

ЭЛЕКТРОПЕЧЬ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Вакуумная термическая обработка деталей типа «Лопатка турбины» из жаропрочных сплавов с покрытиями является экономически выгодной в силу улучшения их эксплуатационных характеристик. Одним из факторов, снижающим затраты на термическую обработку, является применение экономичного вакуумного печного оборудования.



Авторы статьи

В.М. Шулаев, к. ф.-м. н., с. н.с

А.П. Редкокаша, к. т.н.

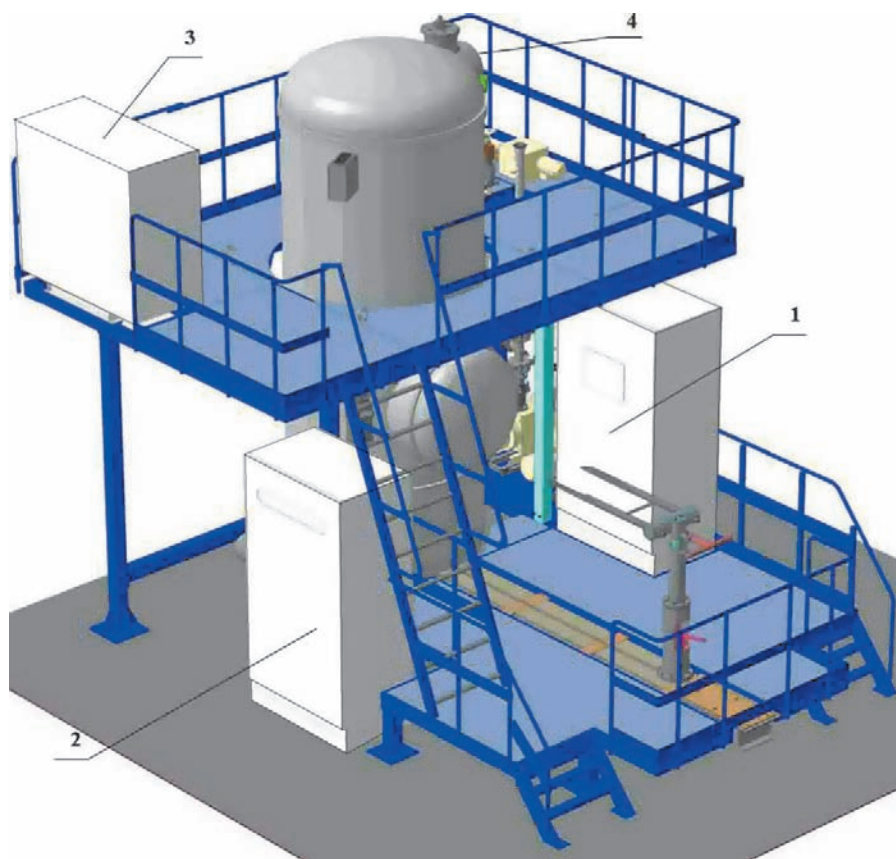
Д.А. Листопад, к. т.н.



Экономичность оборудования определяется двумя факторами. Первый связан с закупочной ценой, второй — с применением энергосберегающей технологии. Цель данной работы — разработка новой вакуумной печи с самой низкой закупочной ценой из всех имеющихся на рынке. Энергосберегающий режим работы печи достигается за счет ее полной автоматизации.

Для решения таких задач разработана и изготовлена новая вакуумная элеваторная печь модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ (далее по тексту — Печь). Она предназначена для термической обработки в вакууме различных деталей с покрытиями типа «Лопатка турбины» из жаропрочных сплавов при температурах до 1300 °С.

