

К. т. н. Ю. К. Непочатов¹, д. т. н. П. М. Плетнев² (✉), А. А. Денисова¹

¹ АО «НЭВЗ-Керамикс», г. Новосибирск, Россия

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия

УДК 666.3:546.62'171.046.4

ОГНЕУПОРНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ ОБЖИГА АЛЮМОНИТРИДНЫХ ПОДЛОЖЕК

Изложены особенности обжига алюмонитридных подложек, отличающегося высокой температурой ($> 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$) и наличием восстановительной среды. Показано, что высокое качество подложек по параллельности, теплопроводности и другим свойствам может быть достигнуто наряду с установлением оптимальных режимов обжига применением специальной конструкции капсуля на основе нитрида бора. Капсаль представляет собой контейнер, который состоит из корпуса в виде короба прямоугольного сечения, днища и плоскопараллельных разделительных пластин с опорами. Для создания локальной (внутри капсуля) чистой восстановительной среды предусмотрены замковые соединения по типу «шип-паз» между корпусом и днищем, заполняемые жаропрочным инертным порошком.

Ключевые слова: обжиг, огнеупорная оснастка, капсаль, алюмонитридные подложки.

ВВЕДЕНИЕ

В керамической промышленности для обжига изделий используют огнеупорную оснастку, которая выдерживает высокие температуры и служит для придания и сохранения необходимых геометрических форм изделия при спекании. Оснастка для спекания керамики имеет разнообразные геометрические формы в зависимости от вида керамического изделия. Для керамических плоских пластин (подложек) в основном используют лещадки — плоские огнеупорные пластины, из которых при помощи стоек собирают этажерку для заполнения всего рабочего объема печи [1]. При обжиге подложек на основе нитрида алюминия используют также огнеупорную оснастку в виде пластин и стоек, но особенностью обжига алюмонитридных подложек является то, что его необходимо проводить в восстановительной среде при температуре выше $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. Эта особенность обжига алюмонитридных подложек предъявляет специальные требования к огнеупорной оснастке, используемой в производстве. Качество алюмонитридных подложек определяется не только полнотой спекания изделия, но и, что особенно важно, чистотой среды при обжиге, не допускающей загрязнения алюмонитридного материала посторонними примесями [3–5].

Следует учитывать, что высокотемпературный обжиг керамических изделий до $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ проводят в печах с графитовой футеровкой и графитовыми нагревателями, поэтому возникает проблема защиты алюмонитридных подложек от взаимодействия с углеродом при нагревании. Следовательно, огнеупорная оснастка должна не только выдерживать высокие температуры, но и иметь специальную конструкцию контейнеров, защищающую спекаемые изделия от загрязнения углеродом. Наиболее востребованным огнеупорным материалом, способным выдерживать без разрушения и разложения температуру до $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ в восстановительной среде, является нитрид бора [6].

Преимущественно при высокотемпературном обжиге малоразмерных плоских изделий используется огнеупорная оснастка в виде капсулей с чередующимися по высоте контейнера разделительными пластинами, которые укладываются на соответствующие опоры. Например, известен огнеупорный капсаль [7], изготовленный в форме блочного каркаса, замкнутого по периметру и имеющего разделители в виде штырей, выступающих под углом по обе стороны от боковых стенок внутрь капсуля. Имеется также капсаль, содержащий корпус прямоугольного сечения с размещенными в нем пластинчатыми разделителями, имеющими параллельно расположенные выпуклые ребра; при этом разделители выполнены как одно целое с корпусом, а их ребра расположены параллельно вытянутым боковым стенкам корпуса [8]. Однако эти конструкции контейнеров имеют ряд недостатков, связанных со сложностью изготовления цельных, строго параллельных разделителей и элементов



П. М. Плетнев
E-mail: pletnev0@mail.ru

капселя вместе с корпусом. При этом исключается возможность увеличения количества спекаемых изделий за один цикл за счет применения групповой технологии спекания изделий путем размещения их на одном разделителе в стопку.

Предложен [9] капсель сборно-разборной конструкции, который включает корпус с верхним элементом (крышка), нижним элементом (днище), боковыми стенками и множеством разделительных пластин (лещадок), установленных параллельно друг над другом по высоте капселя. Крышка и днище снабжены гнездами, а боковые стенки имеют шипы, которые предназначены для того, чтобы обеспечить крепление крышки и днища с боковыми стенками. В гнезда, которые значительно больше по размерам, чем это необходимо, засыпается песок, который выполняет функцию клиньев для жесткого закрепления боковых стенок на месте. Боковые стенки снабжены множеством равномерно расположенных параллельных друг другу щелей, в которые вставляются шипы разделительных пластин. После соединения боковых стенок с разделительными пластинами собранная этажерка объединяется с крышкой и дном.

