

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.356

ВЫСОКОВАКУУМНАЯ КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СНВ -10.12.7/14 ДЛЯ ПАЙКИ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.М. Шулаев, С.А. Круглов, Ф.М. Поляков
г. Харьков, НИЦ «Харьковский физико-технический институт»

В.Я. Савченко, В.С. Бараненко, Г.Д. Смелянский
В.М. Шулаев, С.А. Круглов, Ф.М. Поляков
г. Харьков, УкрНИИЭлектротерм

Описано устройство автоматизированной электропечи сопротивления для пайки реакторных материалов в вакууме до температур 1400°C. Производительность печи повышена в результате использования системы ускоренного охлаждения деталей в токе инертного газа. Неоднородность температуры находится в пределах $\pm 5^\circ\text{C}$ благодаря применению молибденовых нагревателей большой площади.

Введение. Опыт длительного применения вакуумной пайки в авиации и ракетной технике показал, что работоспособность паяных соединений в ряде случаев значительно выше, чем сварных [1]. Это обстоятельство дало толчок широкому использованию вакуумной пайки в технологии машиностроения при изготовлении ответственных изделий из жаропрочных и жаростойких материалов, эксплуатируемых при высоких температурах [2].

Этим способом можно соединять детали без расплавления основного металла, без нарушения геометрических размеров, в любом сочетании металлов. Паяное соединение формируется практически одновременно по всем поверхностям контакта, а не последовательно, как при сварке плавлением. Паяный шов высокого качества формируется капиллярными силами, возникающими в соединительном зазоре между паяными деталями, которые запирают припой в зазоре. В отличие от сварки плавлением, вакуумная пайка с предварительным нанесением припоя происходит без активного участия оператора и позволяет максимально автоматизировать технологический процесс.

За последние годы благодаря успехам материаловедения реакторных материалов в круг практически используемых конструк-

ционных материалов стали вовлекаться новые коррозионно-стойкие сплавы [3]. Оказалось, что для получения неразъемных соединений из этих материалов в конструкциях ядерных энергетических установок оптимальным технологическим способом является вакуумная пайка (табл.1). Поэтому предыдущий положительный практический опыт по вакуумной пайке, накопленный в других отраслях промышленности, оказался как нельзя кстати. Однако на сегодняшний день в государствах СНГ отсутствует производство соответствующего промышленного оборудования для данного типа технологии. В связи с этим разработка и выпуск электропечей сопротивления для пайки в вакууме деталей ядерных энергетических установок является актуальной задачей.

В работе дано описание такой печи, разработанной совместно СКВ НИЦ ХФТИ с «УкрНИИЭлектротерм». Первый экземпляр печи изготовлен в первом полугодии 2001 г. опытным производством НИЦ ХФТИ. При разработке печи были учтены основные тенденции развития современного вакуумного печестроения: полная автоматизация; обеспеченность системой механизированной загрузки, выгрузки и транспортировки деталей; наличие системы ускоренного охлаждения деталей в токе инертного

Применение вакуумной пайки при изготовлении деталей ядерных энергетических установок [3]

Характеристика паяного соединения	Наименование узлов	Преимущество перед сваркой	Область применения
Труба в трубной доске	теплообменники, сепараторы, электронагреватели, гермоводы	возможность соединения малых (до 0,1 мм) толщин, повышение надежности соединений	изготовление парогенераторов АЭС на быстрых нейтронах, теплообменной и электронагревательной аппаратуры
Сотовые конструкции	теплообменники, хранилища жидких отходов	сварка невозможна	производство теплообменников
Кольцевые стыки труб	трубопроводы, в том числе композитные стыки и биметаллические трубопроводы	выполнение соединений труб с толщиной стенки от 0,1 до 100 мм в неповоротном положении за один нагрев по режиму термообработки основного металла	соединение труб в монтажных и заводских условиях
Трубки с ребрами	теплообменники с оребренными трубками	возможность соединения элементов с толщиной стенки до 0,1 мм, экономия металлов, снижение тепловых потерь	изготовление теплообменников с оребренными трубками
Плакировка	биметаллические корпуса оборудования АЭС, биметаллические трубопроводы	нанесение антикоррозионного слоя без его плавления за один нагрев, повышение надежности и производительности труда	изготовление биметаллических сосудов, работающих под давлением

газа; применение нагревателей большой площади; отличная герметичность и высокая скорость достижения рабочего вакуума.

