

кристаллизации образца выделяется энергия, что влияет на снимаемую температуру с термомпары. Кривая охлаждения при скорости 150 К/мин имеет пологий характер в области температуры кристаллизации 928 °С, а при скорости 500 К/мин отчетливо виден скачок кривой в зоне кристаллизации, соответствующей температуре 933 °С.

Анализ результатов исследований показывает снижение температуры кристаллизации при росте скорости охлаждения образца и позволяют предсказывать температуры кристаллизации электролита со скоростями, лежащими в исследуемом диапазоне.

**Список литературы**

1. Пингин В.В., Поляков П.В., Щербинин С.А. Математическое моделирование газогидродинамических процессов в алюминиевом электролизере // Цветные металлы. – 1998. – №5. С. 104-109.
2. G.V. Arkhipov. The mathematical Modelling of Aluminium Reduction Cells // JOM. – 2006 – №2. P. 54 – 56.

**ПРОГРАММНЫЕ  
СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ  
МАНИПУЛЯТОРАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
АЛЮМИНИЯ**

Петров П.А.

*Национальный минерально-сырьевой университет  
«Горный» (Горный университет), Санкт-Петербург,  
e-mail: pashapp@yandex.ru*

Одной из важнейших задач стабилизации технологических параметров высокоамперного электролиза криолитоглиноземных расплавов является поддержание концентрации оксида алюминия в электролите в интервале 2,0÷3,5% масс. Для этой цели необходимы решения по совершенствованию системы автоматического питания глиноземом.

Разработка представляет собой комплексное решение по рационализации параметров процесса электролиза за счет управления многофункциональными манипуляторами подачи глинозема в расплав. Предложение основывается на зависимости скорости и механизма растворения глинозема от содержания углерода в криолитоглиноземном расплаве, а также на дифференцированном питании алюминиевого электролизера глиноземом с использованием функциональных зависимостей скорости растворения глинозема от его физико-химических свойств и технологических параметров процесса электролиза [1].

Разработанные программные средства позволяют проводить постоянный мониторинг ненаблюдаемых параметров высокотемпературного электролизера (температура, криолитовое отношение, уровни металла и электролита) и осуществлять дискретное дозирование глинозема в расплав электролита независимо по каждому каналу питания.

Решение позволяет осуществлять питание электролизных ванн алюминиевого производ-

ства без образования осадков и коржей на подине при максимально близко к теоретической нагрузке глинозема.

**Список литературы**

1. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012614704. Дискретное питание алюминиевого электролизера фторированным глиноземом / П.А. Петров, А.А. Власов, Я.Н. Выходцев, В.Ю. Бажин. Оpubл. 25.05.2012. Бюл. изобр.

**МЕТОД ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ  
МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ  
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
УСТРОЙСТВАХ НА БАЗЕ ИХ ВЕБЕР-  
АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Шайхутдинов Д.В., Январёв С.Г.,  
Широков К.М., Леухин Р.И.

*ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный  
политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова», Новочеркасск,  
e-mail: d.v.shaykhutdinov@gmail.com*

Обеспечение высокой надежности систем управления на базе электромагнитных механизмов является важной проблемой современной науки и техники и одним из условий предупреждения системных техногенных аварий и катастроф. Наиболее распространенным и ответственным видом коммутационной аппаратуры в системах управления являются электромагнитные устройства. Качество их функционирования определяет степень надежности работы всей системы как в нормальных, так и в аварийных режимах. В настоящее время отсутствует диагностическая аппаратура, обеспечивающая автоматизацию диагностики электромагнитов, в том числе без необходимости испытаний в специальных условиях. Решение этой задачи требует разработки новых подходов диагностики электромагнитных механизмов, которые позволят своевременно принимать меры по выводу в ремонт или для замены неисправных или исчерпавших свой ресурс устройств.

Наиболее перспективным подходом к диагностике электромагнитных устройств является анализ их электромагнитных, вебер-амперных характеристик [1]. Контроль магнитных свойств изделий позволяет идентифицировать дефекты без необходимости проведения долговременных операций разборки/сборки механизмов. Задача усложняется тем, что наиболее информативные характеристики электромагнитов, к которым относятся вебер-амперные характеристики, как правило, невозможно получить с помощью известных сенсоров магнитных величин [2, 3]. Поэтому актуальной задачей является разработка методов технической диагностики наиболее распространенных неисправностей электромагнитных устройств. К таким неисправностям относится в первую очередь появление межвитковых замыканий в намагничивающей обмотке устройства.

