



*Сидоренко Виталий Александрович*

преподаватель

*Сультимова Валентина Дампиловна*

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления»

г. Улан-Удэ, Республика Бурятия

**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ВОЛОКНА**

*Аннотация:* в данной статье проанализированы особенности использования различных электродных материалов в расплавных средах электродуговых плавильных агрегатов при производстве теплоизоляционного волокна. Рассмотрены причины соответствия и несоответствия определенных материалов необходимым характеристикам. Обозначены направления развития для проведения дальнейших исследований. Авторами представлен один из наиболее экономически выгодных способов производства теплоизоляционного волокна.

*Ключевые слова:* электродные материалы, теплоизоляционное волокно, электродуговые плавильные агрегаты.

Сегодня в мировой практике наиболее распространены следующие печи расплавки минерального сырья для производства теплоизоляционного волокна: вагранки, ванные печи, электродуговые агрегаты, индукционные печи и др.

Для подвода электрической энергии в рабочее пространство печи и горения дуги служат электроды. В электродуговых плавильных агрегатах, как правило, используются погружные электроды прямого действия, так как тепловой эффект дуги в этом случае имеет наименьшие теплопотери.

Материал электрода, в связи с условиями работы должен обладать хорошей электропроводностью и выдерживать весьма высокие температуры. Сам элек-

трод должен иметь достаточную механическую прочность, чтобы не происходило его разрушения под действием собственной массы, а также сопротивляемость окислительному воздействию атмосферы печи.

Композитные материалы на основе меди, как правило, не используются для изготовления электродов, предназначенных для работы в расплавах. Это связано в первую очередь с недостаточно высокой температурой плавления (около  $1083^{\circ}\text{C}$ ), и, как следствие, отсутствием механической прочности при рабочих температурах. Также при использовании меди присутствует ряд нежелательных химических свойств в расплавных активных средах.

Намного более тугоплавкими материалами для электродов являются вольфрам и молибден с температурами плавления  $3422^{\circ}\text{C}$  и  $2620^{\circ}\text{C}$  соответственно. Однако они также являются химически активными в расплавных рабочих средах при плавильных агрегатах.

Кроме того, вольфрам и молибден являются весьма недешевыми материалами. Современная цена композитных материалов на их основе на российском рынке варьируется примерно от 5000 до 9500 руб./кг. При их высокой плотности вес, и, соответственно, стоимость промышленного электрода будут существенными.

Основные металлические электродные материалы имеют много проблем и сложностей в использовании при работе в химически активных средах. Благодаря своим техническим характеристикам, физическим и химическим свойствам, стержневые графитовые электроды являются наиболее распространенными в плазменно-дуговых плавильных агрегатах для получения волокнистых теплоизоляционных материалов. Данный тип электродов используется в электромагнитном технологическом плазменно-дуговом реакторе, схема которого представлена на рис. 1 [1].

Основной узел данного реактора состоит из водоохлаждаемых стенок, крышки и днища. В крышке крепится один центральный и три рабочих стержневых графитовых электрода. Рабочие электроды установлены под углом  $120^{\circ}$  от-

носительно друг друга и наклонены под углом 5–7 градусов. Такое их расположение обеспечивает равномерный конический износ концов электродов в расплаве и дает возможность непосредственного контроля месторасположения горения дуги. Центральный электрод подключен к дополнительному источнику питания, при его поднятии ток протекает по следующей цепи: дополнительный источник питания – расплав – летка. Возможность регулирования тока в этой цепи обеспечивает регулирование температуры нагрева летки и вытекающей из летки струи расплава, стабилизирует текучесть и вязкость струи расплава, и работу устройства в целом. В процессе плавки центральный электрод закрывает отверстие вывода расплава.