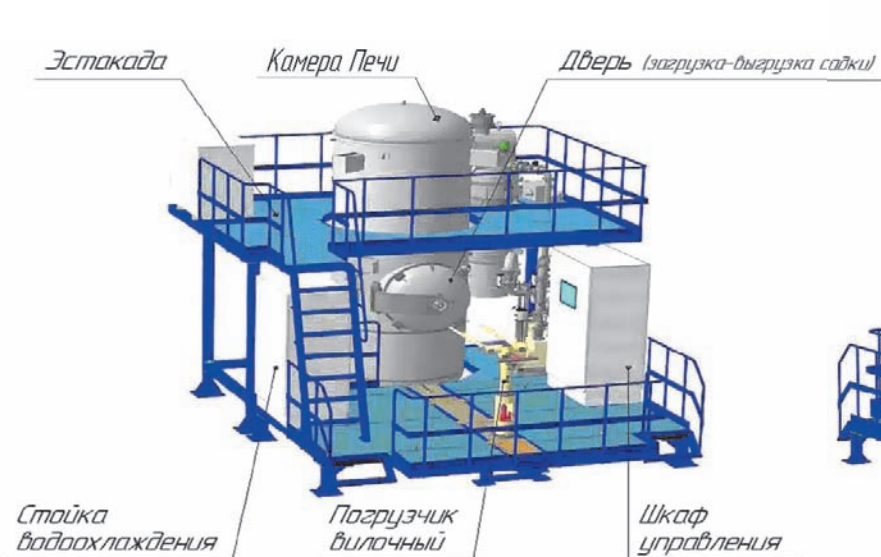
Печь представляет собой двухуровневую конструкцию. Первым уровнем Печи является нижняя площадка эстакады. На нижней площадке эстакады установлены шкаф управления, стойка водоохлаждения, вилочный погрузчик и форвакуумные насосы. Здесь же оператор производит загрузку-выгрузку садки вилочным погрузчиком и управление работой Печи. Вторым уровнем Печи является верхняя площадка эстакады. На ней установлен печной трансформатор и часть вакуумной системы на четырех винтовых опорах. С верхней площадки оператор проверяет состояние контактов силовых кабелей; обслуживает термодпары, предохранительный клапан и вакуумный затвор. Общий вид Печи показан на рис. 1–3.



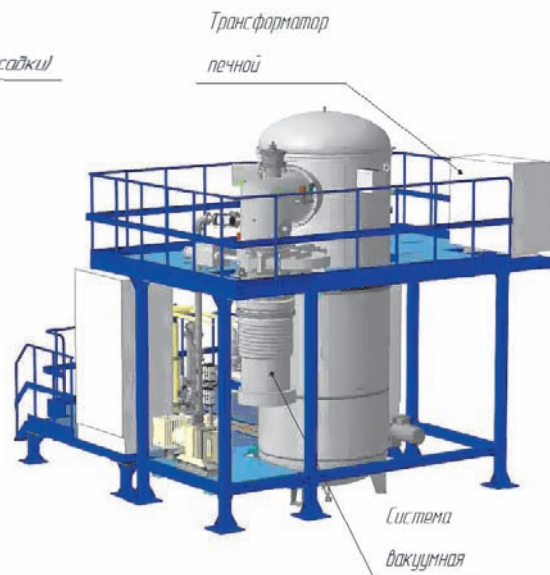
➤ Рис. 1. Общий вид вакуумной элеваторной электропечи модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ:
1 — лицевая стенка шкафа электропитания и управления; 2 — стенка шкафа водяного охлаждения; 3 — печной трансформатор; 4 — трубопровод откачной системы

Буквенно-цифровое обозначение Печи — СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ:

С — вид нагрева — сопротивлением; Э — основной конструктивный признак — элеваторная; В — среда в рабочем пространстве — вакуум; Э — тип теплоизоляции — экранная; 5 — диаметр рабочего пространства, дм; 5 — высота рабочего пространства, дм; 13 — номинальная температура, °С, условно уменьшенная в 100 раз; И — исполнение; В — охлаждение деталей в вакууме; ОТТОМ — наименование торговой марки



➤ Рис. 2. Фронтальный вид вакуумной элеваторной электропечи сопротивления модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ



➤ Рис. 3. Тыльный вид вакуумной элеваторной электропечи сопротивления модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ

Печь включает в себя следующие составные части:

- ♦ камера Печи;
- ♦ эстакада;
- ♦ система вакуумная;
- ♦ система водоохлаждения;
- ♦ стойка водоохлаждения;
- ♦ погрузчик вилочный;
- ♦ шкаф управления;
- ♦ трансформатор печной.

■ КАМЕРА ПЕЧИ

Обеспечивает возможность термической обработки деталей в вакууме.

В состав камеры Печи входит камера нагрева, модуль нагрева, камера охлаждения, механизм перемещения садки, стол-пробка, шторка.

