

# НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ВАКУУМНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ ТОРГОВОЙ МАРКИ «ОТТОМ»

Основным элементом конструкции вакуумных электропечей является нагревательный модуль. В каждом конкретном случае он должен обеспечить необходимую температуру, скорость нагрева и охлаждения, равномерность температуры в рабочем пространстве печи, газовыделение в определенных пределах, исключить взаимодействие различных материалов между собой при их нагреве и, конечно, быть энергоэффективным. Для облегчения выбора типа данного оборудования разработчики печей, известных под торговой маркой «ОТТОМ», представляют специалистам линейку и краткие характеристики нагревательных модулей.



## Авторы статьи

**В. М. Шулаев**, к. ф.-м. н., с. н. с.  
**А. П. Редкокаша**, к. т. н.  
**Д. А. Листопад**, к. т. н.

В англоязычной литературе распространено название hot zone — «горячая зона». Поэтому при разработке «горячей зоны» или нагревательного модуля для вакуумной термообработки весьма критично надлежащее проектирование и подбор высокотемпературных материалов. В связи с ростом требований к энергосбережению основные усилия по проектированию направлены на улучшение теплоизоляционных характеристик нагревательных модулей. Одновременно с этим решается задача повышения однородности температурного поля в рабочем пространстве нагревательного модуля, что необходимо для однородного разогрева садки и, следовательно, улучшения качества продукции.

## ■ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Большинство ранних конструкций вакуумных печей использовали подход цельнометаллической экранировки нагревательных модулей. Такой тип экранно-вакуумной теплоизоляции представляет собой набор взаимодуаленных друг от друга металлических листов. Промежутки между листами составляют приблизительно 5 мм. Как правило, первые два или три слоя изготавливаются из тугоплавких материалов (молибдена, тантала

или вольфрама — в зависимости от требуемой номинальной температуры) с последующими дополнительными слоями листовой нержавеющей стали. Специфическая особенность использования экранно-вакуумной теплоизоляции состоит в ее короблении. Одна из причин — взаимодействие внутреннего экрана с испаряющимся веществом нагреваемого изделия. Причем этот процесс идет неравномерно, что влияет на излучательные характеристики поверхности экрана в нагретом состоянии при высоких температурах. Поэтому одна из причин неравномерности температур нагреваемых изделий является неконтролируемое изменение коэффициента излучения отдельных участков экранной теплоизоляции. Это явление обязательно приводит к разбросу свойств изделий в нагреваемой садке.

В качестве материала нагревательных элементов используют: молибден, тантал, вольфрам, нихром, фехраль. Эти материалы доступны в виде лент, широких полос или прутков (круга). Для электроизоляторов применяются различные виды высокотемпературной керамики. Существует много различных видов конструкций цельнометаллических нагревательных модулей. Такое многообразие конструктивных форм цельнометаллических нагревательных модулей обусловлено не улучшением их технических данных, а, в основном, стремлением обойти патенты конкурирующих между собой фирм. Нагревательный модуль цельнометаллической конструкции используют в вакуумных электропечах с номинальной температурой до 2000 °С. В таких электропечах основным материалом нагревателей является вольфрам. Чем выше температура,

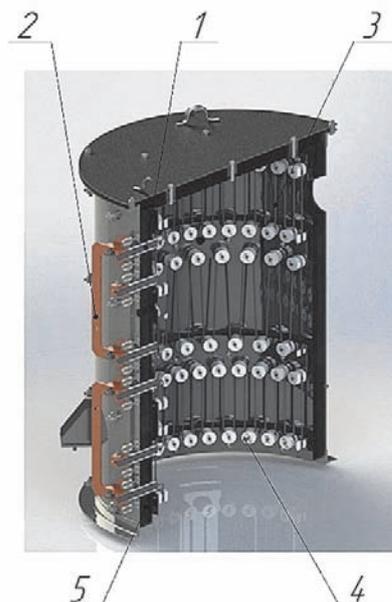
тем меньше срок службы нагревателей. Сокращение срока службы нагревателя происходит по многим причинам.

На рис. 1 в качестве примера приведено изображение цельнометаллической конструкции нагревательного модуля для элеваторной вакуумной электропечи. В такой электропечи садка загружается снизу.

