

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ МЕТОДОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ

УДК 53.08

© Аль Умари И.Х.А., Кашапов Н. Ф., Саиткулов В. Г., 2018

РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ РАЗРЯДА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДОМАль Умари И.Х.А.^{a,1}, Кашапов Н. Ф.^{a,2}, Саиткулов В. Г.^{b,3}^a Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420111, Россия^b Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, 420111, Россия

В настоящей статье рассматривается создание ультразвукового метода измерения состояния электролита в процессе горения разряда с электрическим электродом. У традиционных электрохимических, электроэрозийных, электротермических и электромеханических методов электрического воздействия на поверхность металлов есть недостатки. К ним относятся: а) большой расход энергии; б) загрязнение экологии; в) проблема утилизации побочных продуктов; г) сложность получения необходимого профиля поверхности в нужных масштабах. В связи с этим важной является проблема создания и исследования новых энергосберегающих, экологически чистых и экономически выгодных методов.

В настоящий момент в многофазных средах не проводят экспериментальные исследования разряда. Условия зажигания разряда с электролитическим катодом также не исследованы. Физические процессы на границе раздела плазмы и жидкости не изучены. Отсутствует механизм влияния разряда в парогазовом пузырьке на поверхность металлов. Перечисленные выше причины замедляют создание технологии плазменно-электролитного формирования микрорельефа поверхности.

Цель работы:

- измерить и оптимизировать ультразвуковой сигнал;
- рассчитать спектр частот отраженных колебаний ультразвука от большого количества отражателей (пузырьков электролита);
- разработать математическое моделирование процесса отражения ультразвука от пузырьков электролита.

Ключевые слова: ультразвук, электролит, методика, горение, измерение.

THE DEVELOPMENT OF ULTRASONIC METHODS OF MEASURING THE CONDITION OF THE ELECTROLYTE IN THE COMBUSTION PROCESS WITH AN ELECTRIC DISCHARGE ELECTRODEAl Umari I.H.A.^{a,1}, Kashapov N. F.^{a,2}, Saitkulov V. G.^{b,3}^a Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, 420111, Russia^b Kazan national research technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, 420111, Russia

This article discusses the process of developing an ultrasonic method of measuring the state of the electrolyte in the process of burning discharge with an electric electrode. The classical methods of electrical effects on

¹E-mail: alumari1986@mail.ru²E-mail: Nail.kashapov@kpfu.ru³E-mail: saitkulov.kipmea@kstu-kai.ru

the surface of steels, such as electrochemical, electro-erosion, electro-thermal and electro-mechanical have their drawbacks. Namely, high energy consumption, environmental pollution, the problem of recycling by-products, the difficulty of obtaining the required surface profile to a certain extent. In this regard, there is an acute issue of the development and research of new energy-saving, environmentally friendly and cost-effective methods of impact on the surface.

At the moment there are no systematic experimental studies of discharge in multiphase media. Not the conditions for the ignition of the discharge with an electrolytic cathode. Not studied physical processes on the boundary of the plasma and the liquid. There is no mechanism of the effect of discharge in the vapor-gas bubble on the surface of metals. All the above reasons delay the development of technology of plasma-electrolyte formation of the surface microrelief.

The aim of the work is to measure and optimize the ultrasonic signal and calculate the frequency spectrum of reflected ultrasonic vibrations from a large number of reflectors (electrolyte bubbles), as well as the development of mathematical modeling of the process of reflection of ultrasound from the electrolyte bubbles.

Keywords: ultrasound, technique, electrolyte, combustion, measurement.

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2018.3.62-67

Технологий обработки материалов множество, и одним из современных методов обработки поверхности металлов является плазменно-электролитный процесс. Он осуществляется подачей напряжения на электроды, помещенные в раствор электролита. В итоге вокруг активного электрода можно увидеть горение парогазового разряда. Особенностью этого разряда является то, что горит он между жидким и твердым электродом. Анод или катод может быть активным электродом. В процессе горения разряда на катоде происходит процесс очистки и полировки изделия, подвергаемого обработке. Помимо этого, в определенных условиях можно наносить покрытия. В случае с анодным процессом на «вентильных» металлах происходит анодное оксидирование вместе с горением микродуг. Этот процесс называется микродуговое оксидирование. На металлах, которые не обладают «вентильным эффектом», можно наблюдать эрозионное разрушение металла и его анодное растворение [5, с. 245].

