

альном прессовании. Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными. Использование радиальной схемы прессования позволяет получать трубы с равномерным распределением плотности в широком диапазоне давлений.

Литература. 1. Штерн М.Б. Определяющие уравнения для уплотняемых пластичных пористых тел // Порошковая металлургия. – 1981. - №4. – С.17-23. 2. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Минск: «Дэбор», 1998, - 258 с. 3. Роман О.В. Теория и практика прессования порошков // Современные проблемы порошковой металлургии. – Киев: Наукова думка, 1970, - С.54-61.

УДК 621.762

Л.С. Богинский, Г.И. Курневич, Д.И. Божко

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

*Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь*

Особенности состояния экономики РБ требует ориентации промышленного производства на выпуск конкурентоспособной продукции. На многих предприятиях имеется широкий спектр печного оборудования, рассчитанного на использование нагревательных элементов на основе сплавов Ni-Cr, SiC, MoSi₂ и т.д. В настоящее время объемы производства их в РБ существенно уменьшилось из-за высокой себестоимости (стоимость сырья и неэффективность используемых технологий). Создание новых материалов для нагревателей с относительно низкой стоимостью, широким диапазоном температур и надежностью является актуальной задачей.

Перспективным материалом изготовления электронагревателей является графит, обеспечивающий устойчивую работу в окислительной атмосфере до 400°С и 3000°С в защитной атмосфере.

Графитовые нагреватели в виде втулок, тиглей (графитовая печь - ГП) является

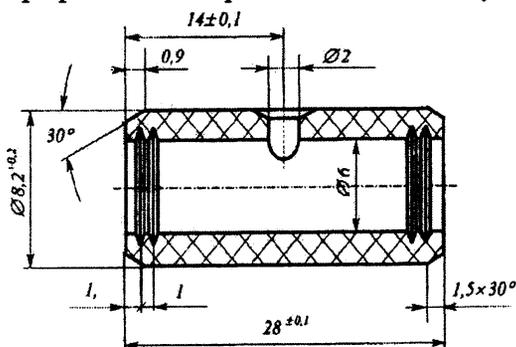


Рис.1. Схема нагревателя (графитовая печь)

принадлежностью атомно-абсорбционной спектрофотометрии и представляет собой последнее достижение технологии для обеспечения анализов на уровне РРВ. В таких печах достигаются высокие скорости атомизации, высокая температура до 3000°С в нейтральной атмосфере.

На рис. 1 показана схема импортной ГП. Исследования ее свойств показали, что при плотности $\rho_{\text{ср}} = 1,6 \text{ г/см}^3$ основной объем изделия

представляет собой пористый пирографит природного происхождения. Деталь получали из заготовки обработкой резанием (обточка, сверление, нарезание канавок и фа-

сок), что уменьшает коэффициент использования материала ($0,2 \div 0,3$), создает экологическую проблему загрязнения воздуха. После механической обработки с целью закрытия поверхностной пористости из газовой среды наносился тонкий слой чистого пирографита ($C=99\%$), что существенно уменьшает производительность и повышает стоимость изделия.

Для изготовления графитовых нагревателей может быть использован доступный в РБ и относительно дешевый терморасширенный графит (ТРГ), который не испытывает изменений во времени, не смачивается расплавленными металлами, обладает высокой формуемостью и сорбционной стойкостью к агрессивным жидкостям, в компактном виде – определенной эластичностью и упругостью, которые сохраняются до высоких температур, что обеспечивает широкий диапазон его применения (высокотемпературные сальниковые уплотнители, прокладки для фланцевых соединений, антифрикционные изделия, защитные оболочки, наполнители для отстойных фильтров и т.д.) [1].

Изделия из ТРГ получают в основном прессованием. Наиболее распространенным является метод осевого формования в пресс-форме, позволяющий получать изделия с отношением высоты к поперечному размеру $\frac{h}{t} \leq 1$. Как формовочный материал ТРГ существенно отличается от порошков других материалов. Его частицы обладают сложной структурой, развитой поверхностью, специфической «червеобразной» формой, большой склонностью к самоуплотнению [1].

Следует отметить, что ГП является длинномерным изделием $\frac{l}{d} > 4$ и это существенно усложняет технологию прессования.

Разработка новых материалов и типов изделий на основе ТРГ неразрывно связана с изучением и совершенствованием процессов прессования. Отличительной особенностью ТРГ является его способность к уплотнению при относительно низких давлениях и сохранению формы без спекания. Вместе с тем, порошок ТРГ имеет малую насыпную плотность, что для длинномерных изделий при их осевом прессовании требует использование крупногабаритной оснастки. Кроме того, наличие избыточного давления воздуха в порах при осевом прессовании приводит к образованию трещин.

Для получения ГП на основе ТРГ была разработана технология, включающая в себя следующие основные операции:

1. Осевое прессование ТРГ подвижной иглой до плотности $\rho_0 = 0,3 - 0,4 \text{ см}^3$.