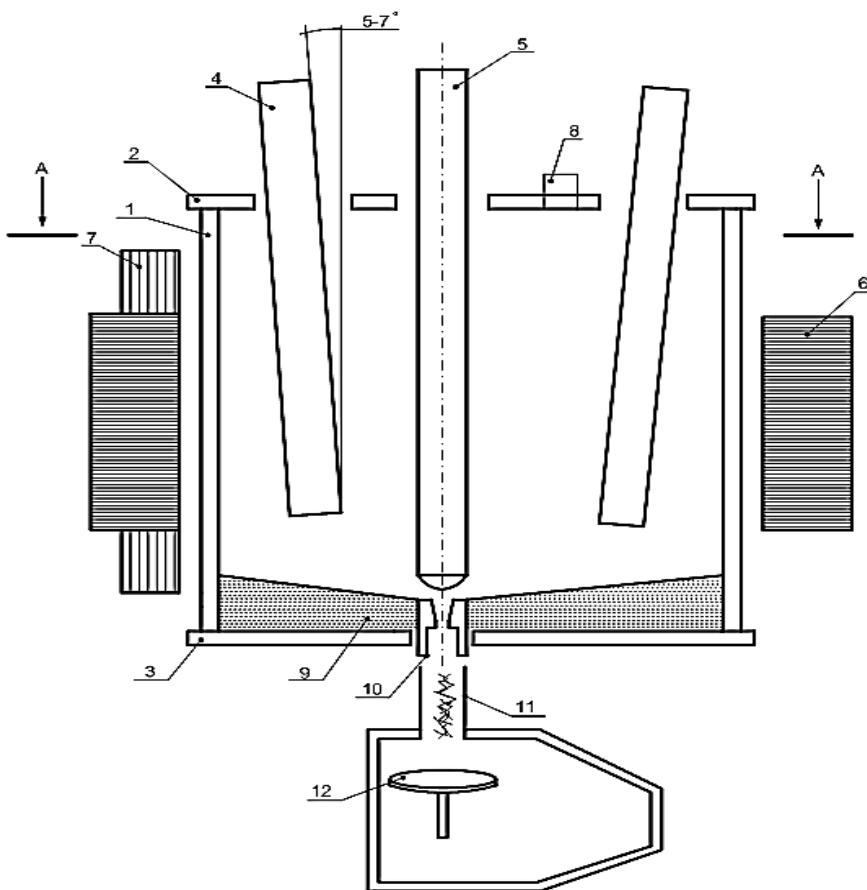


Рис. 1. Схема электромагнитного технологического плазменно-дугового реактора для получения теплоизоляционного волокна: 1 – водоохлаждаемые стенки; 2 – водоохлаждаемая крышка; 3 – днище; 4 – графитовые стержневые электроды; 5 – центральный электрод; 6 – полюсные наконечники; 7 – обмотки; 8 – патрубок для ввода сырья; 9 – футеровочное основание реакционной камеры; 10 – летка; 11 – лоток; 12 – вращающийся диск

Для гомогенизации расплава используется электромагнитная сила, созданная серийными обмотками. Под реактором расположен узел раздува минеральной ваты, предназначенный для формирования течения расплава из реактора, который вытекает по лотку для транспортировки расплава на рабочую поверхность вращающегося диска и вытягивания из нее минеральных волокон с последующей подачей волокна в камеру осаждения.

Графитовые электроды имеют небольшой удельный вес (1,55–2,00 г/см<sup>3</sup>), что делает транспортировку более дешевой, а эксплуатацию более простой. Также они имеют низкую стоимость (от 50 до 200 руб./кг). Для нужд компактных плазменно-дуговых установок могут использоваться бой или огарки графитовых электродов, которые можно приобрести в среднем за 25 руб./кг и в последующем провести их простейшую обработку на металлорежущем станке.

Отсюда вытекает следующее преимущество графита – простота и легкость механической обработки, так как у графита невысокая, но вполне достаточная твердость и прочность.

Отдельно стоит отметить химическую стойкость графита. В кислотах не растворяется. При нагревании до рабочих температур в печах сохраняет химическую стойкость и на сегодня является лучшим по этому показателю с учетом его низкой стоимости.

Электроды из графита в наибольшей мере удовлетворяют всем требованиям при производстве теплоизоляционного волокна. Но они также имеют свои недостатки. Эрозионный износ – это основная проблема электродов из данного материала. Интенсивная эрозия электродных материалов при плавке шихты добавляет в расплав нежелательные примеси, которые способны в худшую сторону менять свойства конечного продукта.

Проблема эрозионного износа электродов представляется на данный момент весьма актуальной. Дальнейшие исследования в этой области могут дать ощутимый результат в эффективности применения электродуговых плавильных агрегатах при производстве теплоизоляционного волокна.

### ***Список литературы***

1. Пашинский С.Г. Электромагнитный технологический реактор / С.Г. Пашинский [и др.] // Патент RU 2432719. – Улан-Удэ. – 2012.