В настоящее время нет систематических экспериментальных исследований разряда в многофазных средах. Не исследованы условия зажигания разряда с электролитическим катодом. Не изучены физические процессы на границе раздела плазмы и жидкости. Отсутствует механизм влияния разряда в парогазовом пузырьке на поверхность металлов. Перечисленные выше причины замедляют разработку технологии плазменно-электролитного формирования микрорельефа поверхности.

Так как пузырьки в электролите сферической формы, расчет зависимости амплитуды сигнала от ее объема проводится с использованием теории отражения ультразвука от сферы, что описано в работе Ермолова «Теория и практика ультразвукового контроля» [4, с. 480-485].

Расстояние между приемником и дефектом, вид дефекта (сфера, отверстие, имеющее сферическое дно, отверстие с плоским дном, плоскость, боковое отверстие цилиндрической формы), заполнение дефекта (воздух или другой газ) влияют на амплитуду отражения сигнала ультразвука от дефекта. Они оказывают большее влияние на силу отражения амплитуды сигнала.

Расчет амплитуд эхосигналов для отражения от сферы или отверстия со сферическим дном диаметром d проводится следующим образом:

$$\frac{A'}{A_0} = \frac{S_d}{4\lambda r^2} e^{-2\delta r} \quad (1)$$

где A_0 и A' – амплитуды излученного и принятого преобразователем сигналов; S – площадь пьезоэлемента преобразователя; r – расстояние от преобразователя до отражателя; λ – длина волны

Ослабление сигнала A'/A_0 , которое определяется приведенными формулами, называется дифракционным. Дополнительное ослабление отношения A'/A_0 приводит к тому, что ультразвук

ослабевают. Чтобы учесть это, все формулы умножают на $\exp(-2\delta r)$, где δ является коэффициентом затухания ультразвука. Показатель степени имеет цифру 2, так как ультразвук проходит до отражателя и обратно. Формулы актуальны в том случае, если диаметры диска, сферы или цилиндра больше, чем половина длины волны. Если они меньше ее половины, то амплитуда отражения с уменьшением диаметра, как правило, при дифракционном огибании дефекта волнами будет убывать быстрее. Учитывая это, считается, что дефекты, которые меньше длины волны, сложно выявить. Для отражения от отверстия с плоским дном или отверстия, имеющего сферическое дно, формулы остаются актуальными, даже если их диаметры меньше, чем длина волны, так как боковые стенки являются препятствием огибанию [2, с. 56].

Работа ультразвуковых анализаторов основана на излучении колебаний ультразвука в электролите с пузырьками и твердыми частицами, которые имеют различные физико-химические свойства, и приеме импульсов ультразвука, отраженных от них. Определение характера отражения колебаний ультразвука от отражателей, которые обладают такими свойствами, дает возможность формулировать основные параметры приемо-передающего блока, создавать алгоритм обработки отраженного сигнала, что позволяет получать данные о массовом содержании. Существенно отраженные колебания можно будет наблюдать, если размер отражателя соизмерим с длиной волны и больше [7, с. 256].

Из ультразвуковой дефектоскопии каждая точка в сфере считается вторичным излучателем ультразвука. Так как пузырек в электролите обладает сферическим типом дефекта, то ультразвуковое отражение можно представить в виде уравнения:

$$\left| \frac{P'}{P_0} \right| = \frac{\lambda^2}{S_0} |I^2| A_c \quad (2)$$

Если диаметр сферы имеет существенно меньшую длину волны:

$$\left| \frac{P'}{P_0} \right| = \frac{\lambda^2}{S_a} \left| \frac{S_a}{\lambda x} \right|^2 \frac{4,3 d^3}{\lambda^3} = \frac{4,3 S_a^3}{\lambda^3 x^2}. \quad (3)$$

Умножением числителя и знаменателя выражения на $4\pi/3$, получаем:

$$\left| \frac{P'}{P_0} \right| = \frac{4,3 S_a \cdot 8 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3}{\frac{4}{3} \pi \lambda^3 x^2}, \quad (4)$$

выражение приобретает вид:

$$\left| \frac{P'}{P_0} \right| = \frac{25,8 S_a}{\pi \lambda^3 x^2} V \quad (5)$$

В процессе излучения ультразвукового зондирующего сигнала, представляющего собой непрерывную синусоиду, и приеме отраженных от пузырьков импульсов, следует устранить наведенный сигнал на приемном преобразователе.

