

ПРОМЫШЛЕННАЯ ВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОПЕЧЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАРУСЕЛЬНО-ЭЛЕВАТОРНОГО ТИПА САВЭ-1,5.3/20-И1 ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

*В.М. Ажжажа, П.Н. Вьюгов, А.Р. Рябоконт, А.Ф. Семенцов,
В. М. Шулаев, С.Д. Лавриненко*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
г. Харьков, ул. Академическая, 1*

Описана перша із нової серії вакуумна електропіч опору карусельно-елеваторного типу. Піч призначена для проведення високотемпературних термічних процесів: спікання виробів із порошкових матеріалів, термообробки, пайки, дегазації, синтезу нових високотемпературних матеріалів. Розробка печі основана на принципі інтегрованої вакуумної технологічної схеми (кластерної печі) радіального типу, що дозволяє проводити процес в єдиному вакуумному циклі. Піч розроблена в Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут». Приведено найбільш важливі технічні характеристики та дано короткий опис конструкції печі.

Описана первая из новой серии вакуумная электропечь сопротивления карусельно-элеваторного типа. Печь предназначена для осуществления высокотемпературных термических процессов: спекания изделий из порошковых материалов, термообработки, пайки, дегазации, синтеза новых высокотемпературных материалов. Разработка печи построена на принципе интегрированной вакуумной технологической системы (кластерной печи) радиального типа, позволяющей проводить процесс в едином вакуумном цикле. Печь разработана в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт». Приведены наиболее важные технические характеристики и дано краткое описание конструкции печи.

The first from new series of round-charging elevator type vacuum electric furnace of resistance is described in this work. The furnace is destined to provide high temperature thermal processes: the baking of items of powder materials, heat treatment, soldering, degassing, synthesis of new high-temperature materials. The development of the furnace is based on the principle of radial type integrated vacuum technological system (cluster type) which allows to carry out the process in a single vacuum cycle. The furnace is developed at the National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology». The most important technical characteristics and a brief description of the furnace are given below.

Введение

Интегрированные вакуумные технологические системы или кластерные установки реализуют концепцию выполнения многоступенчатого технологического процесса в едином вакуумном цикле [1]. Использование данного подхода в вакуумном печестроении позволяет перейти к созданию автоматизированных установок, работающих в полунепрерывном или в непрерывном режимах [2]. Оба режима работы осуществляются без нарушения вакуума в нагревательной камере. Использование таких эксплуатационных режимов позволяет резко повысить производительность вакуумных печей, значительно повысить ресурс работы нагревательных элементов вследствие сокращения числа циклов нагрев-охлаждения, улучшить качество термообрабатываемых изделий в первую очередь из-за отсутствия контакта с воздушной атмосферой на всех этапах технологического передела. Печи данного типа при их сравнении с печами с защитными атмосферами являются энерго- и ресурсосберегающими. Применение таких печей позволяет улучшить условия труда и повысить экологическую безопасность [3].

Цель данной работы – ознакомить потенциальных потребителей вакуумных печей с технологическими возможностями и конструктивными особенностями печи САВЭ-1,5.3/20-И1, имеющей вышеуказанные признаки и преимущества.

Применение

Представляемая вакуумная печь предназначена для спекания изделий из порошковых материалов, термообработки, пайки, дегазации, синтеза новых высокотемпературных материалов.

По режиму работы печь относится к категории печей полунепрерывного действия [2], в которой загрузка и выгрузка садки осуществляется без нарушения вакуума в нагревательной камере.

В печи можно осуществлять технологические процессы при температурах до 2000°C в вакууме при давлениях до 10^{-3} Па. Некоторые параметры наиболее важных технологических процессов приведены в таблице.

Описание конструкции

Конструктивная схема печи приведена на рис. 1 (фронтальный вид) и рис. 2 (вид в плане).

Печь состоит из камеры шлюзования 1, вакуумной рабочей камеры 2, высокотемпературной печи 3, механизмов вертикальной транспортировки холодной и горячей садки 4, 5, карусели 6, стоек управления и питания 7, удерживающих штоков 8, вакуумного поста 9, площадки обслуживания 10.

