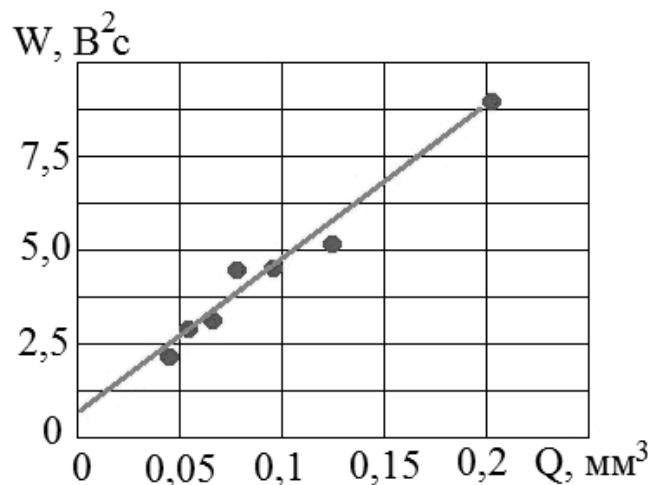


Рис. 3. Результаты линейной аппроксимации зависимости энергии колебаний от объема полезной работы

На рис. 3 показан экспериментально полученный график зависимости энергии высокочастотного ВА сигнала W от производительности Q процесса ЭЭО. Энергия ВА сигнала определялась как величина, пропорциональная квадрату эффективной амплитуды в милливольтах, и времени воздействия разрядных импульсов, а производительность определялась объемом получающейся лунки. Если строить зависимость амплитуды ВА сигнала от производительности, приближая ее степенной функцией, то показатель степени получается в диапазоне

0,5–0,75, т.е. зависимость сохраняет монотонность и достаточную информативность.

Опираясь на подобные зависимости можно в процессе ЭЭО оценивать состояние МЭП относительно экстремума. Для этого необходимо за счет небольших вариаций скорости электрода оценивать изменение эффективной амплитуды ВА сигнала. Этот прием позволяет определить, на какой стороне относительно экстремума находится зазор в МЭП (рис. 2). Далее скорость электрода может увеличиваться или уменьшаться.

Выводы. Исследования ВА сигналов при ЭЭО на вырезных станках с ЧПУ показали, их параметры могут быть использованы для мониторинга состояния МЭП и предотвращения обрывов электродов, а также для экстремального регулирования скорости подачи. Основным преимуществом ВА сигналов является то, что они поступают из зоны обработки и могут восприниматься на достаточном от нее удалении. Система ВА контроля может дополнять существующие САУ, но может и брать на себя ряд функций, где ее диагностическая информация более эффективна [9].

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента 2017–2018.

Список литературы

1. Артамонов Б.А. Анализ моделей электрохимической и электроэррозионной обработки. Часть II. Модели процессов электроэррозионной обработки. Прямоугольная вырезка / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков. – М.: ВНИИПИ, 1991. – 144 с.
2. Григорьев С.Н. Вибраакустическое диагностирование электрофизических процессов как метод повышения качества обработки / С.Н. Григорьев, М.П. Козочкин // Вестник машиностроения. – 2015. – №8. С. 3–8.
3. Григорьев С.Н. Исследование процесса электроэррозионной обработки средствами вибраакустической диагностики / С.Н. Григорьев, М.П. Козочкин, С.В. Федоров [и др.] // Измерительная техника. – 2015. – №8. – С. 33–36.
4. Гуткин Б.Г. Автоматизация электроэррозионных станков. – Л.: Машиностроение. 1971. 160 с.

5. Козочкин М.П. Контроль процессов электроэррозионной обработки по параметрам акустической эмиссии / М.П. Козочкин, С.Н. Григорьев, А.А. Окунькова, А.Н. Порватов // СТИН. – 2015. – №8. – С. 28–33.
6. Козочкин М.П. Инновационный аппаратно-программный комплекс для диагностирования высокотехнологичных систем / М.П. Козочкин, А.Р. Маслов, А.Н. Порватов // Инновации. – 2013. – №10 (180). – С. 128–131.
7. Козочкин М.П. Влияние адгезионных связей во фрикционном контакте на виброакустический сигнал и автоколебания / М.П. Козочкин, А.Н. Порватов // Трение и износ. – 2014. – Т. 35. – №5. – С. 575–583.
8. Козочкин М.П. Нелинейная динамика процесса резания // СТИН. – 2012. – №1. – С. 6–12.
9. Козочкин М.П. Оценка неопределенности при решении задач многопараметрической диагностики / М.П. Козочкин, А.Н. Порватов // Измерительная техника. – 2015. – №2. – С. 41–45.
10. Коренблюм М.В. Адаптивное управление электроэррозионными станками / М.В. Коренблюм, М.Л. Левит, А.Л. Лившиц. – М.: НИИНмаш, 1977. – 80 с.
11. Немилов Е.Ф. Справочник по электроэррозионной обработке материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1989. – 164 с.