На практике это сделать невозможно. Один из способов решения данной проблемы – возбуждение сигналом импульса передающего преобразователя. Отраженные импульсы следует принимать через некоторое время, исходя из того, что в момент времени их прихода амплитуда наведенного сигнала от зондирующего импульса будет очень мала. Предлагаем реализовать этот сигнал как произведение единичной функции, синусоиды и экспоненты [1]. При этом использован такой коэффициент затухания экспоненциальной составляющей τ , чтобы обеспечить минимальный уровень шума от зондирующего сигнала во время прихода импульсов, которые отражены от пузырьков:

$$f(t) = \gamma(t) \cdot e^{-t/\tau} \cdot \sin(\omega t) \quad (6)$$

Чтобы реализовать ультразвуковой контроль, был рассмотрен вариант с применением более низких частот, при котором наблюдается несущественное затухание ультразвука в воде на расстояниях 50-100 мм.

С другой стороны, если частота ультразвука будет слишком низкой, то показатель амплитуды отраженного сигнала приблизится к нулю.

Попробуем рассмотреть приставленную установку (рис. 1).

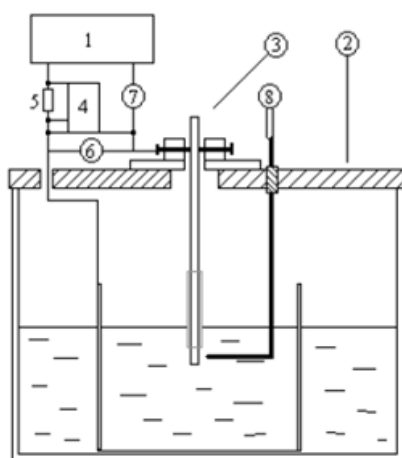


Рис. 1. Установка приставленная

В нее входит: источник тока 1, электролитическая ванна 2, электродная система 3, осциллограф 4, добавочное сопротивление 5, вольтметр 6, амперметра 7, термопары 8. При помощи источника питания 1 осуществляется подача регулируемого постоянного напряжения на электродную систему 3 по токоподводам. Глубину погружения анода в раствор электролита контролировали электродной системой. Используя осциллограф 4, осуществлялся контроль формы подаваемого напряжения и тока. Напряжение и ток разряда измеряли вольтметром и амперметром.

1. Нагрев электролита, циркулирующего через зону разряда, начинался после зажигания разряда. Спустя 30 с нагрева изменение температуры прекращается и наступает тепловое равновесие.
2. Измерения начинались через 40 с после зажигания разряда. В лабораторную литровую колбу для сбора воды опускался сливной шланг. Термометр, который показывает температуру воды в реальном времени, омывался стекающей водой. При помощи секундомера фиксировали время начала и завершения отбора воды. Определение точного объема воды, которая собралась в колбе, осуществлялось при помощи мерного лабораторного цилиндра, его емкость 0,25 литров.
3. Значение напряжения, тока разряда, показания термометра, секундомера, которые были получены при этих параметрах разряда, количество собранной воды фиксировали в рабочем журнале. Чтобы усреднить полученные значения, calorиметрические измерения для каждого значения мощности разряда 10 раз повторяли calorиметрические измерения.

Таким образом, ультразвуковой метод дает возможность повысить точность измерения, оперативно получить результаты, обеспечивая при этом полностью автоматизированный процесс, который отличается такой особенностью, как работа на относительно не высоких частотах, при которых ультразвук в воде затухает достаточно медленно [3]. В данном случае этому способствует новый алгоритм цифровой обработки сигнала и использование высокоэффективного акустического экрана в конструкции ультразвукового преобразователя.

Список литературы

1. Багаутдинова Л.Н., Гайсин Ф.М. Многоканальный разряд в проводящей жидкости при атмосферном давлении // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. № 1. С. 135-138.
2. Дзюба С.А. Основы магнитного резонанса. Новосибирск: Новосибирский госуниверситет, 2009. Ч. I: Спектры магнитного резонанса. 108 с.
3. Кашапов Р.Н. О влиянии коэффициента пульсации напряжения на плазменно-электролитный процесс // Сборник статей II Республиканской научно-технической конференции «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», Казань, 2011. С. 175-183.
4. Кеон Дж. Электронное моделирование в OrCAD. М.: ДМК Пресс, 2010. 628 с.
5. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. Санкт-Петербург: «Свен», 2011. 305 с.
6. Решетов А.А. Неразрушающий контроль и техническая диагностика энергетических объектов. Чебоксары: Чувашский университет, 2010. 470 с.
7. Шестеркин А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. М.: ДМК Пресс, 2012. 360 с.