Технологический процесс	Температура, °С	Давление, Па
Термообработка и спекание сплавов на основе никеля, а также магниевых сплавов Ne-Fe-B, Sm-Co	1100... 1300	$10^{-1}...10^{-2}$
Спекание железа и магнитных сплавов ЮНДК-12,5МК, ЮНДК-24Т1МК, ЮНДК-34Т5,5МК	1200- 1300	$10...10^{-2}$
Пайка деталей из стали, молибдена, вольфрама	1300	$10^{-1}...10^{-2}$
Пайка деталей ядерных реакторов и электронных аппаратов	1400	$10^{-1}...10^{-2}$
Спекание твердых сплавов и карбидосталей	1350... 1550	1...10
Термообработка и спекание тугоплавких металлов и их сплавов	1600... 2000	$10^{-1}...10^{-2}$
Термообработка фианитов и лейкосапфира	1700... 1900	$1...10^{-2}$
Спекание оксидной керамики	1700... 2000	$1...10^{-2}$
Спекание нитридной и карбидной керамики	1800... 2000	$1...10^{-2}$

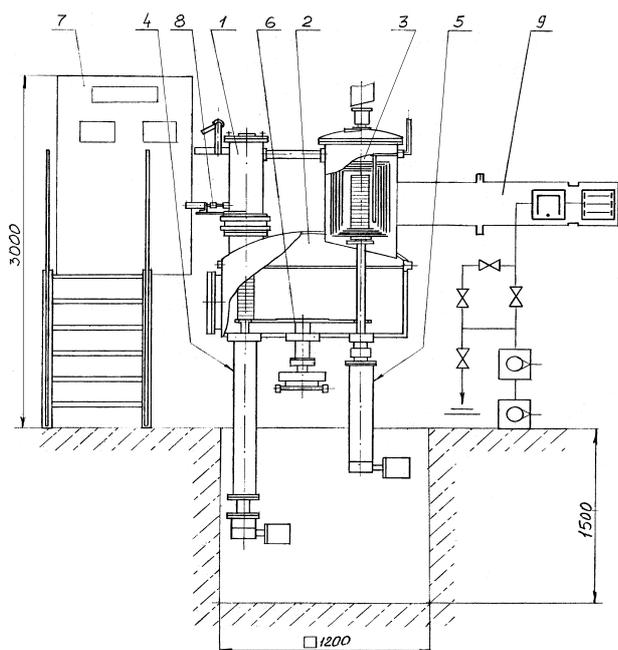


Рис.1. Конструктивная схема печи (фронтальный вид)

Вакуумная рабочая камера 2 с эллиптической крышкой и камера шлюзования 1 выполнена из нержавеющей стали с водяными рубашками охлаждения. Между этими камерами установлен затвор типа ЗВЭ-250. Камера шлюзования 1 оснащена тремя удерживающими штоками с пневмоцилиндрами 8. С их помощью холодная садка удерживается в шлюзовой камере при загрузке. В герметично закрытой камере шлюзования осуществляют первичное газоотделение из материала холодной садки. Частично обезгаженную садку механизмом транспортировки 4 перемещают из камеры шлюзования на карусель 6. Этим же механизмом садка после транспортировки возвращается обратно в шлюзовую камеру. Механизм транспортировки содержит электромеханический привод, вакуумный ввод вращения, ходовой винт с гайкой. Ход штока равен 1000 мм. Аналогично выполнен механизм транспортировки горячей садки 5 от карусели в нагревательную камеру 3 и возврата горячей садки на карусель для остывания. Карусель предназначена для одновременной установки шести садок и периодически перемещается между транспортирующими штоками.

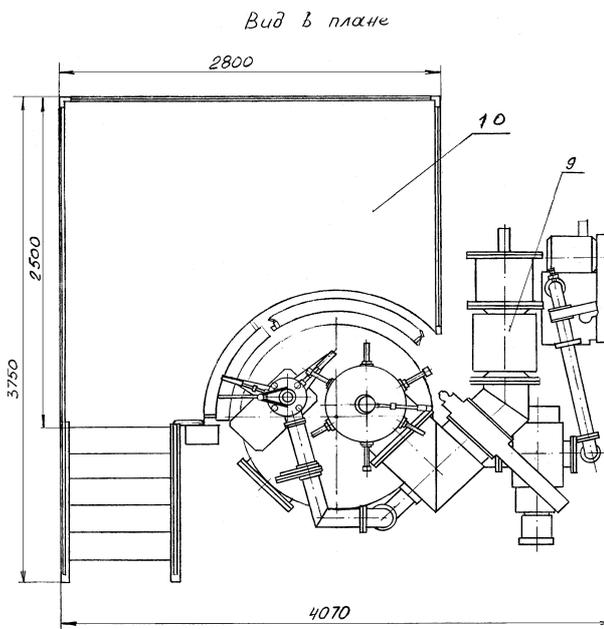


Рис.2. Конструктивная схема печи (вид в плане)

Высокотемпературная печь состоит из шести U-образных танталовых нагревательных элементов, укрепленных на горизонтальных водоохлаждаемых медных стержнях. Питание от печного трансформатора подводится с помощью водоохлаждаемых медных шин. Тепловая изоляция печи выполнена блоками боковых и торцевых экранов из танталового листа. На крышке нагревательной камеры установлены смотровые окна с поворотными шторками и визирная головка фотоэлектрического пирометра для регулирования и замера температуры печи.

