

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Коков А. С., Михайлов К. А.

**научный руководитель канд. техн. наук Михайлов Д. А.
*Сибирский федеральный университет***

В мировой алюминиевой промышленности предприятия России, такие как ОК «РУСАЛ» и другие, является одним из крупнейших потребителей новых технологий и оборудования для производства сплавов на основе алюминия с высокой добавленной стоимостью. Эти сплавы занимают лидирующее положение среди конструкционных материалов и имеют хорошие перспективы в будущем. Ввиду этого, потребителями предъявляются все более высокие требования к качеству этих сплавов, которое напрямую зависит от технологических возможностей электрических миксеров и внепечных установок, которые принимают непосредственное участие в процессе приготовления сплавов.

Одним из основных узлов устройств этого типа, напрямую влияющего на качество приготавливаемого алюминиевого сплава, является система электронагрева. Кроме этого, сами системы электронагрева, обладая средним сроком службы 1 года, являются расходным материалом и их себестоимость должна быть минимальной. Поэтому одной из основных задач повышения экономической эффективности процесса производства алюминиевых сплавов с высокой добавленной стоимостью является разработка и изготовление отечественных систем электронагрева новых конструкций с повышенной надежностью для миксеров, установок фильтрации и рафинирования алюминиевых сплавов.

На большинстве отечественных предприятий системы электронагрева электротехнологического оборудования представлены подвесными ленточными или подвесными стержневыми нагревательными элементами, которые размещаются в защитных трубах или располагаются над расплавом открыто. В процессе эксплуатации подвесные ленточные нагревательные элементы подвергаются воздействию агрессивной рабочей среды на стадии рафинирования, в результате чего на их поверхности образуется слой отложений, что ведет к их быстрому выходу из строя.

Другим эффективным методом, защищающим нагревательные элементы системы электронагрева от газовой коррозии и попадания брызг алюминия, является применение защитных металлических труб, в которые помещаются нагревательные элементы. В России и в других странах в качестве защитных труб используются трубы шведской фирмы «KANTHAL» (марка KANTHAL APM). Однако применение таких систем электронагрева также не способно решить проблему малого срока эксплуатации, так как защитные трубы покрываются пористыми отложениями, что приводит к резкому возрастанию теплового сопротивления между поверхностью расплава и проводом нагревательных элементов, и, соответственно, к перегреву материала труб и нагревательных элементов. Такие защитные трубы склонны к активной деформации, прогоранию и разрушению (рис. 1, а). Средний срок службы системы электронагрева «KANTHAL» при эксплуатации в агрессивных средах, по данным ОАО «РУСАЛ-Красноярск» на миксерах САМП-100, составляет около 9 месяцев. Проведённые исследования и анализ причин выхода из строя систем электронагрева электронагревателей показал, что основными недостатками защитных труб KANTHAL APM являются их низкая механическая прочность и склонность к

насыщению элементами N, K, Na, Cl, F, Cu, Ni, Mn и Mg материала труб при рабочих температурах в печи (рис. 1, б). Защитные трубы наиболее склонны к газовой коррозии при поддержании рабочей температуры в диапазоне (850-900) °С, а к механической деформации – в периоды перехода материала защитных труб через границу хладотвердости (850-870) °С [1, 2]. Анализ условий эксплуатации электронагревателей на ОАО «РУСАЛ-Красноярск», ОАО «РУСАЛ-Саяногорск», ОАО «РУСАЛ-Новокузнецк», ОАО «РУСАЛ-Иркутск» с 2007 по 2013 гг. показал, что основной причиной выхода из строя электронагревателей при приготовлении алюминиевых сплавов с использованием флюсов, является разрушение защитных труб по вышеназванным причинам.

