

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВЫСОКОВАКУУМНАЯ КАМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СНВ - 10.12.7/14 ДЛЯ ПАЙКИ, ТЕРМООБРАБОТКИ, СПЕ- КАНИЯ И ДЕГАЗАЦИИ

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

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1, E-mail: v.shulayev@kipt.kharkov.ua
* «УкрНИИЭлектротерм», г. Харьков, Украина*

Описано улаштування автоматизованої електропечі опору для пайки, термообробки, сплавлення і дегазації різних металевих матеріалів у вакуумі до температур 1400°C. Продуктивність печі підвищена за рахунок використання системи прискореного охолодження садки в потоці інертного газу. Неоднорідність температури знаходиться в межах $\pm 5^\circ\text{C}$ завдяки застосуванню молібденових нагрівників великої площі.

Описано устройство автоматизированной электропечи сопротивления для пайки, термообработки, спекания и дегазации различных металлических материалов в вакууме до температур 1400°C. Производительность печи повышена за счет использования системы ускоренного охлаждения садки в токе инертного газа. Неоднородность температуры находится в пределах $\pm 5^\circ\text{C}$ благодаря применению молибденовых нагревателей большой площади.

The automated electric resistance furnace for soldering, heat treatment, sintering and degasification of different metallic materials in vacuum up to temperatures 1400°C is described. The productivity of furnace is heightened at the expense of using of system of accelerated cooling of setting in inert gas stream. The non-uniformity of temperature is $\pm 5^\circ\text{C}$ due to applying of molybdenum heaters of the large area.

Введение

Опыт длительного применения вакуумной пайки в авиации и ракетной технике показал, что работоспособность паянных 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 [2,3].

Этим способом можно соединять детали без расплавления основного металла, без нарушения геометрических размеров, в любом сочетании металлов. Паянное соединение формируется практически одновременно по всем поверхностям контакта, а не последовательно, как при сварке плавлением. Паяный шов высокого качества формируется вследствие капиллярных сил, возникающих 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.

Указанные достоинства технологии вакуумной пайки требуют учета некоторых факторов. Например, температурный цикл вакуумной пайки должен в максимальной степени соответствовать циклу термической обработки паяемых материалов. Поэтому данный тип печи полностью пригоден для осуще-

ствления процессов вакуумной термообработки (отпуск, отжиг, закалка) металлов и сплавов [4]. Это второе применение печи. Отметим, что и материал припоя также должен выбираться с учетом режимов термической обработки паяемых материалов.

Температурные режимы, используемые в описываемой печи, подходят и для спекания изделий на основе нелегированных и легированных железных порошков. В этой связи не существует никаких ограничений на применение печи для спекания металлических порошков [5]. Это третье целевое назначение.

Еще одна возможность использовать ресурс печи состоит в применении ее к процессам обезгаживания тугоплавких металлов. Например, вакуумный отжиг снижает содержание водорода в ответственных изделиях из титана и его сплавов до безопасного уровня [6]. Азот также удаляется из хрома при нагреве в вакууме [7]. Это основной на сегодняшний день способ очистки хрома от азота. При давлении остаточных газов не выше $4 \cdot 10^{-3}$ Па и температуре 1100°C концентрация азота в твердом хrome понижается до уровня 10^{-5} мас.%. Это четвертое технологическое применение печи. Поэтому печь данного типа можно отнести к группе вакуумных печей для пайки, термообработки, спекания и дегазации.

В работе дано описание такой печи, разработанной совместно СКБ ННЦ ХФТИ с «УкрНИИЭлек-

тротермом». Первый экземпляр печи изготовлен в первом полугодии 2001 г. опытным производством ННЦ ХФТИ. При разработке печи были учтены основные тенденции развития современного вакуумного печестроения: универсальность применения по числу различных технологических процессов; полная автоматизация; обеспеченность системой механизированной загрузки, выгрузки и транспортировки садки; наличие системы ускоренного охлаждения садки в токе инертного газа; применение нагревателей большой площади; отличная герметичность и высокая скорость достижения рабочего вакуума.

Устройство печи

Общий вид печи представлен на рис.1*. Схема конструкции печи приведена 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 садки (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 представляет 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 термопар. 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 корпуса, задней и передней крышек, экранной изоляции, электронагревателей, опор под установку садки.

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, мановакууметров и датчиков контроля вакуума.

Система ускоренного охлаждения садки (3) состоит из компрессора, водоохлаждаемых теплооб-

менников, запорной арматуры и трубопроводов, охлаждающий 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.

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

Вертикальное перемещение загрузочной 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.

* Все рисунки даны в Приложении.

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 садки, 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	$1,33 \cdot 10^{-3} (1 \cdot 10^{-5})$ 45
9. Параметры аргона: - абсолютное давление в рабочем пространстве, кПа (кгс/см ²) - объем рециркуляции в рабочем пространстве, м ³ - расход на один цикл охлаждения, м ³	110(1,1) 1300 12
10. Параметры воды для охлаждения: - абсолютное давление, кПа, (кгс/м ²) - температура на входе, °С - расход, м ³	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

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.

Литература

1. *Инженерный справочник по космической технике* / Под ред. А.В. Солодкова. М.: «Воениздат», 1977.
2. С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. *Пайка металлов*. М.: «Машиностроение», 1988.
3. И.Д. Понимаш, А.В. Орлов, В.Б. Рыбин. *Вакуумная пайка реакторных материалов*. М.: «Энергоатомиздат», 1995.
4. Э.Н. Мармер, С.Г. Мурованная. *Электропечи для термовакuumных процессов*. М.: «Энергия», 1977.