Устройство печи



Рис. 1. Общий вид печи

Общий вид печи представлен на рис. 1. Схема конструкции печи представлена на рис. 2. Основные элементы конструкции:

камера нагревательная (1); система вакуумная (2); система ускоренного охлаждения садки (3); система водоохлаждения (4); система механизированной загрузки, выгрузки транспортировки деталей (5); система управления нагревом и механизмами печи (6). Камера нагревательная (1) в свою очередь, состоит из кожуха крышки с механизмом отката, модуля нагревательного и печного трансформатора.

Кожух и крышка камеры представляют собой сосуды с двойными стенками, охлаждаемые водой и выполнены они из нержавеющей стали. В кожухе камеры имеются патрубки для подсоединения к вакуумной системе и системе ускоренного охлаждения садки в токе инертного газа, арматура выводов электронагревателей термонапар. Механизм отката крышки представляет собой монорельс, к кареткам которого подвешивается крышка. Перемещение крышки производится вручную.

В состав камеры также входит нагревательный модуль, который состоит из корпу-

са, задней и передней крышек, экранной изоляции, электронагревателей, опор под установку садки.

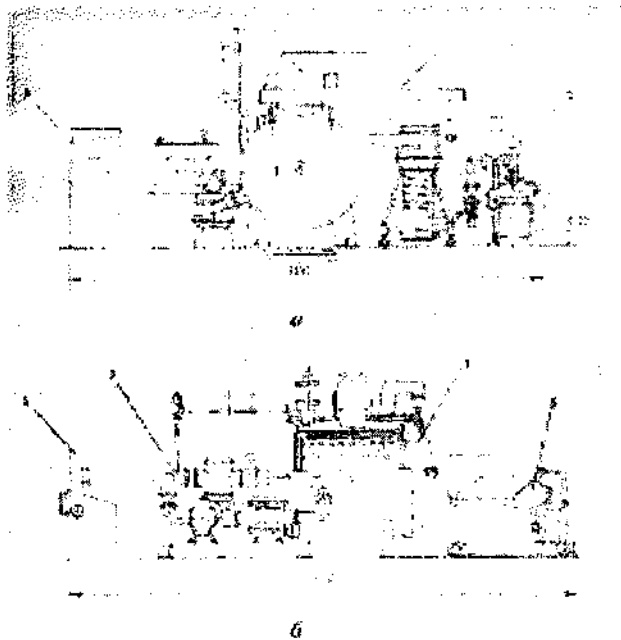


Рис. 2. Схема вакуумной печи электросопротивления

Экранная изоляция состоит из шести рядов экранов. Четыре ряда (внутренние) выполнены из листового молибдена в виде отдельных карточек, что уменьшает их коробление при нагреве и охлаждении. Два ряда наружных экранов изготовлены из листовой нержавеющей стали. Экраны смонтированы внутри нагревательного модуля с помощью молибденовых стержней. Электронагреватели выполнены из молибденовой полосы в виде 12 колец, расположенных вдоль оси нагревательного модуля (рис.3).

Электронагреватели запитаны из специального печного трансформатора, который установлен на кожухе камеры.

Вакуумная система (2) состоит из двух форвакуумных насосов, двухроторного насоса Рутса и высоковакуумного паромасляного агрегата, а также запорной арматуры, вакуум-проводов, мановакуумметров и датчиков контроля вакуума.

Система ускоренного охлаждения садки (3) состоит из компрессора, водоохлаждаемых теплообменников, запорной арматуры и трубопроводов, охлаждающих газ аргон.