Рабочее давление 10^{-4} Па в печи обеспечивается вакуумным постом 9. Состав поста: форвакуумный насос, двухроторный насос (типа Рутса), комбинированный агрегат из магниторазрядного и электродугового насосов. Электродуговой насос обеспечи-

вает эффективную откачку водорода, кислорода, азота со скоростями выше 10 000 л/с. Для данного класса печей такой тип насоса применяется впервые. Магнитоэлектрический насос хорошо откачивает инертные газы и легкие углеводороды, слабо откачиваемые электродуговым насосом.

Работа печи может производиться как в ручном, так и в автоматическом режиме управления. Автоматическая система управления позволяет вести технологический процесс по заданной программе с высокой точностью по времени и температуре. Система осуществляет управление по термическим процессам с автоматической коррекцией температурной программы по величине и скорости изменения вакуума в рабочем объеме печи.

Технические характеристики:

Температура рабочая, °С.....	2000
Максимальная температура печи, °С.....	2100
Точность поддержания температуры, °С.....	±25
Мощность номинальная, кВт.....	65
Мощность максимальная, кВт.....	105
Напряжение на нагревателе, В.....	15
Напряжение питания, В.....	380/220±10%

Размеры рабочего пространства:

Диаметр, дм.....	1,5
Высота, дм.....	3,0
Остаточное давление в рабочем пространстве, Па (мм. рт. ст.)	$5 \cdot 10^{-4}$ ($4 \cdot 10^{-6}$)
Масса садки, кг.....	20
Количество садок в вакуумной камере.....	6
Количество обслуживающего персонала.....	1

Особенности конструкции и технологических режимов работы печи

Применена безмасляная система откачки рабочего пространства высокотемпературной печи с применением вакуумного поста большой производительности по скорости откачки. Снижение содержания углеводородов в остаточной атмосфере и эффективное удаление других химически активных газов из рабочего пространства заметно повысило качество термообрабатываемых изделий и увеличило ресурс работы танталовых нагревателей. К примеру, на промышленном образце такой печи при спекании объемно-пористых таблеток танталовых и ниобиевых оксидных полупроводниковых конденсаторов улучшено качество изделий на 20% в сравнении с печью, рабочее пространство которой откачивалось паромасляным насосом.

Повышена надежность работы механизмов вертикальной транспортировки с большим ходом перемещения штоков. Достигнуто это из-за замены вакуумных вводов поступательного движения на вращательные.

Улучшена теплоизоляция рабочей зоны. При использовании танталового нагревателя максимальная температура рабочей зоны повышена до 2100°С.

Совмещение в одной печи карусельного механизма перемещения с элеваторной транспортировкой, а также использование шлюзования при загрузке и выгрузке садок без нарушения вакуума позволило значительно повысить производительность печи.

Опытно-промышленная эксплуатация печи при вышеуказанных режимах позволила также заметно снизить энергоемкость на каждую тысячу термообработанных изделий.

Выбор индекса для обозначения печи

Предлагаемая печь имеет некоторые конструктивные особенности. В силу этого обстоятельства возникли трудности для присвоения печи индекса в рамках ныне существующей системы обозначений электротермического оборудования [4]. Общепринятое условное обозначение печи состоит из трех или четырех основных букв. Первая буква обозначает метод нагрева, используемый в электропечи. Предлагаемая печь является нагревательной печью сопротивления с косвенным нагревом. Поэтому в индексе печи первая буква будет С.

Вторая буква означает основной конструктивный признак. В нашем случае их сразу два. Первый признак связан с перемещением холодных садок от зоны загрузки к зоне нагрева с помощью карусели (в индексе на втором месте должна быть буква А). Второй признак связан с транспортировкой садки от карусели вверх в зону нагрева и обратно вниз на карусель с помощью элеваторного механизма (в индексе второй должна быть буква Э). Для адаптации индекса предлагаемой печи к существующей системе обозначений предложено считать основным конструктивным признаком карусель. Она выполняет функции манипулятора, перемещающего садку внутри печи под различные технологические операции. Элеваторная схема перемещения садки от карусели в технологические камеры и обратно является в данном случае вспомогательной и буква, характеризующая данный конструктивный признак в индексе печи, использоваться не будет.

Третья буква в индексе обозначает среду в печном пространстве. В нашем случае это вакуум и в индексе на третьем месте имеем букву В.

Четвертая буква индекса для вакуумных печей обозначает исполнение теплоизоляции. В предлагаемом случае теплоизоляция экранная и в индексе будет стоять буква Э.

