

## Физико-математические науки

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
МЕХАНОАКТИВАТОРОВ (ЭММА)

Беззубцева М.М., Волков В.С.

Санкт-Петербургский государственный  
аграрный университет, Санкт-Петербург,  
e-mail: vol9795@yandex.ru

Конструктивное исполнение механоактиваторов с электромагнитным способом формирования диспергирующего усилия [1] обусловлено как технологическими требованиями, предъявляемыми к качеству готовых изделий, так и характеристиками электромагнитного поля в отдельных элементах ЭММА [1, 2]. Характер и траектория движения ферромагнитной составляющей наполнителя рабочего объема (размольных элементов), интенсивность энергетических, силовых и магнитных взаимодействий между магнитным полем, рабочими элементами и частицами обрабатываемого материала зависит от строения и основных характеристик электромагнитного поля в объемах обработки (индукции и напряженности, магнитной энергии в рабочем объеме и т.д.) [1].

Исследование строения электромагнитного поля и определение его параметров в рабочем объеме ЭММА цилиндрических конструкций [1, 2, 3] проводили при следующих предположениях:

1) магнитную проницаемость ферромагнитного материала рабочих органов аппаратов принимаем равной бесконечности ( $\mu = \infty$ ). В этом случае магнитный поток входит в поверхность ферромагнетика под прямым углом, т.е. по радиусам рабочего объема устройств цилиндрической конструкции [1, 2, 3];

2) торцевые крышки устройства выполнены из немагнитного материала;

3) краевыми эффектами пренебрегаем, т.е. считаем, что все магнитное поле сосредоточено в рабочем объеме устройства;

4) электрический ток в обмотке возбуждения идеализируем одним витком  $W$  с нулевым диаметром провода и током  $i$ , т.е. пренебрегаем энергией электрического поля и рассеиванием энергии в пазу обмоток.

При принятых предположениях магнитное поле в рабочем объеме можно представить как равномерно-радиальное. Доказательство этого утверждения проводили на основании закона полного тока  $\oint Hdl = Wi$ , применив его к двум замкнутым контурам  $dl$  циркуляции вектора на-

пряженности  $H$  в аппарате цилиндрической конструкции. Поскольку в ферромагнетике, согласно предложению п. 3 магнитная проницаемость  $\mu = 0 = \infty$ , то напряженность магнитного поля  $H$  в этих элементах устройства имеет нулевое значение  $H = \frac{1}{\mu} B = 0$ . И, следовательно, по части

путей, проходящих в ферромагнетике, интеграл  $\oint Hdl$  также будет равен 0. Таким образом, под знаком интеграла остаются только части путей, проходящих в рабочем объеме шириной  $\delta = R_1 - R_2$  по радиусам устройств (здесь  $R_1$  – наружный радиус внутреннего цилиндра,  $R_2$  – внутренний радиус цилиндрического корпуса).

Заменяв напряженность магнитного поля в рабочем объеме вдоль радиуса средним значением  $H_{cp}$ , можно от интеграла в законе полного тока перейти к алгебраическим выражениям. Установлено, что при принятых предположениях модуль напряженности магнитного поля в объеме обработки не меняется по высоте. Следовательно, магнитное поле в рабочем объеме ЭММА цилиндрических конструкций является равномерно-радиальным, и среднее значение напряженности определяется следующим выражением:

$$H_{cp} = \frac{Wi}{2(R_1 - R_2)}. \quad (1)$$

По радиусу рабочего объема напряженность от внешней боковой поверхности (внутреннего цилиндра) к внутренней боковой поверхности (наружного цилиндрического корпуса) увеличивается по линейному закону. Для доказательства этого утверждения использовали закон непрерывности магнитного потока, согласно которому магнитный поток  $\Phi_1$ , выходящий из верхней половины внутренней части устройства, равен магнитному потоку  $\Phi_2$ , входящему в верхнюю часть наружного корпуса  $\Phi_1 = \Phi_2$ .

Выражения для магнитных потоков имеют следующий вид

$$\Phi_1 = B_1 2\pi R_1 l; \quad (2)$$

$$\Phi_2 = B_2 2\pi R_2 l, \quad (3)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – индукции магнитного поля соответственно на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях, образующих рабочий объем ( $B_1 = \mu_0 H_1$ ,  $B_2 = \mu_0 H_2$ , где  $\mu_0$  – магнитная проницаемость объема обработки;  $H_1$  и  $H_2$  – напряженность магнитного поля на внутренней и наружной поверхностях рабочего объема).