В настоящее время нагревательные модули цельнометаллической конструкции

↓ Рис. 1. Цельнометаллический нагревательный модуль для элеваторной вакуумной электропечи:

- 1 — вывод нагревателя;
- 2 — шина соединения нагревателей;
- 3 — нагреватель;
- 4 — керамический электроизолятор;
- 5 — экранно-вакуумная теплоизоляция



используются достаточно широко в вакуумных электропечах несмотря на то, что по части энергозатрат они наименее эффективны. Это обусловлено тем, что по техническим условиям невозможно использовать наиболее прогрессивные нагревательные модули с графитовой теплоизоляцией и нагревателями. Это непрерываемая технологическая истина, например, в производстве авиадвигателей, когда требуются чрезвычайно чистые технологические системы, исключающие загрязнение термообрабатываемой продукции углеродом.

**■ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ**

Керамическая теплоизоляция хорошо зарекомендовала себя по части минимизации тепловых потерь. В большинстве случаев применяются изделия из керамики на основе системы  $Al_2O_3-SiO_2$ . Однако она, по причине пористости, характеризуется существенным недостатком по части поглощения паров воды при контакте с атмосферным воздухом. Поэтому для вакуумных электропечей применяют керамические материалы с плотностью 93–95% от теоретической. Полагается, что в этом случае будет наименьшее газовыделение при нагреве в вакууме. Поры, как правило, в этих материалах закрытые, и не происходит заметного насыщения парами воды при контакте с атмосферой, а следовательно, и последующего заметного газовыделения при нагреве в вакууме.

Такой тип теплоизоляции получил широкое распространение в бывшем СССР и за рубежом. Было выпущено несколько тысяч отечественных вакуумных элеваторных электропечей серии СЭВФ-3.3/11,5 и СЭВФ-5.5/11,5 с керамической теплоизоляцией на основе корундовой керамики ( $Al_2O_3 > 95\%$ ) или легковесного шамота. Указанные керамические материалы в качестве теплоизоляции хорошо себя зарекомендовали при эксплуатации вакуумных электропечей с рабочей температурой ниже 1150 °С (рис. 2).

Металлические нагреватели — на основе хромоникелевых сплавов сопротивления. Основные виды профилей: лента, пруток, лист. Однако наибольшее распро-

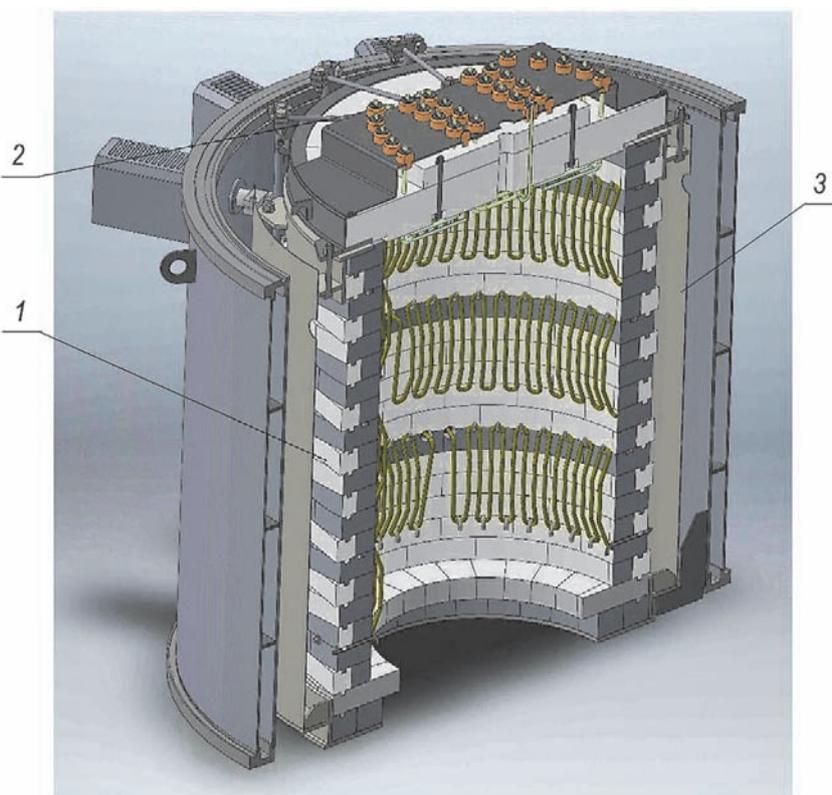


странение получили зигзагообразные нагреватели из прутка, которые размещаются с помощью крючков из того же материала, что и нагреватель. Крючки закрепляются в керамической футеровке (см. рис. 2).

