

А.С. Похоренко¹, А.А. Пилипенко²,
Г.И. Щербакова¹, М.С. Варфоломеев²
¹ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС», Москва, Россия
²МАИ, Москва, Россия

ГАФНИЙОКСАНАЛЮМОКСАН, КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ВЫСОКОТЕРМОСТОЙКОЙ КЕРАМИКИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В настоящее время технология литья по выплавляемым моделям является типичным методом, применяемым для получения сложных литых изделий из химически активных сплавов.

Для изготовления керамической литейной формы в литье по выплавляемым моделям используются множество керамических материалов. В частности, для литья жаропрочных и титановых сплавов в качестве основы используется электрокорунд, а в качестве связующего материала – этилсиликаты или кремнезоли, образующие после прокаливания диоксид кремния, наличие которого в керамической форме крайне нежелательно. Активные легирующие элементы в составе химически активных сплавов при высоких температурах вступают в реакцию с материалом формы, что приводит к образованию на поверхности литых изделий металлооксидного слоя значительной толщины.

Все это требует использование только бескремнеземных связующих материалов. Такое связующее было разработано в ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС» на основе алюминийорганических соединений, опытные партии которого были исследованы и успешно опробованы в МАИ [1].

В последние годы, разрабатываются новые высокожаропрочные сплавы, химический состав которых становится более сложным. В процессе заливки, неизбежно протекают межфазные реакции между расплавом и традиционной керамической формой из-за высокого содержания активных элементов, таких как Al, Cr, Ti, Hf и другие [2].

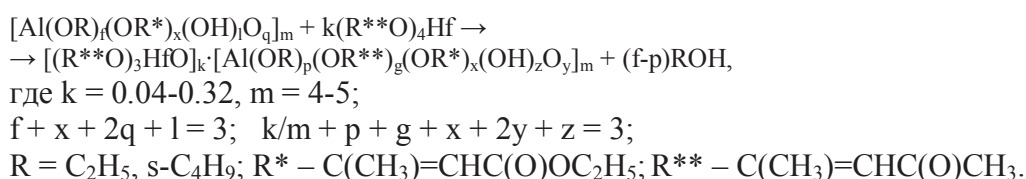
Требуются новые керамические огнеупорные материалы (прежде всего связующие) с повышенными температурными характеристиками, отвечающие определенным целевым свойствам.

Керамика на основе Al_2O_3 (2050 °С) и HfO_2 (2910 °С) нашла широкое применение в металлургической промышленности, в связи с

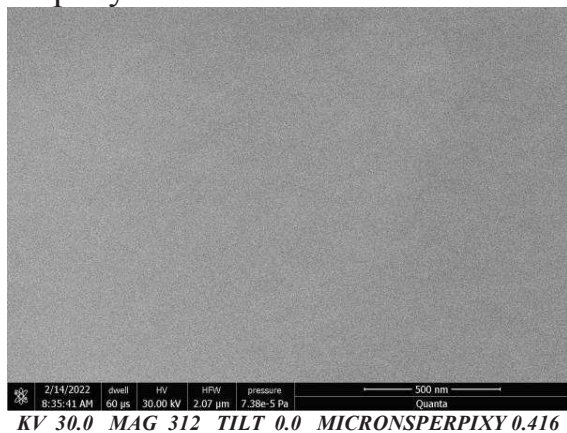
тем, что эти оксиды термически стабильны при повышенных температурах [3].

Благодаря высокой температуре плавления, окислительной устойчивости, химической инертности, низкой летучести диоксид гафния используется в конструкционной и функциональной керамике, предназначенной для работ в области высоких температур.

Соконденсацией хелатированного алкоксиалюмоксана (этилацетоацетатэтоксигидроксиалюмоксана) [2] и ацетилацетоната гафния синтезировали органогафнийоксаналюмоксан по схеме:



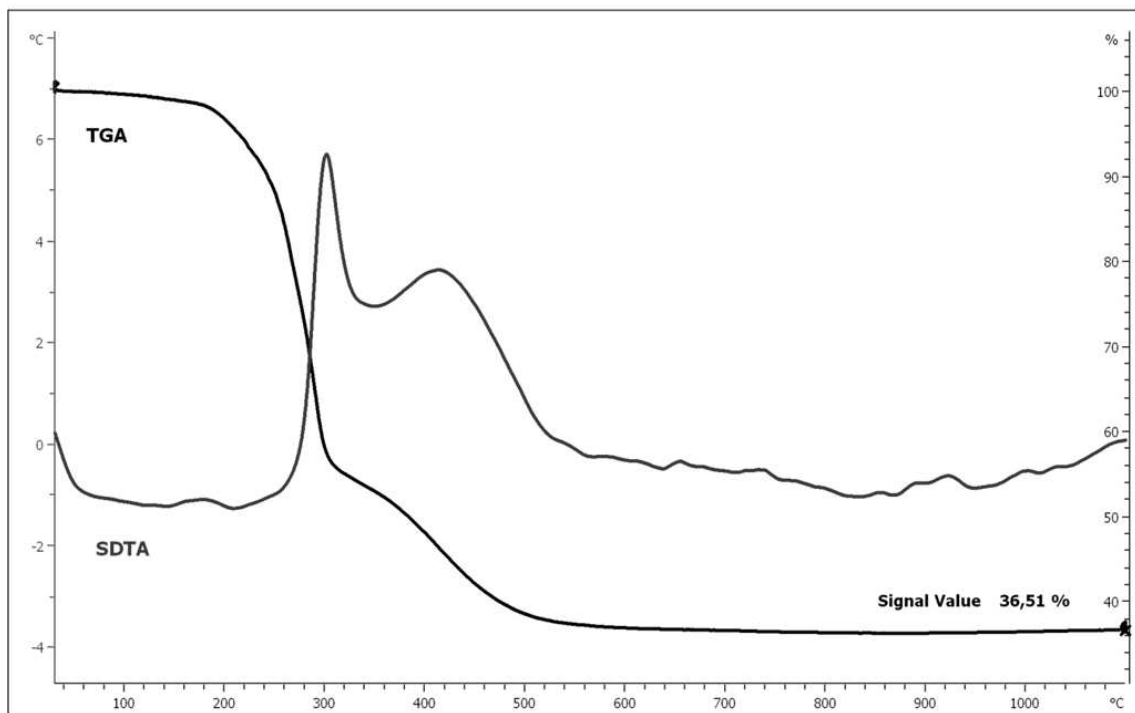
Морфологию поверхности и элементный состав органогафнийоксаналюмоксана изучали с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), совмещенного с энергодисперсионным анализатором (ЭДС). Результаты представлены на рисунке 1.