Из выражения (2) и (3) следует, что

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{или} \quad \frac{H_2}{H_1} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (4)$$

Т.о., основные параметры магнитного поля ( $H$  и  $B$ ) в объеме обработки ЭММА цилиндрических конструкций увеличиваются по радиусу к внутренней поверхности, образующей рабочий объем, по линейному закону.

С учетом изложенного, после ряда преобразований, получено выражение для определения напряженности  $H_0$  и индукции  $B_0$  магнитного поля в любой точке рабочего объема ЭММА цилиндрических конструкций

$$H_0 = \frac{Wi(R_1 + R_2 - \rho)}{R_1^2 - R_2^2}; \quad (5)$$

$$B_0 = \frac{\mu_0 Wi(R_1 + R_2 - \rho)}{R_1^2 - R_2^2}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – радиус точки объема обработки (при  $R_1 \leq \rho \leq R_2$ ).

В результате исследований строения магнитного поля выявлено, что:

– поле в рабочем объеме ЭММА цилиндрических конструкций является равномерно-радиальным;

– параметры магнитного поля (напряженность и индукция) увеличиваются по радиусу устройств к внутренней цилиндрической поверхности, составляющей рабочий объем, по линейному закону.

Полученные на основании исследований выражения (5) и (6) являются основополагающими для расчета магнитной энергии и вычисления сил и моментов, действующих со стороны магнитного поля на ферромагнитные размольтные элементы в рабочем объеме ЭММА цилиндрического исполнения.

#### Список литературы

1. Беззубцева М.М. Электромагнитные измельчители. Теория и технологические возможности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб.: СПбГАУ, 1997. – 24 с.
2. Беззубцева М.М., Волков В.С. Теоретические основы электромагнитной механоактивации. – СПб.: Изд-во СПбГАУ, 2011. – 250 с.
3. Беззубцева М.М. Энергоэффективный способ электромагнитной активации // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №5. – С. 92-93. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, Италия (Рим-Флоренция), 10-17 апреля 2012 г.

#### ПОЛУЧЕНИЕ СТРУКТУР Ag-AgI-Si<sup>0</sup> С МЕМРИСТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ

<sup>1</sup>Галушка В.В., <sup>1,2</sup>Терин Д.В.,  
<sup>1</sup>Мысенко И.Б., <sup>1</sup>Биленко Д.И.

<sup>1</sup>ФГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Саратов,  
e-mail: gwiktor@mail.ru;

<sup>2</sup>Энгельский технологический институт (филиал) ФГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Энгельс, e-mail: terinden@mail.ru

Развитие вычислительной техники и увеличение объемов информации стимулируют поиск новых принципов ее хранения и обработки. В последние годы возрос интерес к твердотельным материалам с ионной проводимостью и структурам на их основе, обладающих свойствами переключения и памяти. Работы [1, 2] посвящены твердотельным электрохимическим ячейкам получившим название мемристоров. Принцип работы таких структур основан на изменении проводимости туннельного зазора за счет массопереноса и окислительно-восстановительных реакций на границах слоев с ионной проводимостью [3]. Нами показана возможность создания переключателя на основе структуры Ag-AgI-Si<sup>0</sup>. Пористый слой кремния на кремниевой подложке получали электрохимически с последующим заполнением пор серебром. Преобразование Ag в AgI производилось в парах йода, после чего были сформированы контакты из подслоя серебра и хрома вакуумным напылением. В структуре Si-Si<sup>0</sup>-AgI-Ag-Cr наблюдался эффект переключения сопротивления в зависимости от направления электрического тока. Линейность характеристик позволяла не учитывать выпрямление на контактах, при этом перенос серебра через ионный проводник и формирование либо удаление проводящих дендритов в слое пористого слоя кремния обуславливал изменение сопротивления структуры. Параллельное включение большого числа пор в подобных ячейках памяти повышает надежность устройств по сравнению с аналогичными переключающими структурами.

#### Список литературы

1. T. Tamura et al. Jpn. J. Appl. Phys. – 2006. – № 45. – L364-L366.
2. Strukov D.B. et al. Nature. – 2008. – Vol. 453. – P. 80-83.
3. Bilenko D.I. et al. // Ion transport in organic and inorganic membranes: Proc. Int. Conf., Krasnodar. 28 May-2 June 2012. – Krasnodar, 2012. – P. 30-33.