Для диагностирования данного дефекта предлагается использовать метод, основанный

на анализе вебер-амперной характеристики устройства. Рассмотрим электромагнитную систему, включающую: источник тока, намагничивающую обмотку электромагнитного устройства с числом витков  $w$ , два ферромагнитных элемента (например, сердечник и якорь электромагнита) и воздушный зазор между этими элементами. Для анализа применим подход на базе эквивалентных электрических схем [4]. Магнитную систему для каждого момента времени  $t$  можно описать выражением:

$$\Phi(t) = \frac{I(t)w}{R_{\phi 1} + R_{\text{в}}(l_{\text{в}}) + R_{\phi 2}}$$

где  $\Phi(t)$  – мгновенное значение магнитного потока в последовательной магнитной цепи;  $R_{\phi 1}$ ,  $R_{\phi 2}$  – магнитные сопротивления ферромагнитных элементов магнитной системы;  $R_{\text{в}}(l_{\text{в}})$  – магнитное сопротивление воздушного зазора длиной  $l_{\text{в}}$ ;  $i(t)$  – мгновенное значение тока в намагничивающей обмотке устройства.

В общем случае, магнитное сопротивление любого участка магнитной цепи  $R_{\text{уч}}$  определяется выражением [4]:

$$R_{\text{уч}} = \frac{l_{\text{уч}}}{\mu_{\text{уч}} \cdot \mu_0 \cdot S_{\text{уч}}},$$

где  $l_{\text{уч}}$  – длина средней линии участка, м;  $\mu_{\text{уч}}$  – относительная магнитная проницаемость участка;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $S_{\text{уч}}$  – площадь поперечного сечения участка, м<sup>2</sup>.

Заменим в данном выражении магнитный поток  $\Phi$  выражением [2]:

$$\Phi(t) = \frac{\psi(t)}{w},$$

где  $\psi(t)$  – мгновенное значение потокосцепления с намагничивающей обмоткой  $w$ .

Получим:

$$\frac{\psi(t)}{w} = \frac{i(t)w}{R_{\phi 1} + R_{\text{в}}(l_{\text{в}}) + R_{\phi 2}},$$

$$\frac{\psi(t)}{i(t)} = w^2 K(d), \quad (1)$$

где  $K(d) = \frac{1}{R_{\phi 1} + R_{\text{в}}(l) + R_{\phi 2}}$ ,  $d$  – обобщенное геометрическое состояние магнитной системы, определяемое, в основном,  $l_{\text{в}}$ .

Рассмотрим случай, при котором с помощью одного источника тока с заданной идеальной дискретностью изменения  $i(t)$ , измерены две вебер-амперные характеристик  $\psi_1(i)$  и  $\psi_2(i)$  двух электромагнитов с числом витков соответственно  $w_1$  и  $w_2$ , причем  $w_2 = nw_1$ . Тогда, для некоторого тождественного геометрического состояния магнитной системы этих электромагнитов  $d_1=d_2=d$  в момент времени  $t$ , используя выражение (1), получим:

$$\frac{\psi_1(i(t))}{i(t)} = w_1^2 K(d), \quad \frac{\psi_2(i(t))}{i(t)} = w_2^2 K(d).$$

Тогда:

$$\frac{\psi_2(i(t))}{\psi_1(i(t))} = n^2. \quad (2)$$

Таким образом, при условии тождественности геометрических состояний магнитных систем устройств, магнитных свойств их соответствующих ферромагнитных составляющих элементов, при изменении числа витков в  $n$  раз отношение потокосцеплений  $\psi_2/\psi_1$  изменится в  $n^2$  раз для каждого значения тока  $i(t)$ .

На базе данного вывода, предложен метод технической диагностики межвитковых замыканий в электромагнитных устройствах на базе их вебер-амперных характеристик, заключающийся в следующем:

Производится измерение вебер-амперной характеристики  $\psi_{ij}(i_j)$  годного электромагнитного устройства и сохраняется в памяти для последующего сравнения ( $j=1,2..m$ , где  $m$  – число точек на вебер-амперной характеристике).

Производится измерение вебер-амперной характеристики  $\psi_{dj}(i_j)$  диагностируемого электромагнитного устройства.

Рассчитывается среднее значение отношений (2):

$$n_{\text{ср}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sqrt{\frac{\psi_{ij}(i)}{\psi_{dj}(i)}}.$$

В случае, если средняя величина отношения  $n_{\text{ср}}$  больше приемлемой для данного типа изделия, делается вывод о наличии межвиткового замыкания в устройстве.

Данный метод опробован на результатах измерений прибора [5]. Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность теоретических выводов.

*Статья подготовлена по результатам работ, полученных в ходе выполнения проекта № СП-748.2012.1, реализуемого в рамках программы «Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики». Статья подготовлена по результатам работ, полученным в СНИЛ «ИИС» ЮРГПУ(НПИ). Статья подготовлена с использованием оборудования ЦКП «Диагностика и энергоэффективное электрооборудование» ЮРГПУ(НПИ).*

#### Список литературы

- Сахавава, А.А. Применение метода косвенного определения вебер-амперных характеристик в автоматизированной системе бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов/ А.А. Сахавава, К.М. Широков, С.Г. Январев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5; URL: www.science-education.ru/111-10234 (дата обращения: 04.10.2013).
- Антонов, В.Г. Средства измерений магнитных параметров / В.Г. Антонов, Л.М. Петров, А.П. Щелкин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.