Элемент	Мас. %	Ат. %
C	36.60	54.49
O	29.63	33.11
Al	16.03	10.62
Hf	17.74	01.78

Рисунок 1 – СЭМ-изображение и элементный анализ органогафнийоксаналюмоксана

На рисунке 2 представлена термограмма для органогафнийоксаналюмоксана, где наблюдается (кривая TGA) двухступенчатое уменьшение массы (общая убыль массы ~ 64 мас.%), причем основная потеря массы происходит в интервале температур с 200 °С до 500 °С, далее керамический остаток изменяется мало, что соответствует суммарному содержанию Al_2O_3 и HfO_2 .



Lab: METTLER

STAR® SW 9.10

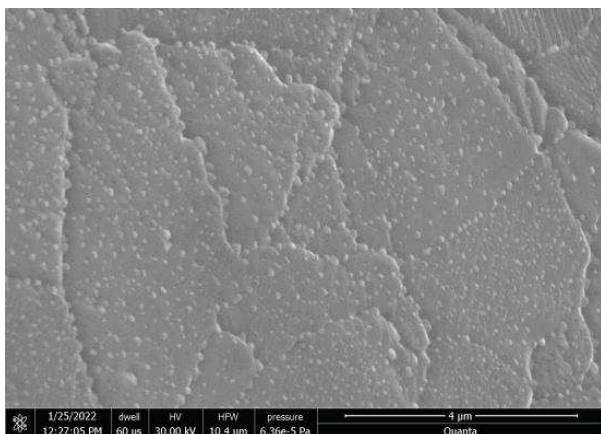
Рисунок 2 – ТГА органогафнийоксаналюмоксана

Спиртовой раствор олигомерного органогафнийоксаналюмоксана использовали в качестве связующего для электрокорунда с целью получения образцов керамических литейных форм, представленных на рисунке 3.



Рисунок 3 – Фото опытных образцов керамических литейных форм, обожженных при 1350 °С

Методом СЭМ была изучена морфология поверхности и элементный состав керамического образца, полученного после пиролиза органогафнийоксаналюмоксана при 1500 °С (рисунок 4).



Элемент	Мас.%	Ат.%
O	32.96	57.07
Al	37.31	38.31
Hf	29.74	04.62

***KV 30.0 MAG 625 TILT 0.0
MICRONSPERPIXY 0.208***

Рисунок 4 – СЭМ-изображение и элементный анализ образца керамики, полученного после пиролиза при 1500°C органиогафнийоксаналюмоксана

Результаты исследования показывают, что керамообразующие органиогафнийоксаналюмоксаны могут быть использованы в качестве связующего материала при получении высокотермостойкой керамики для литья высокожаропрочных химически активных сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Varfolomeev, M.S., Shcherbakova, G.I. Interaction of a Ceramic Casting Mold Material of the Al_2O_3 – Al_2O_3 composition with a Nickel-Based Superalloy / M.S. Varfolomeev, G.I. Shcherbakova. *Int. J. Met.* – 2021. – 15,4. – P. 1309–1316.
2. Bondarenko, Y.A., Kolodyazhnyy, M.Y., Surova, V.A. Creation of high-temperature heat-resistant alloys based on refractory matrices and natural composites / Y.A. Bondarenko, M.Y. Kolodyazhnyy, V.A. Surova. *Inorg. Mater. Appl. Res.* – 2021. – 12. – P. 1157–1163.
3. Wang, H., Yang, J., Meng, J., Yang, Y., Zhou, Y. Wettability and interfacial reactions of a low Hf-containing nickel-based superalloy on Al_2O_3 -based, SiO_2 -based, $ZrSiO_4$, and $CoAl_2O_4$ substrates / H. Wang, J. Yang, J. Meng, Y. Yang, Y. Zhou. *Ceram. Int.* – 2020. – 46. – P. 22057–22066.
4. Shcherbakova, G.I., Storozhenko, P.A., Tsirlin, A.M., Murkina, A.S., Varfolomeev, M.S., Kuznetsova, M.G., Polyakova, M.V., Trokhachenkova O.P. Chelated alkoxyalumoxanes and a silica-free binder based on them / G.I. Shcherbakova, P.A. Storozhenko, A.M. Tsirlin, A.S. Murkina, M.S. Varfolomeev, M.G. Kuznetsova, M.V. Polyakova, O.P. Trokhachenkova. *Inorg. Mater.* – 2007. – 43, 3. – P. 320–328.