Использование такой конструкции капселя не обеспечивает высокого качества обжигаемых изделий (пластин, подложек и т. п.). Это связано с тем, что изделия укладываются на сферообразные ребра и ничем не зафиксированы от возможных столкновений между собой и стенками капселя; в результате образуются бой, сколы, трещины, деформации и т. д. Это приводит к резкому уменьшению выхода обжигаемых изделий и снижению производительности. В свою очередь, заполнение зазоров между гнездами и шипами жаропрочным порошкообразным материалом в виде сыпучего песка не обеспечивает надежной устойчивости соединения при загрузке-выгрузке обжигаемых изделий, установке капселя с изделиями в печь и последующей выгрузке его из печи.

Использование капселя предложенной сборной-разборной конструкции с ограниченным размером между разделительными пластинами исключает возможность увеличения количества одновременно спекаемых изделий за один цикл.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель научно-технического поиска, направленного на совершенствование огнеупорной оснастки, — повышение качества обжигаемых изделий и выхода годных изделий, уменьшение брака по прогибу за счет повышенной плоскостности обжигаемых изделий; увеличения жесткости конструкции капселя; высокой устойчивости обжигаемых керамических изделий, размещенных на разделительных пластинах внутри корпуса капселя; защиты керамических изделий от воздействия газовой среды. Важно было также обеспечить возможность установки внутри капселя

на параллельно расположенных разделительных пластинах, отделенных друг от друга зазором, максимального количества обжигаемых изделий.

С использованием рациональных научно-технических решений известных видов капселей и с учетом специфических требований к оснастке для обжига алюмонитридных подложек была предложена конструкция капселя на основе нитрида бора, позволяющая обеспечить наиболее оптимальные условия для спекания изделий [10]. Разработанный и используемый в производстве капсель состоит (рис. 1) из корпуса 1 в виде короба прямоугольного сечения и днища 2, соединенных между собой зазором, заполненным жаропрочным порошком 3, и разделительных пластин 4, установленных параллельно друг к другу и поверхности днища и выполненных как одно целое с опорами.

Опоры имеют форму прямоугольного параллелепипеда различной высоты для создания требуемых промежутков между разделительными пластинами (рис. 2), на которых размещаются спекаемые изделия.

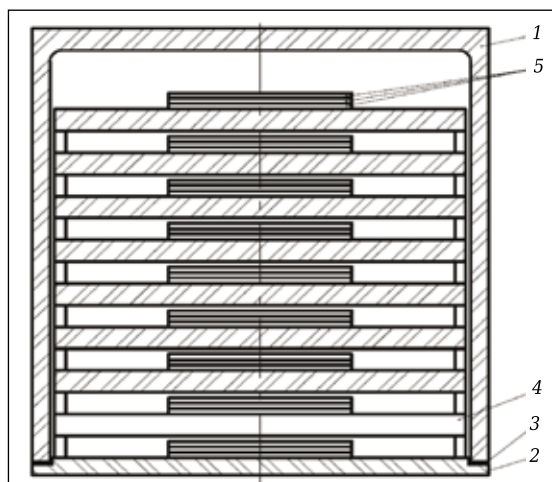


Рис. 1. Капсель из нитрида бора, загруженный алюмонитридными подложками: 5 — спекаемые изделия; остальные обозначения — в тексте

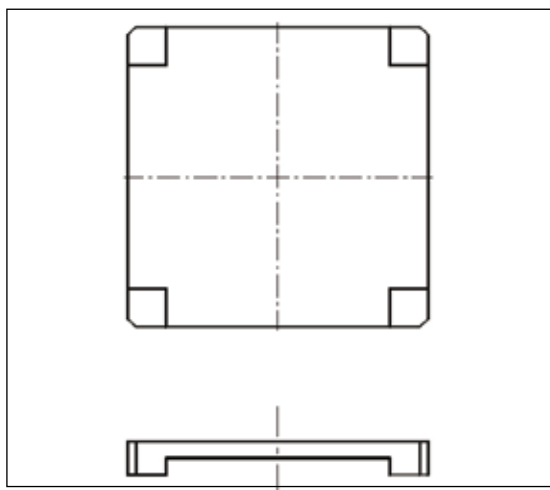


Рис. 2. Разделительные пластины с расположенными по углам опорами прямоугольного сечения

Соединение между корпусом и днищем выполнено в виде разъемного замкового соединения Г-образной (рис. 3, а) или П-образной формы (рис. 3, б). Замковое соединение образовано выступающим центральным элементом на днище, взаимодействующим с боковыми стенками короба, либо выполнено по типу «шип-паз».

Технологически загрузку обжигаемых изделий в капсуль осуществляют следующим образом: на днище помещают подложки, собранные в один или несколько слоев, затем устанавливают разделительную пластину с опорами, на которую помещают следующую партию изделий, и так далее. Таким образом, собирают этажерку из разделительных пластин и изделий по высоте, равной высоте корпуса капсулы. Для защиты подложек от воздействия газовой среды, содержащей примеси углерода и серы, а также для устойчивости конструкции в замковое соединение (см. рис. 3) между корпусом и днищем засыпается жаропрочный мелкодисперсный порошок или оно заполняется пастой из BN.

