

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРАКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Процессы электрогидравлической штамповки (ЭГШ) крупногабаритных листовых деталей в современном машиностроении, как правило, проводятся с применением многоэлектродного разрядного блока (МРБ), который позволяет управлять нагружением заготовки в пространстве. При этом лучше используется запас пластических свойств материала, сокращаются ресурсопотребление штамповки, сроки и затраты ТПП.

В процессе эксплуатации МРБ происходит износ элементов электродных систем (ЭС) под действием механических усилий и электрохимических реакций. Износ характеризуется эрозией металлических поверхностей, участвующих в формировании разряда, а также разрушением изоляции электрода под действием ударных волн и кавитации. Последнее приводит к увеличению площади оголенных от изоляции частей электрода, что отрицательно сказывается на его характеристиках: нарушается расчетный режим работы и увеличивается цикл штамповки.

Процесс ЭГШ – это последовательное выделение и преобразование электрической энергии в механическую работу. Для получения оперативной информации о стабильности протекания технологического процесса необходим интерактивный контроль. При таком контроле не происходит остановка оборудования, а все данные, необходимые для принятия решений, поступают в реальном времени. Контроль формоизменения заготовки в интерактивном режиме довольно сложен и дорог. Для его осуществления необходимы специальные датчики перемещения заготовки в полости матрицы, сбор и обработка показаний этих датчиков.

Гораздо проще контролировать начальный процесс энерговыделения, регистрируя импульс тока и напряжения на отдельном электрическом контуре с помощью специальных датчиков и осциллографа. Зная допустимые параметры импульсов, можно судить о качестве выделения энергии на электродах, и, следовательно, о состоянии ЭС.

Типовые осциллограммы тока и напряжения при ЭГШ с обозначением характерных параметров приведены на рис. 1. Их анализ позволяет сделать выводы о величине энергии, передаваемой заготовке и степени износа ЭС. В подтверждение стабильности процесса на начальном этапе можно привести осциллограммы (рис. 2), на которых зафиксировано 10 разрядов, идущих один за другим. Как видно из рисунка, характер кривых идентичен, изменение разрядных параметров минимально. В ходе экспериментов на ЭГ-установке был собран необходимый статистический материал.

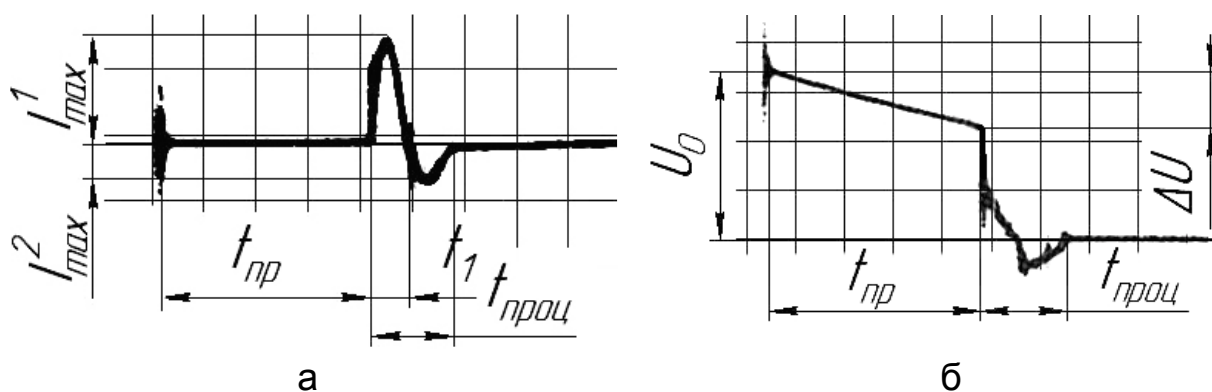


Рисунок 1 – Типовые осциллограммы разрядного тока (а) и напряжения (б) с обозначением типовых параметров