References

1. Bagautdinova L.N., Gaisin F.M. *Mnogokanal'nyj razryad v provodyashchej zhidkosti pri atmosfernom davlenii.* [Multichannel discharge in a conducting liquid at atmospheric pressure]. *Thermophysics of high temperatures*, 2010, vol. 48, no. 1, pp. 135-138. (In Russian)
2. Dzyuba S.A. *Osnovy magnitnogo rezonansa. CH. I: Spektry magnitnogo rezonansa.* [Fundamentals of magnetic resonance. Part I: magnetic resonance Spectra]. Novosibirsk, Novosibirsk St. Univ. Publ., 2009. 108 p. (In Russian)
3. Kashapov R.N. *O vliyani koehfficienta pul'sacii napryazheniya na plazmenno-ehlektrolitnyj process.* [On the influence of the ratio of the ripple voltage on the plasma-electrolytic process.] *Collection of articles of the II Republican scientific-technical conference «low-temperature plasma in the processes of deposition of functional coatings»*, Kazan, 2011, pp. 175-183. (In Russian)
4. Keown G. *EHlektronnoe modelirovanie v OrCAD.* [Electronic modeling in OrCAD]. Moscow: DMK Press, 2010. 628 p. (In Russian)
5. Kretov E.F. *Ul'trazvukovaya defektoskopiya v ehnergomashinostroenii.* [Ultrasonic inspection in engineering.] St.Peterburg, «Sven» Publ., 2011. 305 p. (In Russian)
6. Reshetov A.A. *Nerazrushayushchij kontrol' i tekhnicheskaya diagnostika ehnergeticheskikh ob'ektov.* [Non-Destructive testing and technical diagnostics of energy facilities]. Cheboksary, Chuvash St. Univ. Publ., 2010. 470 p. (In Russian)
7. Shesterkin A.N. *Sistema modelirovaniya i issledovaniya radioehlektronnyh ustrojstv Multisim 10.* [System simulation and study of electronic devices Multisim 10]. Moscow: DMK Press, 2012. 360 p. (In Russian)

Авторы

Аль Умари Ияд Хамид Абид, аспирант, кафедра технической физики и энергетики, Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 16А, г. Казань, 420111, Россия.

E-mail: alumaril986@mail.ru

Кашапов Наил Фаикович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической физики и энергетики, Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 16А, г. Казань, 420111, Россия.

E-mail: Nail.kashapov@kpfu.ru

Сайткулов Владимир Гельманович, д.т.н., профессор кафедры конструирования и технологии производства электронных средств, Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, ул. Карла Маркса, 31/7, г. Казань, 420111, Россия.

E-mail: saitkulov.kipmea@kstu-kai.ru

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Аль Умари И.Х.А., Кашапов Н. Ф., Сайткулов В. Г. Разработка ультразвукового метода измерения состояния электролита в процессе горения разряда с электрическим электродом // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2018. № 3. С. 62–67.

Authors

Al Umari Iad Hamid Abid, postgraduate at the Department of technical physics and energy, Engineering Institute, Kazan (Volga region) Federal University, Kremlevskaya str., 16A, Kazan, 420111, Russia.

E-mail: alumari1986@mail.ru

Kashapov Nail Faikovich, Doctor of technical Sciences, Professor, Head of the Department of technical physics and energy, Engineering Institute, Kazan (Volga region) Federal University, Kremlevskaya str., 16A, Kazan, 420111, Russia.

E-mail: Nail.kashapov@kpfu.ru

Saitkulov Vladimir Gelmanovich, doctor of technical sciences, professor of design and technology of electronic means, Institute of radio electronics and telecommunications, Kazan national research technical University named after A. N. Tupolev, Karl Marx Street, 31/7, Kazan, 420111, Russia.

E-mail: saitkulov.kipmea@kstu-kai.ru

Please cite this article in English as:

Al Umari I.H.A., Kashapov N. F., Saitkulov V. G. The development of ultrasonic methods of measuring the condition of the electrolyte in the combustion process with an electric discharge electrode. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2018, no. 3, pp. 62–67.