Собранную этажерку с изделиями плотно накрывают корпусом капсулы и помещают в графитовую печь на обжиг в заданном режиме. По окончании обжига капсуль с изделиями охлаждают вместе с печью. Охлажденный корпус снимают с днища и извлекают спеченные изделия-подложки с разделительных пластин. На место извлеченной этажерки устанавливают другую этажерку с подложками, которую закрывают корпусом, и капсуль вновь отправляют в печь для обжига.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, важной особенностью разработанной конструкции капсулы является то, что он снабжен опорами прямоугольного сечения, расположенными по углам разделительных пластин, а корпус выполнен в виде короба; при этом опоры

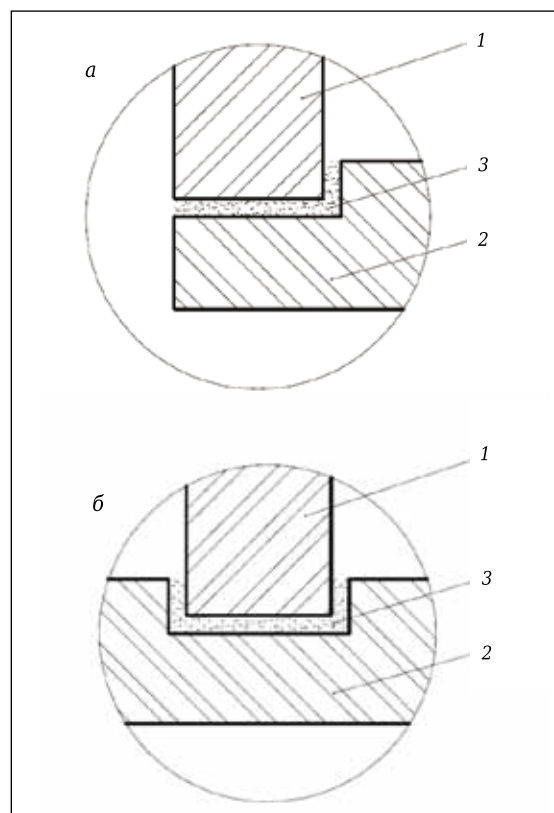


Рис. 3. Замковое соединение между корпусом и днищем с засыпкой в виде жаропрочного мелкодисперсного порошка: а — замковое соединение Г-образной формы; б — соединение П-образной формы; 1 — корпус короба; 2 — днище; 3 — жаропрочный порошок

выполнены как одно целое с разделительными пластинами. Применение такого капсулы позволило повысить выход годных изделий по отклонению от параллельности от 57,7 до 93,5 %, улучшить качество алумонитридной керамики — повысить ее теплопроводность от 210 до 231 Вт/(м·К), а также увеличить производительность обжига.

Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М.: Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. **Денисова, А. А.** Влияние режима обжига и садки изделий на деформирование и физико-технические свойства алумонитридной керамики / А. А. Денисова, П. М. Плетнев, А. А. Дитц, Ю. К. Непочатов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2017. — № 6. — С. 39–43.
3. **Непочатов, Ю. К.** Разработка керамики на основе нитрида алюминия для изделий современной электроники / Ю. К. Непочатов, А. А. Земницкая, П. Ф. Муль, А. Х. Хабибуллин // Современная электроника. — 2011. — № 9. — С. 14–18.
4. **Денисова, А. А.** Пути повышения качества теплопроводной алумонитридной керамики / А. А. Денисова, П. М. Плетнев, А. А. Дитц, Ю. К. Непочатов // Сб. тр. XIV науч.-техн. конф. «Наука и молодежь XXI века». — 2016.
5. **Непочатов, Ю. К.** Особенности обжига алумонитридной керамики / Ю. К. Непочатов, А. А. Денисова, П. М. Плетнев, И. Б. Красный // Вестник СГУПС. — 2016. — № 1. — С. 27–31.

6. **Лютая, М. Д.** Химическая и термическая устойчивость нитридов элементов III группы / М. Д. Лютая, В. Ф. Буханевич // Журнал неорганической химии. — 1962. — № 11. — С. 87–94.
7. **Пат. 3169295 США**, кл. 432-259; опубл. 05.07.1952.
8. **Пат. 2037762 Российская Федерация**, МПК F 27 D 5/00. Капсель для обжига керамических изделий / Кульмаириков Л. К., Сухинин В. А., Умудов А. С.; заявл. 07.07.1992; опубл. 19.06.1995.
9. **Пат. 2897571 США**, кл. 432-259; заявл. 07.11.1955; опубл. 04.08.1959.
10. **Пат. 153366 Российская Федерация**, МПК F 27 D 5/00. Капсель для обжига керамических изделий / Непочатов Ю. К., Плетнев П. М., Денисова А. А., Швецова Ю. И.; заявл. 04.12.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20. ■

Получено 29.06.20
© Ю. К. Непочатов, П. М. Плетнев,
А. А. Денисова, 2020 г.