

**ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ
НАНОПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА**

М.Н. Власюк, А.В. Пустовалов

Научный руководитель: профессор, д.х.н. А.В. Коршунов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: pustovalov@tpu.ru

**PARAMETERS OF THE WIRE ELECTRIC EXPLOSION FOR PRODUCTION OF IRON
NANOPOWDERS**

M.N. Vlasyuk, A.V. Pustovalov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.V. Korshunov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: pustovalov@tpu.ru

***Abstract.** The paper presents the results of study of electrical explosion of Fe wire in air and in argon. The proposed empirical equations allow to calculate the initial conditions of the explosion providing the highest level of energy injected into the wire during the explosion. The influence of argon pressure and energy level injected into the conductor on the average particle size is discussed.*

Введение

Нанопорошки железа получаемые методом электрического взрыва проводника находят широкое применение в качестве катализаторов, добавок к смазочным материалам, пигментов для красок. Основным требованием предъявляемым к таким нанопорошков является их дисперсность и структурные характеристики частиц. Основная сложность получения металлических порошков с заданными свойствами методом электрического взрыва проводника заключается в выборе начальных условий ЭВП. А именно длины взрываемого проводника и его диаметра, емкости конденсатора и начального напряжения его заряда, давления аргона в объеме установки. В работе [1] предложены эмпирические уравнения расчета базового - критического режима взрыва алюминиевых и железных проводников в атмосфере аргона при давлении от 2 до 6 атм. Следует учитывать, что критический режим ЭВП, при получении нанопорошков, не обеспечивает высокие уровни энергии, вводимые в проводник при взрыве.

Таким образом, основная цель работы – определение оптимальных режимов электрического взрыва Fe проводника в атмосфере аргона для получения нанопорошков заданной дисперсности.

Методика эксперимента

Все эксперименты проводились на установке схема и принцип работы, которой описана в работе [1]. Для осуществления электрического взрыва использовали железный проводник диаметром 0,35 мм, длину взрываемого проводника изменяли от 30 до 120 мм, емкость конденсаторной батареи составляла 2,27 мкФ, напряжение ее заряда изменяли от 16 до 32 кВ. Все эксперименты проводили в атмосфере воздуха нормальных условиях (1 атм, 25 °С) и в атмосфере аргона при давлении от 2,5 до 6 атм.

Режимы электрического взрыва, удельную энергию, вводимую в проводник при взрыве (e), удельную энергию выделяемую в дуговой стадии разряда (e_d), коэффициент передачи энергии от накопителя к проводнику (η), время протекания процесса ($t_{ЭВП}$) и плотность тока (j) определяли по осциллограммам тока. Параметры ЭВП оценивали с использованием обобщенных переменных[2]:

$$\varepsilon = \frac{CU_0^2 \cdot 10^{-18}}{n^2 d^4 Z}, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^4 \text{Ом}} \right]; \lambda = \frac{l \cdot 10^{-6}}{nd^2 Z}, \left[\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}} \right]; \nu = \frac{10^3 \cdot \sqrt{LC}}{d}, \left[\frac{\text{с}}{\text{м}} \right]$$

где C – емкость конденсаторной батареи [Ф]; U_0 – зарядное напряжение [В]; d – диаметр проводника [м]; Z – волновое сопротивление контура [Ом]; l – длина взрываемого проводника [м]; L – индуктивность контура [Гн]; n – число взрываемых проводников.

На основании полученных данных для получения порошков различной дисперсностью были выбраны начальные условия, обеспечивающие различный уровень энергии, вводимой в проводник при взрыве. Свойства полученных порошков исследовали по методу БЭТ на приборе «Сорбтометр-М», а так же с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100F.

Результаты и их обсуждения

На рисунке 1 приведены типичные осциллограммы электрического взрыва Fe проводников в воздухе.

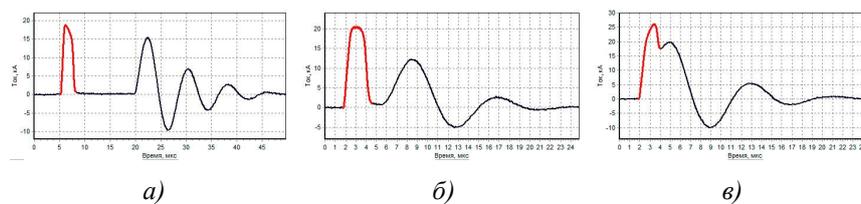


Рис. 1. Осциллограммы ЭВП. $U_0 = 26$ кВ.

а) $l = 95$ мм, $e/e_c = 1,2$; б) $l = 80$ мм, $e/e_c = 1,45$; в) $l = 50$ мм, $e/e_c = 2$

В исследуемом диапазоне критический режим ЭВП (рис. 1. б) обеспечивает уровень энергии, вводимой в проводник при взрыве – $1,45 e/e_c$ (e_c – энергия сублимации Fe – $55,6$ Дж/мм³), увеличение длины взрываемого проводника приводит к уменьшению уровня энергии вводимой в проводник до $1,2 e/e_c$ (рис. 1 а), а уменьшение l к росту уровня e/e_c до 2. Общий график зависимости энергии, вводимой в проводник при взрыве, от длины взрываемого проводника для ЭВП в воздухе приведен на рисунке 2.