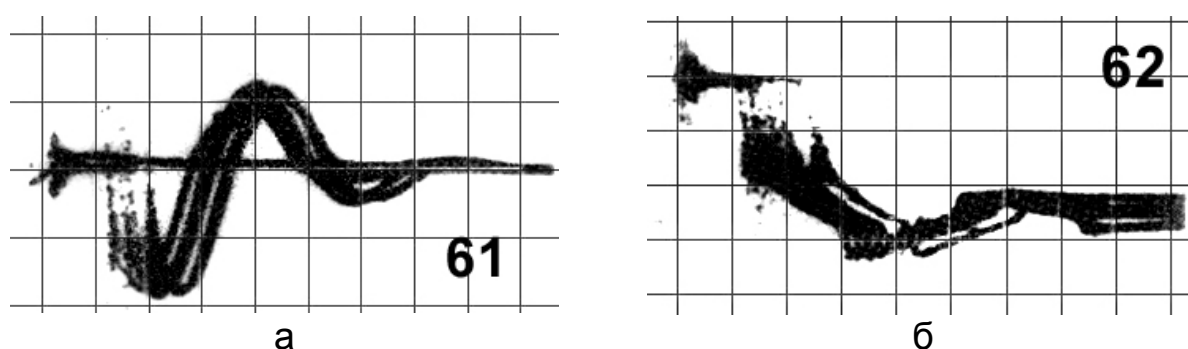


Рисунок 2 – Типовые осциллограммы разрядного тока (а) и напряжения (б) с наложением десяти подряд идущих разрядов

Для удобства анализа временных изменений состояния ЭС были введены следующие относительные показатели:

– отношение длительностей полупериодов разрядного тока t_1 / t_2 , где $t_2 = t_{проц} - t_1$;

– отношение потерь напряжения на предразрядной стадии к напряжению разряда $\Delta U / U_0$;

– отношение значений полупериодов тока I_{max}^2 / I_{max}^1 ;

– отношение длительности предразрядной стадии к характеристическому времени колебательного контура $t_{пр} / \sqrt{LC}$, где L и C – индуктивность и емкость контура.

Для наглядного представления результатов были построены диаграммы зависимостей вышеприведенных показателей от количества произведенных разрядов n , $0 \leq n \leq 2500$.

На рис. 3 видно, что для величин $\Delta U / U_0$ и $t_{пр} / \sqrt{LC}$ наблюдается положительная линейная корреляция. В случае $t_{пр} / \sqrt{LC}$ также увеличивается разброс значений (дисперсия) во времени, в то время как дисперсия значений прочих показателей практически неизменна. Кроме

того, математические ожидания параметров t_1 / t_2 и I_{max}^2 / I_{max}^1 в процессе износа электрода обладают пренебрежительно малыми углами наклона и не несут существенной информации о выработке ресурса ЭС.

Следовательно, относительные величины $\Delta U / U_0$ и $t_{пр} / \sqrt{LC}$ могут качественно и количественно оценивать энергоэффективность процесса ЭГШ. Причем отпадает потребность в снятии показаний силы тока, так как эти параметры доступны из осциллограммы напряжения.

