

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

© К. В. Безручко, А. С. Василенко, А. О. Давидов, А. А. Харченко

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського (ХАІ)

Теоретично розглянута та експериментально перевірена можливість використання ультразвукової дії для відновлення ємнісних характеристик нікель-кадмієвих акумуляторів. Розраховано умови ультразвукової дії.

Широкое использование аккумуляторов в авиации и космонавтике, в промышленности и на транспорте выдвигает на первый план задачу повышения ресурса их службы. Однако с течением времени их эксплуатации основные характеристики, в частности емкость аккумуляторов, существенно снижаются, и это требует поиска методов их восстановления.

Известно, что срок службы щелочного аккумулятора ограничивается окисно-никелевым электродом, который выходит из строя раньше отрицательных пластин.

Коэффициент использования активной массы пористого электрода сильно зависит от степени ее дисперсности [2]. Чем меньше отдельные частицы, тем полнее их масса участвует в электрохимическом процессе. При мелкодисперсной массе поверхность контакта с электролитом больше, и этим обуславливается повышение электрической емкости аккумуляторов.

Однако во время эксплуатации частицы активной массы окисно-никелевого электрода значительно увеличиваются в размере.

Следовательно, для восстановления емкости аккумуляторов необходимо перевести кристаллизовавшуюся активную массу окисно-никелевого электрода в аморфное состояние. Данную задачу можно решить с помощью ультразвука.

В промышленности ультразвук широко используется для диспергирования материалов в специализированных промышленных установках. Учитывая опыт ранее проведенных исследований по влиянию ультразвука на дисперсное состояние активной массы при формировании электродов никель-кадмиевых аккумуляторов в процессе изготовления [2], можно поставить вопрос об использовании ультразвука для уменьшения величины зерен активной массы электродов, а следовательно, и вос-

становления емкости аккумуляторов.

Обзор литературных данных [2] показал, что наложение акустического поля в процессе осаждения гидрата закиси никеля вызывает значительные изменения гранулометрического состава: содержание крупных фракций уменьшается, а мелких увеличивается. Эти изменения зависят от частоты колебаний и длительности воздействия ультразвука.

Акустическое воздействие на осаждаемый гидрат в конечном счете может повысить коэффициент использования никеля (рис. 1) на 5–20 %.

Для описания процессов, протекающих в жидкостях при воздействии ультразвука, нами была выбрана теория кавитации. Считая процесс кавитации определяющим фактором при разрушении твердых тел, выясним механизм кавитации и на основании аналитических выражений определим основные параметры ультразвукового воздействия (частоту и интенсивность ультразвукового воздействия, среду воздействия и гидростатическое давле-

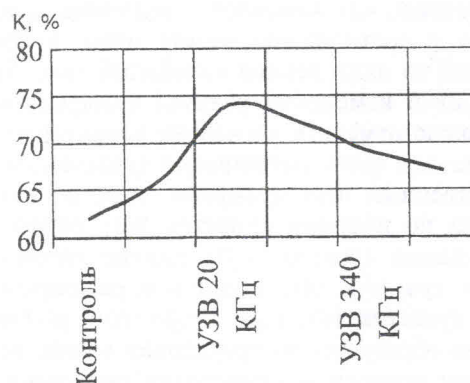


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $K$  использования никеля на 30-м цикле от частоты озвучивания (при производстве аккумуляторов)

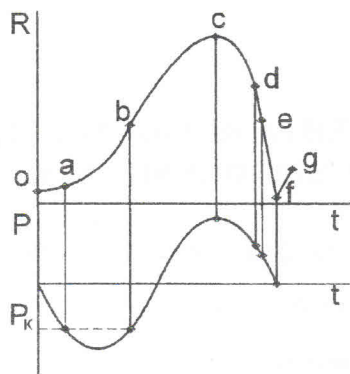


Рис. 2. Изменение размера кавитационной полости за один период колебаний

ние в камере).

Пузырек при своем движении испытывает воздействие следующих сил: гидростатического давления  $P_0$ ; акустического давления  $\alpha P_A$ , где  $\alpha$  — коэффициент усреднения давления на рассматриваемом участке синусоиды; давление пара и газа  $P_{\text{пг}}$  в пузырьке; сил поверхностного натяжения  $P_s$ ; динамического давления, создаваемого потоком жидкости  $P_d$ . Мы не учитываем силы вязкого трения, так как для жидкостей с малой вязкостью (вода, водные растворы кислот и щелочей), применяемых в ультразвуковой и электротехнической технологиях, силы вязкого трения незначительны. Учитывая, что пульсации полостей на ультразвуковых частотах протекают за весьма короткий промежуток времени (несколько десятков микросекунд), не учитываем также диффузию газа на границе жидкость-стенка пузырька. Величина и направление действующих на стенку пузырька результирующих сил в процессе пульсаций изменяются в зависимости от фазы колебаний и инерционных свойств пузырька.

Рассмотрим, как изменяется величина действующих сил и соотношение между ними в процессе пульсаций за один период колебаний (рис. 2).