После букв индекса следуют размеры рабочего пространства в дециметрах. Хотя для печей карусельного типа, как исключение, рекомендуется указывать внешний и внутренний диаметр, а также высоту нагревательной камеры, в нашем случае предпочтительно воспользоваться традиционным обозначением рабочего пространства. Диаметр рабочего пространства 1,5 дм, высота 3 дм.

После указания соответствующих геометрических размеров через дробь указывается температура печи в сотнях градусов Цельсия. В данной печи это

20. В конце индекса указывается порядковый номер исполнения И1.

С учетом изложенного к описываемой печи присвоен индекс САВЭ-1,5.3/20-И1.

О перспективах создания печей нового поколения на базе серии САВ

Представленная печь является первой в новой серии кластерных вакуумных электропечей сопротивления карусельно-элеваторного типа. На базе этой модели возможно создание целого спектра интегрированных вакуумных электропечей сопротивления, в которых без нарушения вакуума можно осуществлять, кроме вышеуказанных технологических процессов, также процессы термической обработки инструментальных сталей и в первую очередь проводить их газовую закалку. Для этого печь оснащается дополнительной закалочной камерой или ее функции совмещаются со шлюзовым устройством.

Ресурс работы может быть резко увеличен в результате использования в печах кластерного типа в качестве нагревателей и теплоизоляции углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) [5]. УУКМ обеспечивают надежность конструкции и высокие технико-экономические показатели. По сравнению с традиционными сортами графита (ГМЗ, ППГ, МГ, МПГ-6 и др.) УУКМ обладают более высокой прочностью и стойкостью к ударным нагрузкам (3...5 раз), что позволяет изготавливать из них тонкостенные изделия с толщиной стенки до 1,5 мкм.

Они могут также использоваться для силовых элементов конструкции печей (подставки, подвески, пуансоны, толкатели, крепежные детали, контейнеры, короба, лодочки и т.п.), что значительно повышает надежность и работоспособность нагревательных блоков.

На базе УУКМ можно изготавливать низкоплотные материалы, обладающие высокими теплоизоляционными свойствами, из которых делается футеровка печи. Низкоплотные УУКМ производятся на основе вискозных и фенол-формальдегидных смол. Сформированный из короткорубленного вискозного волокна и тонко измельченной смолы материал подвергается карбонизации и термообработке до температуры, определяемой условиями эксплуатации. Назначение этого УУКМ – создание возможно более высокого теплового сопротивления между рабочей зоной печи и металлическим корпусом вакуумной камеры. Низкоплотная УУКМ футеровка защищает от излучения нагревателя также экраном из УУКМ, имеющего достаточно высокие механические характеристики.

Поэтому уникальное сочетание тепловых, электрофизических и прочностных свойств УУКМ открывает перспективу создания печей серии САВ с нагревательными и теплоизоляционными блоками, полностью выполненными из УУКМ.

Другим мощным резервом, повышающим конкурентоспособность таких вакуумных печей, является возможность применения сверхвысокопроизводительных электродуговых сорбционных высоковакуумных агрегатов, разработанных в Национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт» [6]. Их преимущества: очень широкий диапазон рабочих давлений от 10^{-5} до 5 Па, быстрота откачки, достигающая 100 000 л/с, относительно небольшие энергозатраты, отсутствие инерционности.

При нагреве любых материалов в вакууме наблюдается сильное газовыделение. Поэтому использование мощных вакуумных насосов значительно улучшит такие характеристики работы вакуумных печей, как производительность и повышение качества термообрабатываемых изделий.

Литература

1. С.Н. Малкин, Ю.В. Панфилов. Кластерное оборудование в микроэлектронике // *Обзоры по электронной технике. Серия 7. ТОПО*, 1994, вып. 2(1702), 120 с.
2. М.С. Лейканд. *Вакуумные электрические печи*. М.: «Машиностроение», 1977, 52 с.
3. В.И. Лапшин, В.М. Шулаев. Вакуумные технологии в машиностроении // *Мир технологий*. 2000, №2, с.3-7.
4. *Электротермическое оборудование*: Справочник / Под ред. А.П. Альтгаузена. М.: «Энергия», 1980, 416 с.
5. И.В. Гурин, В.А. Гурин, В.В. Колосенко, И.М. Неклюдов. Изделия из углерод-углеродных композиционных материалов как элементы термического оборудования // *Труды научно-практического симпозиума «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении»*. Харьков, 2000, с.36-42.
6. Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, А.А. Андреев. Сорбционные высоковакуумные электродуговые насосы большой производительности для технологического оборудования // *Труды научно-практического симпозиума «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении»*. Харьков, 2000, с.17-21.