Камера Печи ограничивает пространство, в котором осуществляется электротермический процесс. Она состоит из камеры нагрева, камеры охлаждения и крышки. Камера Печи разделена шторкой на две функциональные зоны: зону нагрева и зону охлаждения. Камера нагрева, камера охлаждения, крышка и дверь изготовлены из листовой стали и имеют две стенки для охлаждения водой. Они соединяются между собой фланцами с резиновыми уплотнительными прокладками. Температурный режим в рабочем пространстве камеры охлаждения не регулируется. Охлаждение садки осуществляется излучением на холодные стенки камеры. Камера нагрева содержит токовводы для электропитания модуля нагрева и ввод термпары для контро-

ля температуры в рабочем пространстве Печи. Механизм перемещения садки предназначен для ее транспортирования из камеры охлаждения в рабочее пространство Печи и обратно.

Каретка движается по двум направляющим, которые закреплены на кронштейнах к внутренней стороне камеры охлаждения. Точность положения каретки с садкой в модуле нагрева или в зоне охлаждения (зона загрузки-выгрузки) обеспечивается датчиками положения каретки. На каретке устанавливается стол-пробка и обрабатываемое изделие. Ручное управление механизмом перемещения садки осуществляется с кнопочного поста, расположенного на камере охлаждения.

Шторка — раздвижной тепловой экран, перекрывающий люк модуля нагрева во время нахождения садки в камере охлаждения. Шторка состоит из двух половинок. Каждая шторка имеет экранную теплоизоляцию, состоящую из семи экранов. Экраны, расположенные ближе к садке, выполнены из молибдена, остальные — нержавеющей сталь. Датчики положения шторок обеспечивают точное расположение шторок «открыто-закрыто». Ручное управление шторкой осуществляется с кнопочного поста, расположенного на камере охлаждения.

■ МОДУЛЬ НАГРЕВА

Печь имеет одну электрическую зону мощностью 80 кВт. Корпус модуля нагрева изготовлен из жаропрочной стали. Внутренняя поверхность модуля имеет тепло-

изоляцию, состоящую из семи экранов. Три экрана, расположенные ближе к садке, выполнены из молибдена, остальные — из жаропрочной стали. На штырях, выполненных из молибдена, через керамические шайбы навешен нагреватель, который изготовлен из молибденового прутка. Выводы нагревателя соединены жгутом медного провода (токоподводом) с медными водоохлаждаемыми токовводами камеры нагрева, изолированными от контакта с корпусом камеры Печи керамическими изоляторами. На боковой цилиндрической поверхности модуля нагрева имеется отверстие для установки термоэлектрического преобразователя (термопары).

На своде (крышке) модуля нагрева имеются строповые устройства — серьги для транспортирования модуля и его монтажа в камеру Печи. Модуль нагрева своими лапами устанавливается на кронштейны камеры нагрева.

При перемещении садки в зону нагрева шторка открывается, а при перемещении садки в зону охлаждения — закрывается автоматически.

■ СТОЛ-ПРОБКА

Для проведения термических процессов на каретку механизма перемещения садки устанавливается стол-пробка с садкой. Столешница, несущие стойки и четыре верхних экрана стола-пробки выполнены из молибдена. На столешнице закреплены керамические трубки. Керамика предохраняет термообрабатываемые

Основные параметры и размеры вакуумной элеваторной электропечи сопротивления модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ

Наименование	Норма параметра	
	Номинальная	Допустимая
1. Установленная мощность Печи, кВт	130	138
2. Потребляемая мощность нагревателей, кВт*	80	88
3. Мощность холостого хода, кВт*	60	66
4. Номинальная температура, °С	1300	1350
5. Стабильность температуры Печи, °С	--	± 5
6. Равномерность температуры в рабочем пространстве при установившемся режиме в диапазоне от 500 °С до 1300 °С, °С*, не более	--	±10
7. Программирование и контроль режимов термообработки	обеспечивается системой автоматического регулирования	
8. Масса садки, кг, не более	200	
9. Число электрических (тепловых) зон	1	
10. Размеры рабочего пространства камеры нагрева, мм:		
— диаметр	500	
— высота	500	
11. Время транспортировки из зоны нагрева в зону охлаждения, с	---	10
12. Среда в рабочем пространстве:		
— при нагреве и выдержке	вакуум	
— при охлаждении	вакуум	
13. Остаточное давление в рабочем пространстве Печи в холодном и обезгаженном состоянии, не ниже, Па (Торр)*	--	$1,33 \cdot 10^{-3}$ ($1 \cdot 10^{-5}$)
14. Время вакуумирования, мин, не более	--	45
15. Параметры питающей сети:		
— напряжение, В;	380/220±10%	
— частота тока, Гц;	50±0,4	
— число фаз	3	
16. Параметры воды для охлаждения:		
— избыточное давление в питающей магистрали, кПа	300	400
— температура на входе, °С	20	25
— расход охлаждающей воды, м ³ /ч*	4,5	5
17. Полный установленный срок службы Печи (до списания), лет, не менее	8	
18. Маса Печи, кг, не более	9500	
19. Габаритные размеры Печи, мм, не более:		
— длина	5300	
— ширина	3920	
— высота	4200	