На кривой изменения радиуса пузырька во времени можно отметить несколько характерных участков: начало фазы расширения (участок  $oa$ ); беспрепятственный рост пузырька (участок  $ab$ ); рост пузырька по инерции (участок  $bc$ ); начало фазы захлопывания (участок  $cd$ ); сжатие пузырька по инерции (участок  $de$ ); вторичное расширение пузырька (участок  $fd$ ). При вторичном расширении пузырька образуется микроударная волна, под воздействием которой и происходит диспергирование активной массы.

Разрушения, вызванные кавитацией, можно объяснить не только действием ударных волн, но и

другими причинами: локальным перегревом поверхности твердого тела, находящегося вблизи заполненного перегретым газом пузырька, ударами струй жидкости о поверхность твердого тела при делении пузырька на конечной стадии захлопывания, электрическими разрядами и некоторыми другими факторами.

Выбранная нами гипотеза формирования ударных волн при вторичном расширении полости дает хорошее качественное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Из работы [3] следует, что динамика кавитационной полости, при вышеописанных допущениях, теоретически описывается уравнением

$$\rho \left( R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 \right) - \left[ \left( P_0 - P_{\text{п}} + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left( \frac{R_0}{R_{\text{max}}} \right)^3 + P_{\text{п}} \right] \left( \frac{R_{\text{max}}}{R} \right)^{3\gamma} + \frac{2\sigma}{R} + P_0 - P_A \sin \omega t = 0, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность среды;  $R$  — текущий радиус пузырька;  $P_0$  — гидростатическое давление среды;  $P_{\text{п}}$  — давление насыщенных паров среды;  $\sigma$  — коэффициент поверхностного натяжения среды;  $R_0$  — начальный радиус пузырька;  $R_{\text{max}}$  — максимальный радиус пузырька;  $\gamma$  — показатель политропы;  $P_A$  — звуковое давление;  $\omega$  — угловая частота волны;  $t$  — время.

На основании анализа и статистической обработки данных, полученных при численном решении уравнения (1), предложен безразмерный критерий для оценки эрозионной активности звукового поля  $\chi = R_{\text{max}}^3 / (R_{\text{min}}^3 \Delta t f)$  [1]. С учетом данного критерия решение уравнения (1) имеет вид

$$\chi = \frac{8.14(P_A - P_0)^{5/2}(0.2P_A + P_0)^{7/2}}{P_A^3 P_{\text{п}}^3}. \quad (4)$$

Определив максимальные значения  $\chi$  и используя известные выражения, можно получить все интересующие нас параметры (частоту и интенсивность ультразвукового воздействия, среду воздействия и гидростатическое давление в камере):

$$\omega = 2\pi f, \quad (2)$$

где  $f$  — частота звуковой волны;

$$P_A = \rho c \omega A, \quad (3)$$

где  $c$  — скорость звука в среде;  $A$  — амплитуда смещения излучателя (интенсивность звуковой волны).

Используя теоретически рассчитанные оптималь-



ные параметры ультразвукового воздействия, нами были проведены экспериментальные исследования возможности восстановления емкостных характеристик никель-кадмиевых аккумуляторов. Озвучивание производилось на ультразвуковой установке с генератором типа УЗМ-1.5.

Рабочая частота данной установки — 17 кГц; амплитуда смещения излучателя — 1.1 мкм; время воздействия ультразвуком — 5 мин; среда воздействия — стандартный электролит; гидростатическое давление — 1 атм.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе исследовалось воздействие ультразвуком на электродные пластины и сепаратор аккумулятора типа НК-14. При этом было получено существенное уменьшение зерна активной массы (рис. 3 на стр. 147).

На втором этапе исследовались рабочие аккумуляторы типа НК-28. Результаты исследований приведены на рис. 4.

В данном случае было получено увеличение емкости аккумуляторов в среднем на 20 % от номинальной емкости аккумулятора.

Проведенный нами теоретический анализ процессов, протекающих в аккумуляторах при воздействии на них ультразвука, показал возможность использования ультразвука для восстановления емкости аккумуляторов.

В результате проведенных экспериментов подтверждена возможность восстановления емкости никель-кадмиевых аккумуляторов с помощью ультразвука на промышленных ультразвуковых установках (происходит заметная диспергирование активной массы и прирост емкости в среднем на 20 %).

В настоящее время нами ведется работа по подбору оптимальных параметров ультразвукового



Рис. 4. Прирост емкости  $Q$  никель-кадмиевых аккумуляторов. 1 и 2 — проводилась замена электролита и озвучиванию, 3 и 4 — проводилась только замена электролита

воздействия и составлению методики восстановления аккумуляторов ультразвуковым методом.

1. Бронин Ф. А. Исследование кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел в ультразвуковом поле: Канд. дис. — М., 1996.
2. Скалозубов М. Ф. Активные массы электрических аккумуляторов. — Новочеркасск.: РИО НПИ, 1962.
3. Ультразвуковая технология / Под ред. Б. А. Аграната. — М.: Металлургия, 1974.

#### THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ASPECTS OF ULTRASONIC RESTORATION OF ALKALINE ACCUMULATORS

*K. Bezruchko, A. Vasilenko, A. Davidov, A. Kharchenko*

The possibility to use ultrasonic action for the restoration of the capacitor characteristics of nickel-cadmium accumulators is discussed. The conditions of the ultrasonic action are designed. An experimental check of the possibility to use ultrasound for the restoration of alkaline nickel-cadmium accumulators was carried out.