3. Шайхутдинов, Д.В. Измерение магнитных характеристик элементов мехатронных систем в режиме последовательного резонанса / Д.В. Шайхутдинов, М.В. Ланкин, В.В. Боровой // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск: Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития. – С.177-179.

4. Коген-Далин, В.В. Расчет и испытание систем с постоянными магнитами / В.В. Коген-Далин, Е.В. Комаров. – М.: Энергия, 1977. – 248 с.

5. Широков К.М. Устройство магнитного контроллера для подсистемы управления производством электротехнических изделий / Широков К.М., Шайхутдинов Д.В., Дубров В.И., Январев С.Г., Ахмедов Ш.В., Шайхутдинова М.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-11665 (дата обращения: 16.05.2014).

### «Новые технологии, инновации, изобретения»

Турция (Анталья), 20-27 августа 2014 г.

#### Технические науки

#### АГЛОМЕРАЦИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Тлеуов А.С., Тлеуова С.Т., Алтыбаев Ж.М.

*РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский  
государственный университет им. М. Ауэзова  
Министерства образования и науки Республики  
Казахстан», Шымкент, e-mail: tleuov@mail.ru*

В развитии металлургии особое место занимают первичные и вторичные материальные ресурсы, являющиеся равноценными компонентами сырьевой базы отрасли, которые являются важнейшими факторами развития экономики. Сбалансированность возрастающих объемов и масштабов производства с материально-техническим обеспечением должна достигаться путем увеличения в ресурсопотреблении доли сырья и материалов и высвобождения за счет этого первичных ресурсов [1].

Образование значительных масс отходов характерно для большинства отраслей промышленности. Безотходные и малоотходные технологии только начинают внедряться и не оказывают пока определяющего влияния на снижение уровня отходов производства. По данным учета отходов производства и потребления на всех предприятиях СНГ, в различных отраслях народного хозяйства накопилось около 5 млрд. т. твердых отходов. Причем, значительная их часть приходится на долю Казахстана, которые, в основном, не перерабатываются и складировываются в отвалах, на свалках, хвостохранилищах и т. д. [2].

В Казахстане марганец является одним из наиболее широко применяемых легирующих элементов стали, повышающий ее прокаливаемость, твердость, предел прочности и текучести. Марганец в составе ферромарганца и силикомарганца является как раскислитель и легирующая добавка к стали и сплавам. В Казахстане годовая добыча марганцевых руд достигает 0,5 млн. тонн. Около половины добываемой в Казахстане руды перерабатывается на Жездинской обогатительной фабрике, выпускающей концентрат с содержанием 33-39% марганца [3, 4]. При этом руда с низким содержанием железа (не более 5% железа) перерабатывается для получения марганцевого концентрата, из которого производят металлический марганец, чистый низкоуглеродистый ферро-

марганец. Руда с более высоким содержанием железа используется для производства силикомарганца. Потребителями продукции предприятия являются Ермаковский ферросилициевый завод (г. Ермак, Павлодарская область) и металлургические заводы России [5].

Задачей для Юга Казахстана является уменьшение количества накопленных отходов угледобычи, что возможно за счет сокращения их образования и увеличения степени их использования. Уровень использования отходов углеобогащения крайне низок. Сложившаяся ситуация в сфере обращения с отходами на юге Казахстана, в настоящее время неблагоприятна в экологическом плане. Перспективным направлением является использование в качестве углеродсодержащего компонента отходов обогащения, окисленных углей, а также некондиционной мелочи энергетических углей. Использование углеотходов в металлургической промышленности является весьма эффективным в плане замены флюсового компонента и сокращения расхода на дорогостоящий кокс [6,7].

Исследование физико-химических закономерностей агломерации металлургического марганецсодержащего сырья с использованием нетрадиционных видов топлива, для получения марганца, а также его сплавов является актуальной. Проведенные исследования позволят обосновать теоретические основы технологии агломерации марганецсодержащего сырья в присутствии углеродсодержащих отходов.

С целью исследования характера дегидратации и декарбонизации мелочи марганецсодержащего сырья и смесей проб руды с коксом при различных соотношениях с углеотходами был использован метод дифференциально-термического анализа. Дериватограммы смеси марганцевой рудой с коксом при соотношении кокса к отходам угледобычи равной 1:1, 1:2 характеризуется двухступенчатым экзоэффектом в области 280-320 и 480-520К, свидетельствующий об удалении кристаллогидратной влаги. Эндоэффект характерен для декарбонизации карбоната марганца находится в области 810-1015К. Причем, при соотношении кокса к углеотходам равной 1:2 эндоэффект перемещается в высокотемпературную область.

Микроструктурный точечный анализ пробы марганцевой руды Жайремского месторождения показал о наличии марганца – 41%, а также