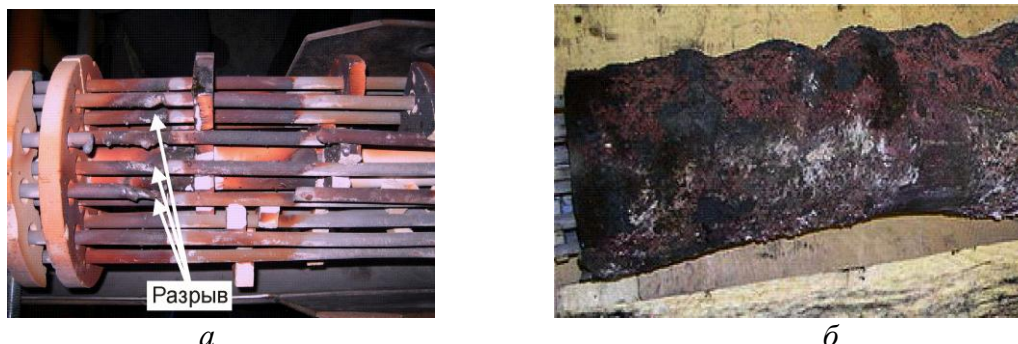


Рис. 1. Вид на поврежденный электронагреватель фирмы «KANTHAL»: а) повреждение провода нагревательного элемента KANTHAL Tubothal; б) Деформация и окисление защитной трубы KANTHAL APM

В 2009 г. ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» стало инициатором разработки отечественных систем электронагрева с повышенной эксплуатационной надежностью. В этом же году к изготовлению и сборке отдельных узлов и комплектующих систем электронагрева (нагревательные элементы, подвески, гибкие токоподводы) было привлечено ФГУП «КрОЗ Россельхозакадемии», на базе которого было решено создать участок по изготовлению систем электронагрева, производственная мощность которого составила бы до 1000 шт. нагревательных элементов и комплектующих в год.

Компанией ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» был накоплен большой опыт в области разработки и внедрения электротехнологического оборудования металлургического назначения. Каждая пятая тонна алюминиевых сплавов в России производится на оборудовании, в разработке которого принимало участие ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики». Анализ мирового рынка систем электронагрева и накопленный научно-технический задел в процессе проведения исследований на математических моделях, на физических моделях и на промышленных агрегатах с различными типами конструкций систем электронагрева позволило установить, что одним из наиболее перспективных путей повышение надежности электронагревателей является изготовление провода нагревательных элементов из суперсплавов системы Fe-Cr-Al, в состав которых входят такие легирующие элементы, как Y, La, Ce, Zr, Ti, Si (GS23-5 и др.) [3, 4]. В отличие от суперсплавов системы Ni-Cr, такие сплавы обладают повышенной термической стойкостью, которая обусловлена образованием пленки оксида алюминия Al_2O_3 на поверхности провода при температурах более 780 °С. Данное свойство и относительно низкая себестоимость суперсплавов системы Fe-Cr-Al предопределили концепцию конструкции нагревательных элементов для электротехнологических установок.

Сотрудниками ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» с 2009 по 2013 гг. были разработаны и внедрены системы электронагрева для установок фильтрации PDBF

(компания «Novelis», Франция) и установок рафинирования SNIF (компания «Alcoa», США), а также для электрических стационарных и поворотных миксеров САМ-90 («Казахстанский электролизный завод»), САМП-100 (ОАО «РУСАЛ-Красноярск»), САМП-38 (ОАО «РУСАЛ-Новокузнецк»), САМП-60 и САМ-80 (ОАО «РУСАЛ-Саяногорск», ОАО «РУСАЛ-Иркутск»). Высокая эксплуатационная надежность электронагревателей таких конструкций была подтверждена в ходе их эксплуатации в 2008-2012 гг. на ОАО «РУСАЛ-Красноярск» (г.Красноярск) и на ОАО «РУСАЛ-Иркутск» (г. Иркутск).

В период с 2003 по 2013 гг. было разработано и внедрено на вышеперечисленных устройствах, включая модификации: 44 конструкции нагревательных элементов, 19 конструкций защитных труб и 18 конструкций комплектующих к ним (в т.ч. упаковка, этикетки и пр.). Динамика изменения данных разработок приведена на рисунке 3. Как видно из графика, в среднем за год разрабатывалось и внедрялось порядка 16 различных конструкций систем электронагрева и их модификаций. В результате, в России, на текущий момент, доля систем электронагрева отечественного производства составляет около 25 %.



Рис. 2. Трубчатые нагревательные элементы конструкции ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» для внепечных установок: *а)* для установок фильтрации сплавов PDBF; *б)* для установок рафинирования сплавов SNIF.