Система водоохлаждения (4) состоит из двух панелей, напорных и сливных трубопроводов. На сливном коллекторе каждой панели охлаждения имеются реле контроля протока жидкости для каждого водоохлаждающего элемента, а для наиболее ответственных элементов дополнительно установлены датчики контроля температуры воды на сливе.



Рис. 3. Электронагреватели из молибдена.

Система загрузки, выгрузки и транспортировки деталей состоит из тележки с подъемным механизмом, которая горизонтально перемещается по рельсовому пути вручную (5).

Вертикальное перемещение грузочной рамы тележки осуществляется гидродомкратом с ручным приводом.

Система управления предусматривает:

- автоматический вывод молибденовых нагревателей на рабочий режим;
- измерение и автоматическое программное регулирование температурного режима электропечи;
- управление элементами вакуумно-газовой системы;
- контроль вакуумметрического давления;
- технологическую и аварийную звуковую и световую сигнализацию;
- систему блокировок, исключающую последствия неправильных действий обслуживающего персонала, обеспечивающую требования безопасной эксплуатации электропечи и предотвращающую возникновение аварийных ситуаций.

Для выполнения вышеуказанных функций предусмотрены два шкафа управления, установка пускателя и компьютерная стойка.

В шкафах управления размещена силовая аппаратура нагревателей и механизмов, приборы контроля вакуума и температуры элементов вакуумно-газовой системы, измерительные трансформаторы.

Регулирование напряжения на нагревателях осуществляется с помощью бесконтактного тиристорного пускателя.

Компьютерная стойка на базе промышленного компьютера является основой компьютерного управления электропечью и обеспечивает:

- контроль состояния элементов электропечи;

- автоматическое управление температурным режимом по выбранной программе, а также механизмами вакуумно-газовой системы;

- дистанционное управление в ручном наладочном режиме;

- визуализацию (мнемосхемы элементов технологического процесса, диагностика состояния аппаратов и механизмов, выдача сообщений о ходе технологического процесса, выдача аварийных сообщений, протоколирование режимов работы, задание программы работы электропечи и др.).

Техническая реализация системы управления произведена на базе модульного программируемого контроллера, Simatic S7-300 в составе программируемого контроллера, карты памяти, модулей дискретного ввода и вывода, модулей аналогового вывода, панели оператора, принтера.

Структура условного обозначения электропечи

С - нагрев сопротивления;

Н - камерная;

В - вакуумная (среда рабочего пространства);

10 ~ ширина рабочего пространства, дм;

12 - длина рабочего пространства, дм;

7 - высота рабочего пространства, дм;

14 – номинальная температура, сотни °С.

Таблица 2

Основные технические характеристики электропечи

Техническая характеристика	Значение
1. Установленная мощность, кВт, в том числе электронагревателей	275 200
2. Номинальная температура, °С	1400
3. Точность регулирования температуры, °С	±5
4. Неоднородность температуры в пределах рабочего пространства, °С	±5
5. Масса загружаемых деталей, кг, (не более)	380
6. Размеры рабочего пространства (по габаритам садки), мм: - ширина - длина - высота	1000 1200 700
7. Среда в рабочем пространстве: - при нагреве - при охлаждении	вакуум аргон
8. Параметры вакуума: - остаточное давление, Па (мм. рт. ст.) - время вакуумирования, мин	1,33·10 ⁻³ (10 ⁻⁵) 45
9. Параметры аргона: - абсолютное давление в рабочем пространстве, кПа (кгс/см ²) - объем рециркуляции в рабочем пространстве, м ³ /ч - расход на один цикл охлаждения, мин	110(1.1) 1300 12
10. Параметры воды для охлаждения: - абсолютное давление, кПа, (кгс/м ²) - температура на входе, °С - расход, м ³ /ч	300...400(3...4) 20...25 45
11. Параметры питающей электросети: - напряжение, В - частота тока, Гц - число фаз	380 или 415 50 3
12. Напряжение на электронагревателях, В	37
13. Масса электропечи (комплекса), т	18,55

Библиографический список

1. Инженерный справочник по космической технике /Под ред. А.В.Солодкова.– М.: Воениздат, 1977.
2. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов.– М.: Машиностроение, 1988.
3. Понимаш И.Д., Орлов А.В., Рыбин В.Б. Вакуумная пайка реакторных материалов. –М.: Энергоатомиздат, 1995.