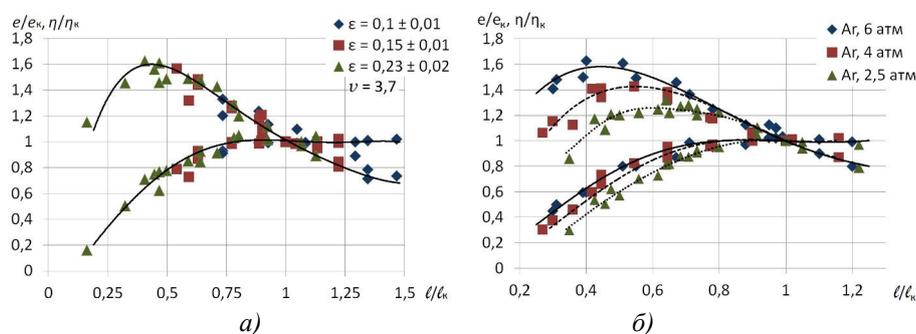


Рис. 2. Зависимость e/e_c и η от длины взрываемого проводника. а) ЭВП в воздухе;

б) ЭВП в Ar. $\varepsilon = 0,23 \pm 0,02$ Дж/м⁴Ом, — - функции для ЭВП в воздухе при ну

Из рисунка 2-а следует, что при уменьшении длины взрываемого проводника величина e/e_c увеличивается, однако зависимость имеет максимум. Дальнейшее уменьшение длины взрываемого проводника приводит к существенному снижению величины энергии, вводимой в проводник, и резкому возрастанию энергии, выделяемой в дуговой стадии разряда.

Аналогичные исследования, проведенные в среде Ag при давлении от 2,5 до 6 атм (рис.2 б), показали, что зависимости, описывающие основные параметры ЭВП при $P = 6$ атм, совпадают с аналогичными зависимостями для воздуха при н.у. Уменьшение давления Ag приводит к уменьшению пробивного напряжения газа, и как следствие, к более раннему наступлению момента развития дугового разряда. При этом максимальный уровень вводимой в проводник энергии уменьшается и смещается в сторону больших длин проводника. На основании полученных результатов предложены уравнения, позволяющие рассчитать параметры ЭВП Fe в атмосфере воздуха и аргона, обеспечивающие режимы с максимальным уровнем энергии, вводимой в проводник при взрыве:

$$\text{для воздуха} \begin{cases} \lambda_{\min} = 0,45\lambda_k \\ \left(\frac{e}{e_c}\right)_{\max} = 2,46\varepsilon^{0,12} \end{cases}, \quad \text{для Ag} - \begin{cases} \lambda_{\min}^{\text{Ar}} = 2,15P^{-0,42}\lambda_{\min}^{\text{возд}} \\ \left(\frac{e}{e_c}\right)_{\max}^{\text{Ar}} = 0,58P^{0,31}\left(\frac{e}{e_c}\right)_{\max}^{\text{возд}} \end{cases}.$$

Изучение влияния давления аргона на дисперсность получаемых порошков показали, что при увеличении давления Ag с сохранением уровня e/e_c среднеповерхностный диаметр частиц увеличивается (рис 3). Но увеличение давления Ag от 1,5 до 6 атм позволяет повысить максимальный уровень e/e_c , что, в свою очередь, способствует дальнейшему снижению среднеповерхностного диаметра частиц.

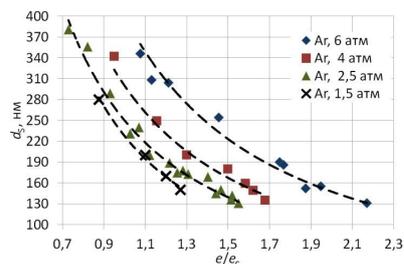


Рис. 3 – Зависимость среднеповерхностного диаметра частиц от удельной энергии, введенной в проводник, при различных давлениях аргона

Выводы

На основании полученных результатов предложены эмпирические уравнения для расчета режимов ЭВП в воздухе и аргоне, обеспечивающие наибольший уровень энергии, вводимой в проводник при взрыве. Определены зависимости среднеповерхностного диаметра частиц от энергии, вводимой в проводник при взрыве, и от давления аргона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант РФФИ-мол-а 16-38-00051).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яворовский Н.А., Пустовалов, А.В. Выбор параметров электрического взрыва алюминиевых и железных проводников в атмосфере аргона // Изв. вузов. Физика. – 2013 – Т. 56 – №. 7/2. – С. 164-169.
2. Азаркевич Е.И. Применение теории подобия к расчету некоторых характеристик электрического взрыва проводников // ЖТФ. – 1973. – Т. 43. – № 1. – С. 141