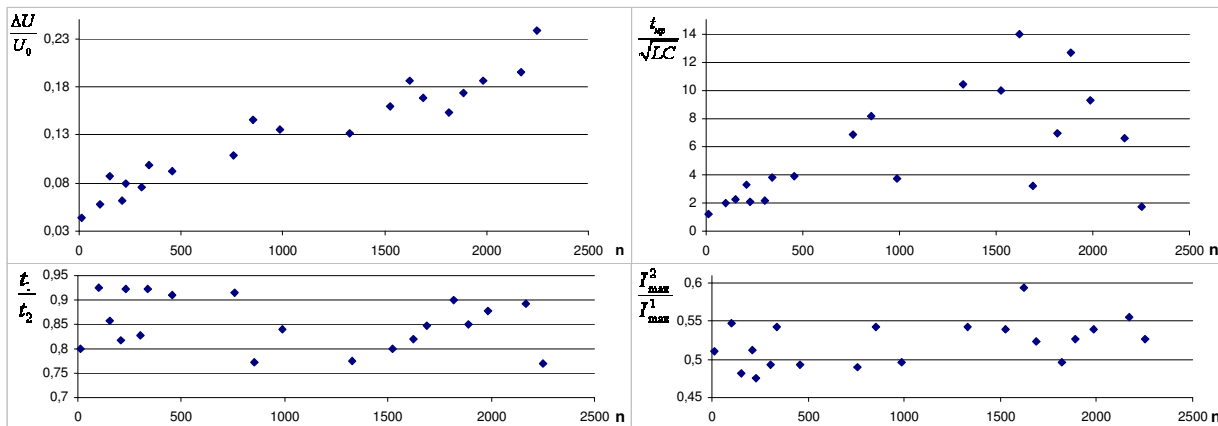


Рисунок 3 – Диаграммы зависимостей основных относительных характеристик от количества циклов

В количественном выражении можно записать, что математическое ожидание показателя $\Delta U / U_0$ в рассматриваемом стабильном процессе ЭГШ составляет $\Delta U / U_0 = 7 \cdot 10^{-5} \cdot n + 0,607 (\pm 0,0067)$, где n – количество произведенных разрядов. Данное число зависит от конструкции электрода и условий работы. В целом изменение наклона кривой во время работы, отражаемое коэффициентом при переменной n , говорит о нарушении процесса из-за разрушения ЭС либо по другой причине.

Изменение параметра $t_{пр} / \sqrt{LC}$ в зависимости от количества разрядов изображено в виде кривых нормального распределения (рис. 4) с доверительным интервалом 4σ .

Равномерно растущая дисперсия показателя $t_{пр} / \sqrt{LC}$, подчиненная нормальному закону, свидетельствует о стабильности процесса ЭГШ и дает количественную информацию, которая может быть интерпретирована в виде процентного износа электрода.

Проведенные выше исследования позволяют выполнять статистический контроль процесса ЭГШ, измеряя только параметры импульса напряжения в контуре. Полученная экспериментальная основа дает возможность проводить интерактивный анализ состояния ЭС независимо от абсолютных величин рабочих напряжений и токов.

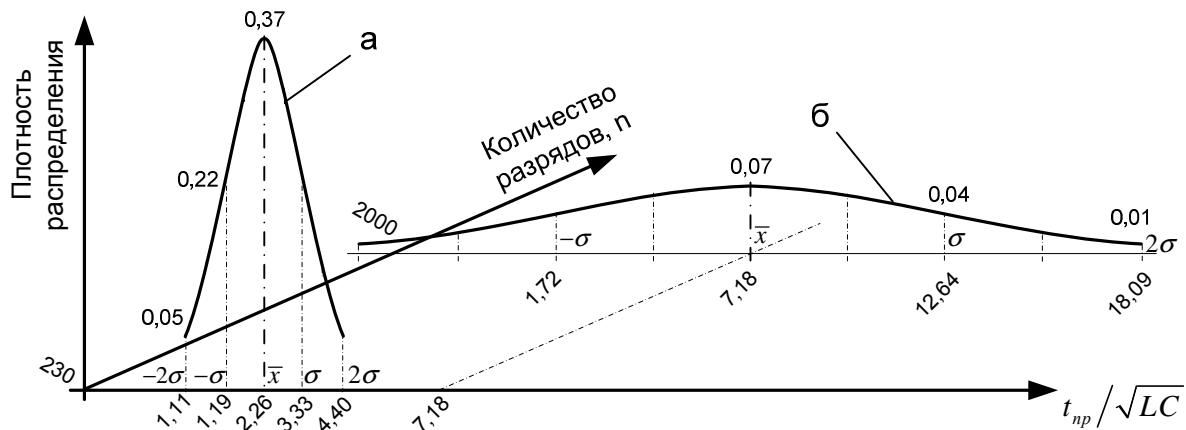


Рисунок 4 – Кривые нормального распределения параметра $t_{пр} / \sqrt{LC}$ от количества разрядов n ; $2,26 \leq t_{пр} / \sqrt{LC} \leq 7,18$:

а – начало процесса; б – конец процесса

Рассмотрим возможность практического применения полученных результатов в системе автоматизированного контроля качества процесса энерговыделения при ЭГШ (рис. 5). Требуется, не останавливая производственный процесс, иметь в распоряжении качественные и количественные данные о состоянии каждого электрода в МРБ.