5. *Порошковая металлургия в СССР* / Под ред. И.М. Францевича и В.И. Трефилова // М.: «Наука», 1986.
6. Б.А.Колачев, В.В.Садков, В.Д.Талалаев и др. *Вакуумный отжиг титановых конструкций*. М.: «Машиностроение», 1991.
7. Г.Ф.Тихинский, Г.П.Ковтун, В.М.Ажажа. *Получение сверхчистых редких металлов*. М.: «Металлургия», 1986.

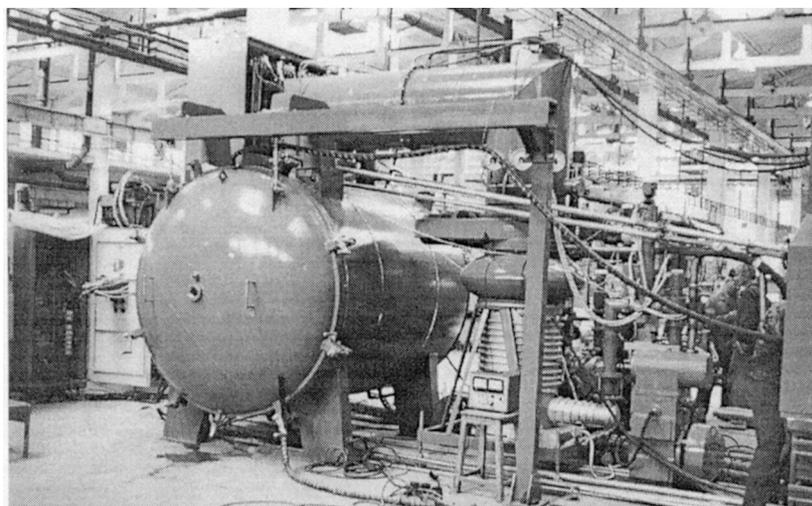


Рис.1 .Общий вид печи

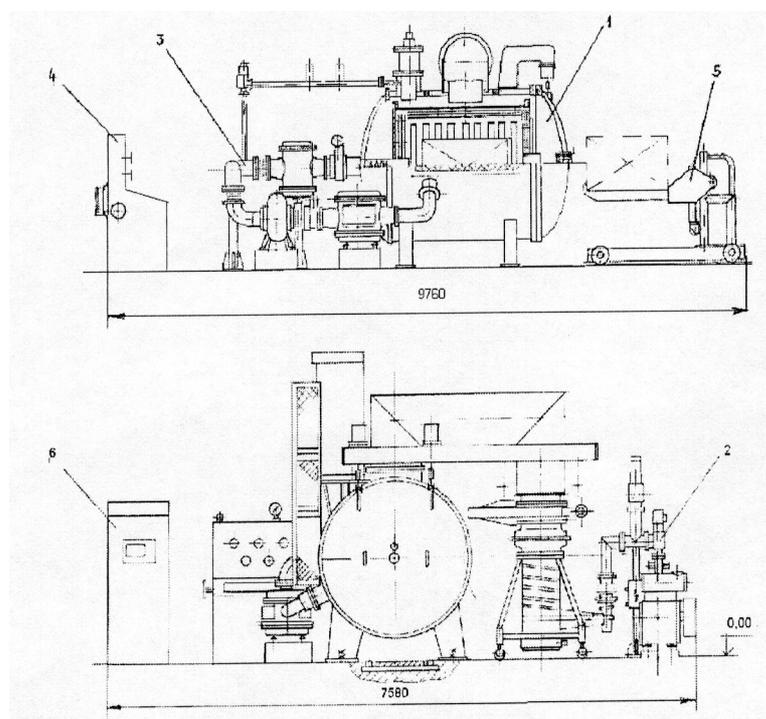


Рис.2.Схема вакуумной печи электросопротивления

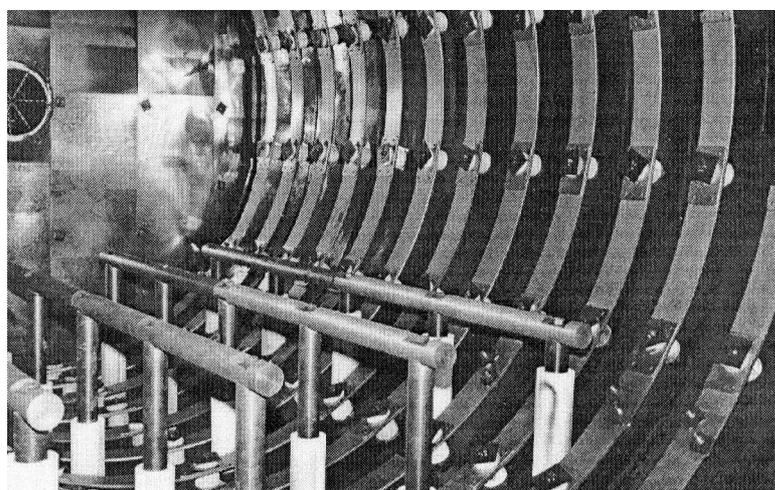


Рис.3. Электронагреватели из молибдена