Засыпка порошка ТРГ в пресс-форму. Осевое прессование заготовки $l=30\text{мм}$ $D_n = 21\text{мм}$, $d_{\text{ин}} = 6\text{мм}$. Выпрессовка заготовки из матрицы. Прессование заготовки до плотности $\rho = 0,35 \text{ г/см}^3$ не приводит к ее растрескиванию, так как давление воздуха в порах не вызывает разрушения образца.

2. Радиальное сухое изостатическое прессование (СИП) на оправку шести заготовок до плотности $\rho_r = 1,8 \text{ г/см}^3$ при давлении $p = 100 \text{ МПа}$. При СИП по радиальной схеме создаются условия для выхода воздуха и уплотнение ТРГ осуществляется за счет уменьшения поперечного сечения прессовки [2].

3. Осевое уплотнение (калибровка ГП, формирование фасок, поверхностное закрытие пор).

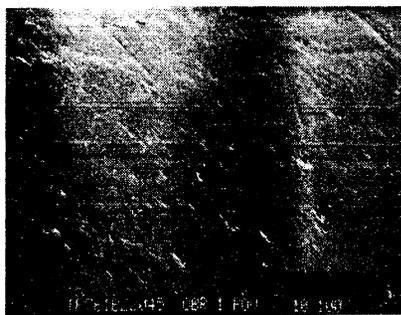


Рис. 2. Вид внешних поверхностей (поверхностное закрытие пор)

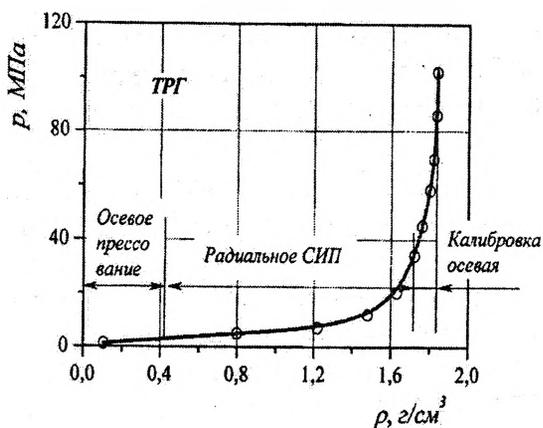


Рис.3. Зависимость плотности ПМ на основе ТРГ от давления прессования

прессованием наблюдается четкое расположение слоев частиц графита в направлении перпендикулярном приложению давления. Радиальное СИП изменяет ориентацию частиц ТРГ в основном по тангенциальному расположению и обеспечивает изотропность свойств материала и за счет схемы уплотнения с учетом особенностей СИП – выход воздуха из пор, что обеспечивает отсутствие трещин. Калибровка осевая и выпрессовка позволяет формировать фаски (рис. 1 и 4) и заглаживать наружную и внутреннюю поверхности (рис.2).

Таким образом, разработаны технология, оборудование и оснастка для изготовления графитовой печи (втулки) на основе ТРГ. Технология включает в себя осевое прессование ТРГ до плотности $\rho_0 = 0,35 \text{ г/см}^3$, пакетное радиальное СИП осевую калибровку поверхностей и фасок и сверление отверстия $\varnothing 2 \text{ мм}$. Разработана и изготовлена опытная установка для СИП и оснастка для осевого СИП и калибровки.

Усовершенствованный процесс прессования ГП позволил улучшить культуру производства, увеличить коэффициент использования материала, снизить себестоимость изготовления изделий на 50% и на 30% повысить срок службы ГП.

Литература. 1. Никитин Ю.А., Черныш И.Г., Пятковкий М.Л., Новиков Е.П. Некоторые свойства низкоплотных материалов на основе терморасширенного графита. // Порошковая металлургия. – 1997. – №1/2. – С.110-112. 2. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Минск: «Дэбор», 1998, - 258 с.

При выпрессовке ГП на матрицы происходит поверхностное закрытие пор как по наружной поверхности и фаскам, так и по внутренней поверхности за счет внешнего трения детали о стенки матрицы (рис.2).

4. Сверление отверстия $\varnothing 2$ (рис.1) осуществляется по кондукторной втулке. Очень важно, чтобы не было провала во внутреннюю поверхность, т.е. скорость сверления $V = 15 \text{ м/мин}$, но подача $S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$.

На рис. 3 показана диаграмма уплотнения порошка ТРГ и три стадии прессования: осевое подвижной иглой, радиальное СИП и осевая калибровка.

При низкой плотности образцов ($\rho \leq 0,4 \text{ г/см}^3$), изготовленных осевым

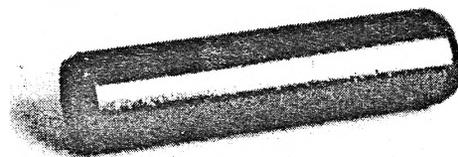


Рис. 4. Общий вид ГП, изготовленной по технологии после калибровки