**■ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ И НАГРЕВАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Такие нагревательные модули получают все большее распространение в современ-

ных вакуумных электропечах с номинальной температурой от 1200 до 2200 °С. Это обусловлено широким разнообразием марок углеродных материалов — промышленных графитов. Они обладают высокой термической стабильностью, высокой электропроводностью, приемлемой механической прочностью. Они могут быть химически чистыми и способными противостоять как агрессивным средам, так и тепловым ударам. Кроме того, они обладают низкой смазываемостью и высокими трибологически-



➔ **Рис. 2. Нагревательный модуль с керамической теплоизоляцией для элеваторной вакуумной электропечи:**  
 1 — фрагмент корпуса вакуумной камеры;  
 2 — токовод;  
 3 — нагревательный модуль, состоящий из футеровки (цилиндрическая часть) и свода (верхняя часть)

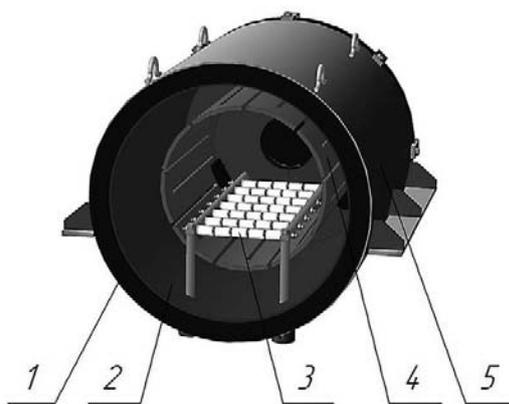
ми свойствами. На основе углерода также созданы отличные теплоизоляционные материалы. Самыми высокими механическими свойствами при температурах выше 1300 °С в вакууме обладают углерод-углеродные композиционные материалы на основе высокопрочных углеродных волокон.

Основная доля производимых в настоящее время нагревательных модулей содержит промышленные графиты в виде листов, фетра и пластин широкого диапазона толщин в различных сочетаниях. Подобные сочетания дают возможность широкого выбора оптимальных решений проектируемых вакуумных электропечей.

Одна из наиболее распространенных комбинаций углеродных материалов в нагревательном модуле включает листовую графитовую фольгу (ламинированный графит) с чередующимися слоями графитового фетра переменной толщины. Подобная комбинация в наибольшей степени распространена в печах, в которых производится закалка при высоких давлениях.

На рис. 3 приведен пример нагревательного модуля с теплоизоляцией и нагревателями на основе углеродных материалов.

Нагревательный модуль (рис. 3) выполнен из графитовых материалов с различными свойствами. Нагреватель (4) и цилиндр, выполняющий функцию огнеупорного



← Рис. 3. Нагревательный модуль с теплоизоляцией и нагревателями на основе углеродных материалов:  
 1 — теплоизоляционный слой футеровки;  
 2 — огнеупорный слой футеровки;  
 3 — стол под установку садки;  
 4 — нагреватель;  
 5 — корпус

слоя (2) изготовлены из углекомпозитного материала. Цилиндр обмотан несколькими слоями графитового войлока, которые являются теплоизоляционным слоем футеровки (1). Схожим образом выполнена футеровка и торцевых стенок нагревательного модуля. Корпус нагревательного модуля (5) изготовлен из нержавеющей стали и имеет цилиндрическую форму. Тылный торец корпуса закрыт диском, также выполненным из нержавеющей стали. Между собой футеровки цилиндрической части и торцевой плотно прилегают. В центре торцевой стенки имеется отверстие, закрытое с определенным зазором футерованной проб-

кой. Зазор исключает потери тепла в виде излучения в объем вакуумной камеры, сохраняя возможность откачки рабочего пространства нагревательного модуля. Внутри нагревательного модуля имеется стол для установки садки. Стол выполнен из углерод-углеродного композиционного материала. Опорная решетка закрыта керамической трубкой. Передняя торцевая стенка нагревательного модуля расположена на двери (загрузочном проеме) камеры нагрева. Закрытое положение двери обеспечивает плотное прилегание контактных мест футеровок цилиндрической и торцевой части нагревательного модуля. ☞

# ВЫСТАВКА

# ЭЛЕКТРОНИКА

# ЭНЕРГЕТИКА




## 10-12 СЕНТЯБРЯ

### ОДЕССА МОРВОКЗАЛ

ОРГАНИЗАТОР  
 Центр выставочных технологий  
 Тел.: (0482) 359 992  
 E-mail: elektro@expo-odessa.com  
 www.expo-odessa.com

Партнер  
 Международной выставки  
**ЭЛЕКТРОНИКА**  
 Специальный партнер  
**ЭЛЕКТРО**  
 Международной выставки  
**ЭЛЕКТРОНИКА**  
 Международная выставка  
**ЭЛЕКТРОНИКА**  
 Интернет-партнер  
**eltec.ru**