Примечание 1. Расход воды для охлаждения приведен при температуре на входе 20 °С и температуре на выходе 40 °С.

Примечание 2. Параметры технологического процесса (нагрев, выдержка и охлаждение) определяются предприятием-потребителем (или организацией-разработчиком конкретного технологического процесса).

Примечание 3. Показатели и нормы качества электрической энергии по ГОСТ 13109–97.

Примечание 4. Параметры, отмеченные (*), определяются в процессе пусконаладочных работ.

детали от спекания с молибденом. Стол-пробка имеет захваты для удержания его на вилках погрузчика.

■ ПОГРУЗЧИК ВИЛОЧНЫЙ

Предназначен для загрузки-выгрузки изделий в Печь.

Технические характеристики:

- ♦ вертикальное перемещение вилок осуществляется гидродомкратом с ручным приводом, расположенным в стойке тележки;

- ♦ горизонтальное перемещение погрузчика по рельсовому пути осуществляется вручную;

- ♦ грузоподъемность — 200 кг.

■ ЭСТАКАДА

Предназначена для разводки коммуникаций, удобства обслуживания верхней части вакуумной камеры, обслуживания короткой силовой части, тоководов и верхней термопары, которые установлены на высоте более 2,0 м от уровня пола. В настоящее

время эстакада — это необходимый элемент конструкции современной вакуумной электропечи. Она устанавливается в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей. Вся конструкция эстакады служит для удобства и безопасности обслуживания Электропечи оперативным персоналом.

В целях удобства выполнения монтажа и возможности транспортирования эстакада изготовлена из конструктивных частей, позволяющих выполнить сборку на месте экс-

плутации. Под верхней площадкой эстакады проложены силовые кабели. С боку нижней площадки эстакады (в коробе) проложены монтажные провода к шкафу управления. Под нижней площадкой эстакады проложены шланги системы водоохлаждения.

■ СИСТЕМА ВАКУУМНАЯ

Обеспечивает необходимое рабочее разряжение в камере Печи до необходимого остаточного давления.

■ СИСТЕМА ВОДООХЛАЖДЕНИЯ

Система водоохлаждения включает в себя стойку водоохлаждения, коммуникации подвода и слива воды. Стойка водоохлаждения предназначена для централизованной подачи воды на элементы Печи, требующие охлаждения в процессе работы. Стойка позволяет регулировать расход воды по каждому каналу охлаждения. Расход контролируется с помощью расходомеров и индицируется на панели оператора, кроме того, осуществляется контроль температуры воды в каждом канале собственным термометром. Конструктивно стойка выполнена в шкафу. От стойки водоохлаждения вода подается по шлангам к элементам охлаждения Печи. Подача воды должна осуществляться от насосной станции оборотного водоснабжения с отводом ее в сливной коллектор. На случай аварийной остановки станции в системе водоохлаждения должна быть предусмотрена врезка сетевой водопроводной воды с возвратом в промышленный сантехнический коллектор здания. Краны аварийного перехода на другой вид водоснабжения Печи должны находиться в том же помещении, как можно ближе к месту ее расположения.

■ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

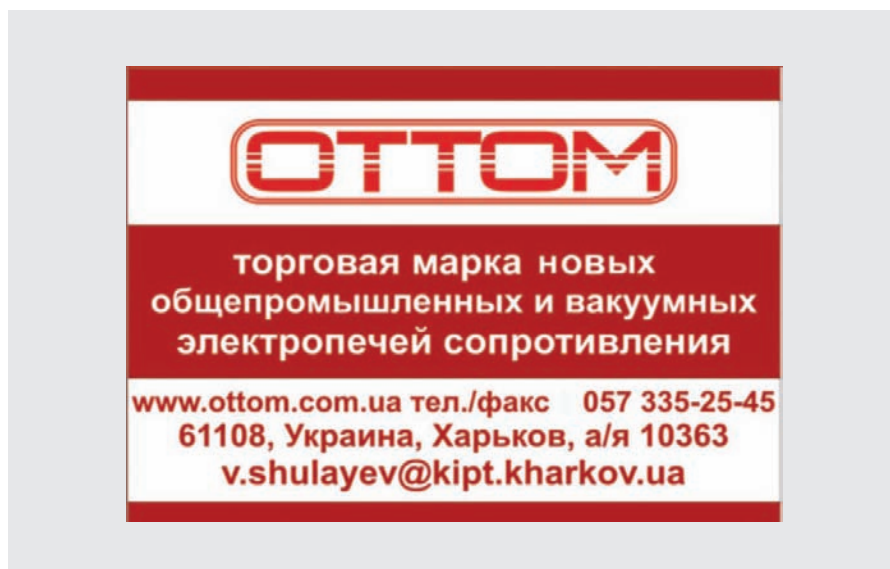
Обеспечивает ручной (наладочный) и автоматический режимы работы Печи, включая ее вакуумирование.

Система электропитания и управления включает в себя шкаф управления, печной трансформатор, персональный компьютер с принтером, датчики, преобразователи, соединительные провода и кабели.

■ РАБОТА ПЕЧИ

Работа Печи заключается в выполнении следующих операций:

- ♦ загрузка садки (изделий) в рабочее пространство камеры нагрева;
- ♦ герметизация камеры Печи (закрытие двери);
- ♦ вакуумирование рабочего пространства камеры Печи;
- ♦ нагрев садки в вакууме до заданной температуры;



- ♦ охлаждение садки в вакууме до заданной температуры;
- ♦ разгерметизация Печи;
- ♦ выгрузка садки.

Контроллер, панель оператора и коммутационная аппаратура, установленные в шкафу управления, агрегаты, исполнительные механизмы, датчики и преобразователи, установленные на конструктивных элементах Печи, обеспечивают:

- ♦ ручное (наладочное) и автоматическое управление Печью;
- ♦ управление работой вакуумного оборудования Печи;
- ♦ автоматический выход нагревателей от холодного состояния до рабочего температурного режима в камере нагрева Печи;
- ♦ бесконтактное управление мощностью нагревателей с помощью тиристорного регулятора мощности;
- ♦ контроль вакуума в камере Печи и в вакуумной системе;
- ♦ контроль протока и температуры охлаждающей воды во всех водоохлаждаемых полостях и водяных магистралях;
- ♦ контроль реального и заданного значения температуры (в данный момент времени) при нагреве и охлаждении;
- ♦ контроль первичного тока на силовом понижающем трансформаторе;
- ♦ контроль обрыва термопары;
- ♦ контроль короткого замыкания термопары;
- ♦ контроль обрыва нагревателя Печи диффузионного насоса;
- ♦ автоматическое отключение электропитания нагревателей при возникновении аварийных ситуаций;
- ♦ управление перемещением садки в зону нагрева или охлаждения;

- ♦ управление напуском атмосферы;
- ♦ регистрацию показаний температуры и вакуума в электронном виде, на дисплее сенсорной панели оператора и на принтере ПК в виде графика или таблицы;
- ♦ световую индикацию;
- ♦ световую и звуковую сигнализацию предаварийных и аварийных состояний систем Печи.

Контрольно-измерительными, управляющими и сигнализирующими устройствами являются контроллер и панель оператора. Контроллер обеспечивает полное управление технологическим процессом термообработки деталей, включая вакуумирование Печи.

■ ВЫВОДЫ

Таким образом, новая вакуумная электродная электропечь сопротивления модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ полностью соответствует всем требованиям для проведения вакуумной термической обработки деталей с покрытиями типа «Лопатка турбины» из жаропрочных сплавов. По техническим решениям, принятым в конструкции печи, она соответствует всем современным стандартам по эргономике и безопасности для обслуживающего персонала. Несмотря на применение в печи высококачественных комплектующих, ее закупочная цена является самой низкой из всех представленных на рынке аналогов. Низкие эксплуатационные расходы, благодаря энергосберегающей конструкции нагревательного модуля и полной автоматизации, подтверждают экономическую выгоду, получаемую при эксплуатации вакуумной электродной электропечи модели СЭВЭ-5.5/13-ИВ-ОТТОМ. 