HIGH-VACUUM CHAMBER-TYPE ELECTRIC RESISTIVE FURNACE OF PERIODIC ACTION CHB-10. 12.7/14 FOR REACTOR MATERIALS BRAZING

V.M.Shulayev, S.A.Kruglov, F.M.Polyakov,
V.Y.Savchenko*, V.S.Baranenko*, G.D.Smelyanskiy*
NSC «Kharkov Institute of Physics and Technoogy»
*UkrNIIElectrotherm, Ukraine

The structure of programmed electric resistive furnace for reactor materials brazing in vacuum at the temperatures up to 1400°C is described. The furnace productivity is increased due to usage of cartridge high-rate cooling system within the inert gas flow. The temperature non-uniformity is $\pm 5^\circ\text{C}$ due to usage of large-scale molybdenum heaters.

УДК 538.97; 539.12.04

ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ МАТЕРИАЛОВ

В.Н. Бондаренко, А.В. Гончаров, А.В. Зац, В.Я. Колот, В.М. Пистряк, В.И. Сухоставец
г. Харьков, Институт физики твердого тела, материаловедения и технологий ННЦ ХФТИ

В ННЦ ХФТИ исследования материалов с помощью ядерно-физических методов анализа (ЯФМА) проводятся более 30 лет. В настоящей работе рассмотрены некоторые примеры таких исследований, проведенных в последние годы. В этих исследованиях был использован ряд методик, которые, на наш взгляд, являются перспективными.

Для измерения концентрационных распределений (профилей) на глубины свыше 20 мкм предпочтительнее использовать ядерный микрозонд (ЯМЗ). При этом микропучок ускоренных протонов сканируется по поперечному срезу или излому исследуемого образца с некоторым шагом. В каждой точке измеряется спектр вторичного излучения, возникающего в веществе образца под действием протонного пучка. Как правило, регистрируются следующие типы излучения: характеристическое рентгеновское излучение (ХРИ), возбужденное протонами (метод PIXE); гамма-кванты из ядерных реакций на протонах (метод PIGE); быстрые заряженные частицы (упруго рассеянные протоны и продукты ядерных реакций).

Так, для исследования профилей распределения Cr и других элементов в покры-

тиях и переходных слоях хром-графит использовался ЯМЗ и метод PIXE [1]. Применялся пучок протонов размером $3 \times 5 \text{ мкм}^2$ и энергией 1 МэВ. Покрытие наносилось методом вакуумного диффузионного насыщения в присутствии активатора NaCl. На рис.1 приведено распределение ряда элементов по глубине образца. Видно, что распределение Cr имеет длинный (около 200 мкм) "хвост", который, по-видимому, связан с проникновением хлоридов хрома в открытые поры графита и образованием в них слоя карбида хрома, а также возможна диффузия хрома по порам графита. Измеренное содержание Cr в покрытии соответствует составу Cr₂C₃. Концентрационный профиль Fe в основном повторяет профиль Cr. Fe является примесью, попадающей в покрытие вместе с хромом. Содержание такой примеси, как Cl, в покрытии несколько выше, чем в графитовой подложке.

Для исследования профилей распределения F и Ta в газофазных покрытиях из фторидного вольфрама на W ЯМЗ использовался при энергии протонов 2,4 МэВ [2]. Концентрация фтора определялась ядерной реакцией $^{19}\text{F}(p,p'\gamma)$ с регистрацией гамма-квантов энергией 197 кэВ, а концентрация