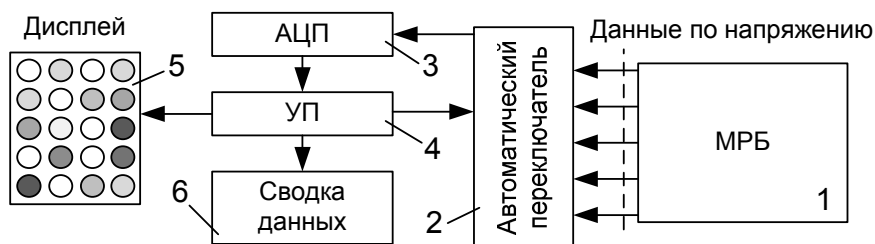


Рисунок 5 – Структурная схема системы интерактивного контроля состояния электродных систем

Информация о напряжении из каждого электрода МРБ (1) подается на автоматический переключатель (2), который осуществляет подключение к одному из электродов синхронно с разрядом. Сигнал проходит аналого-цифровой преобразователь (3) и попадает в управляющую программу (4), которая выполняет обработку сигнала и управляет работой переключателя (2). Результаты обработки визуализируются на дисплее (5), ассоциируя определенный цвет с состоянием соответствующей ЭС. Например, ярко-зеленый цвет характеризует полную исправность, а темно-зеленый говорит о наличии износа. Наблюдая перед собою такую картину износов ЭС, оператор может делать выводы о локализации поврежденных электродов и выполнять их замену. Управляющая программа (4) также генерирует численную сводку данных, отображающую в количественном выражении основные параметры работы ЭС в определенные промежутки времени.

Следует отметить, что для быстропротекающих процессов ЭГШ требуются быстродействующие, а следовательно, относительно дорогие АЦП. В схеме, приведенной на рис. 5 используется всего один прибор такого класса, который поочередно в следящем режиме снимает показания с каждой ЭС. Все это обеспечивает очевидную экономию средств и времени без существенного падения точности измерения.

Таким образом, в данной статье впервые приводятся результаты статистической обработки реальных экспериментов на установке ЭГШ. Ввиду применения различных режимов работы и конструкций электродов нельзя судить о состоянии электродных систем, оперируя лишь абсолютными данными, полученными от датчиков тока и напряжения. Результаты анализа показали, что для качественной и количественной оценок надежности протекания технологического процесса и целостности электродов достаточно оперировать параметрами импульса напряжения. Возрастание относительных показателей $\Delta U / U_0$ и $t_{пр} / \sqrt{LC}$, а также увеличение дисперсии показателя $t_{пр} / \sqrt{LC}$ выглядят вполне логичными на фоне прогрессивной эрозии металлической пяты электрода и разрушения изоляции. Это приводит к растущей неопределенности локализации возникновения искрового канала и является причиной увеличения длительности предразрядной стадии и возникновения потерь напряжения. Причем резкое изменение угла наклона математического ожидания отношения $\Delta U / U_0$ качественно свидетельствует о нарушениях в работе контура. А увеличение дисперсии параметра $t_{пр} / \sqrt{LC}$ до определенного порогового значения сигнализирует о необходимости замены электрода. Результаты исследования легли в основу предложенной универсальной схемы интерактивного контроля процесса ЭГШ. Отдельной задачей является написание управляющей программы, которая должна корректно расшифровывать полученные в цифровом виде осциллограммы.

Список использованных источников

1. Тараненко М.Е. Параметры и методы контроля процессов ЭГШ крупногабаритных листовых деталей / М.Е. Тараненко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1997. – № 6. – С. 20–23.
2. Тараненко М.Е. Возможности пространственно-временного управления нагрузением при электрогидравлической штамповке / М.Е. Тараненко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 4. – С. 13–15.
3. Кассандрова О.Н. Обработка результатов наблюдений / О.Н. Кассандрова, В.В. Лебедев, – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. – 104 с.

Поступила в редакцию 22.04.2010 г.

*Рецензент: д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
В.Ф. Забашта, ОАО «Украинский НИИ авиационной технологии», г. Киев*