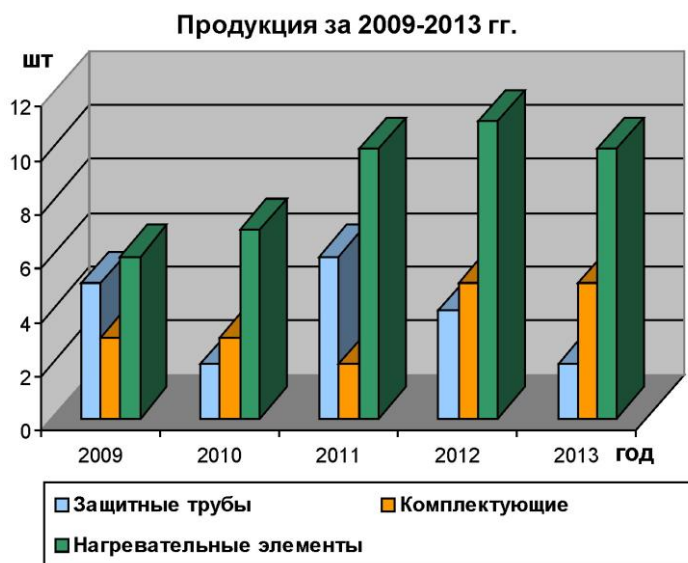


Рис. 2. Трубчатые нагревательные элементы конструкции ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» для внепечных установок: *а)* для установок типа PDBF; *б)* для установок типа SNIF.

Необходимым условием совершенствования выпускаемой продукции (системы электронагрева печей-миксеров, внепечных электротехнологических установок при приготовлении алюминиевых сплавов) является тесное сотрудничество предприятия с её потребителями. Долговременное взаимовыгодное сотрудничество, обмен необходимой информацией между специалистами ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» и ООО «РУС-Инжиниринг» (г. Красноярск) являются тому подтверждением. Начиная с 2007 года, по инициативе ООО «РУС-Инжиниринг», регулярно проводятся заседания технических советов с участием специалистов ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» и ОАО «РУСАЛ-Красноярск», на которых рассматривается текущее состояние систем электронагрева различных конструкций. В 2010 году была создана рабочая группа специалистов по решению вопросов эксплуатационной надёжности и модернизации электротехнологического оборудования ОАО «РУСАЛ-Красноярск», перед которой были поставлены следующие задачи:

- Повышение надёжности работы миксеров и внепечных устройств за счет плановой поставки и обеспечения нормативного запаса электронагревателей для установок фильтрации, рафинирования и миксеров;
- Повышение точности измерения температуры в рабочем пространстве миксеров (размещения около каждого электронагревателя отдельной термопары);
- Разработка электрической схемы соединения электронагревателей, которая позволит производить контроль величин питающего тока каждого электронагревателя;
- Монтаж сервисного модуля хранения и обработки информации о тепловом состоянии миксера;
- Установка тепловых экранов на форкамеры миксеров;
- Разработка технологических, эксплуатационных и ремонтных инструкций с учетом требований по увеличению сроков службы и эффективности использования электронагревателей сопротивления;
- Обучение обслуживающего персонала навыкам эффективной эксплуатации систем электронагрева.

Благодаря проведённым техническим и организационным мероприятиям в 2011 г. была достигнута поставленная задача безаварийной работы плавильно-литейных агрегатов в составе миксеров САМП-100 и внепечные установки PDBF и SNIF за счет сокращения межремонтных сроков и увеличения интервала между остановами на проведение ремонтных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Resistance Heating Alloys and System for Industrial Furnaces. Каталог 1-A-5B. KANTHAL. Hallstahammar, Sweden, 2001. – 38 p.
2. Investigation of KANTHAL Tubothal: Investigation report / «Kanthal AB». Reg. no. E07032. – Hallstahammar, Sweden, February 28, 2007. – 9 p.
3. Гутман, М. Б. Срок службы нагревательных элементов из железо-хромалюминиевых сплавов сопротивления в воздушной атмосфере. М. Б. Гутман, А. Б. Плоткин, Ю. В. Шумков // Труды ВНИИ ЭТО: сб. науч. тр. – М.: Энергоиздат, 1981. – №11. – С. 3-14.
4. Пелевин, А. Г. Новая конструкция нагревателя защищенного типа / А. Г. Пелевин, В. Ф. Фролов, Л. П. Трифоненков // Алюминий Сибири 2008: сб. научн. статей. – Красноярск: ООО «Версо», 2008. – С. 281-283.