



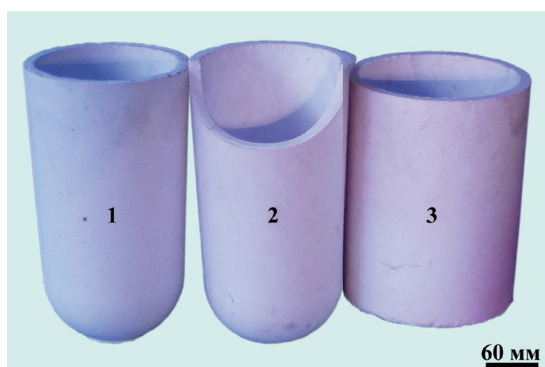
It is shown that PSC «UKRNIIО them. A.S.Berezhnogo « has developed technologies for a wide range of induction melting temperature alloys and started commercial production of crucibles of different composition.

В. В. ПРИМАЧЕНКО, В. В. МАРТЫНЕНКО, И. Г. ШУЛИК, С. В. ЧАПЛЯНКО, Л. В. ГРИЦЮК,
Л. П. ТКАЧЕНКО, ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного»

УДК 666.186.2:669.01

ВИБРОЛИТЫЕ ТИГЛИ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

В Украине для индукционной плавки жаропрочных сплавов на основе никеля и кобальта широко применяют вибролитые тигли муллитокорундового, корундошпинельного, корундопериклазового и периклазошпинельного составов производства ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного» [1, 2]. В результате исследований, направленных на дальнейшее совершенствование тиглей, разработаны тигли нового состава – корундооксидцирконийсиликатного, которые в настоящий момент переданы на испытания. Выбор состава плавильного тигля для каждого конкретного места применения осуществляют исходя из химического состава выплавляемого сплава, параметров плавки (температуры плавления и перегрева сплава, наличия и глубины вакуума и т. д.) и требований к качеству отливок (в том числе в зависимости от их структуры). Способ вибролитья обеспечивает получение тиглей любой массы, размеров и конфигурации с равномерными свойствами по всему объему тигля. Внешний вид тиглей, наиболее часто применяемых типоразмеров, показан на рисунке. Показатели свойств тиглей приведены в табл.



Тигли индукционных печей: 1, 2 – тигли плавильные; 3 – тигель охранный

Свойства муллитокорундовых (МКТ), корундошпинельных (КШТ), корундопериклазовых (КПТ), периклазошпинельных (ПШТ) и корундооксидцирконийсиликатных (КОЦСТ) тиглей

Наименование свойств	Показатели свойств для тиглей марки				
	МКТ	КШТ	КПТ	ПШТ	КОЦСТ
Массовая доля, %:					
SiO ₂	6,6	–	–	0,7	11,6
Al ₂ O ₃	93,0	93,0	92,8	22,7	63,3
MgO	нет	5,8	5,7	75,8	нет
ZrO ₂	нет	нет	нет	нет	25,1
Fe ₂ O ₃	0,1	0,2	0,3	0,8	0,1
Пористость открытая, %	12,3	16,8	22,8	17,3	16,5
Предел прочности при сжатии, МПа	133	185	50	35,9	218
Термостойкость, теплосмен:					
при 950 °С – вода	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
при 1300 °С – вода	> 20	4–8	3–6	~ 2	> 20

Как видно из таблицы, отличительной особенностью всех тиглей является их высокая термостойкость.

Тигли муллитокорундового состава (МКТ) предназначены для индукционной плавки жаропрочных никелевых сплавов при температурах расплава до 1650°С. Высокая термостойкость этих тиглей обусловлена микротрещиноватой структурой огнеупора, образующейся вследствие различных коэффициентов термического расширения материала тигля (корунда и муллита), а также армированием структуры игольчатыми зернами муллита. Зерна муллита представляют собой прочный сросток длиннопризматических разноориентированных кристаллов, длина которых в 2 – 5 раз превышает его размеры в поперечнике. Содержание Al₂O₃ в муллите составляет 71,8 – 78,0 %, т. е. от стехиометрии до твердого раствора корунда в муллите. С повышением содержания Al₂O₃ в твердом

растворе постепенно меняются физические свойства (например, увеличивается плотность и эрозийная стойкость) и размер элементарной ячейки при сохранении кристаллической формы.

Тигли корундошпинельного состава (КШТ) предназначены для индукционной плавки никелевых и кобальтовых жаропрочных сплавов при температурах расплава до 1800°C. Отличительной особенностью тиглей КШТ является наряду с хорошей термостойкостью их способность адсорбировать оксидные пленки сплава, а также высокая стойкость к инфильтрации компонентов сплава в огнеупор. Такое сочетание свойств достигается за счет введения в состав огнеупора алюмомагнезиальной шпинели с избыточным содержанием Al_2O_3 . Высокая термостойкость тиглей КШТ объясняется как образованием микротрещин на границах зерен при распаде твердых растворов, так и дополнительным армированием структуры выделившимся тонкокристаллическим корундом [3, 4]. Шпинель с избытком Al_2O_3 и активный тонкокристаллический корунд вступают в реакцию с компонентами сплава, уплотняя рабочую поверхность и образуя буферный шпинельный слой. Благодаря этому, с одной стороны, увеличивается стойкость к инфильтрации окисленных компонентов сплава в огнеупор, а с другой – имеет место адсорбция оксидных пленок сплава. Последнее обусловлено неупорядоченной структурой высокотемпературной шпинели (половина атомов алюминия и атомы магния распределены в октаэдрических позициях статистически [5]). Присутствие вакансий в решетке обуславливает способность шпинели с избытком Al_2O_3 захватывать и включать в состав своей кристаллической решетки без существенных изменений ее параметров оксиды металлов.

Тигли корундопериклазового состава (КПТ) также предназначены для индукционной плавки никелевых и кобальтовых жаропрочных сплавов при температурах расплава до 1800°C. Главным достоинством тиглей данного состава является более высокая по сравнению с тиглями КШТ адсорбционная способность, благодаря которой значительно увеличивается выход годных дорогостоящих отливок. Высокая адсорбция достигается за счет особой микротрещиноватой структуры огнеупора и образующейся в огнеупоре от «плавки к плавке» посредством прямой твердофазовой реакции тонкокристаллической алюмомагнезиальной шпинели с избытком Al_2O_3 различного состава [6]. Тонкокристаллическая шпинель за счет своей большей активности способствует лучшей адсорбции, а микротрещиноватая структура дополнитель-

но обеспечивает хорошую термостойкость огнеупора.

Тигли периклазошпинельного состава (ПШТ) предназначены для индукционной плавки широкой номенклатуры сплавов, не восстанавливающих MgO , с высоким содержанием агрессивных компонентов. Отличительной особенностью тиглей ПШТ являются их повышенная термостойкость и высокая стойкость к расплавам многих металлов (железа, меди, алюминия, никелевых, кобальтовых, хромовых специальных сплавов и др.) за счет основного характера периклаза и способность к адсорбции оксидных пленок сплава как за счет свойств периклаза, так и алюмомагнезиальной шпинели с избытком Al_2O_3 .

Тигли корундооксидцирконийсиликатного состава (КОЦСТ) предназначены для индукционной вакуумной плавки жаропрочных сплавов при температурах до 1650°C. Отличительной особенностью этих тиглей также является их повышенная термостойкость, которая обусловлена микротрещиноватой структурой огнеупора, образующейся вследствие различных коэффициентов термического расширения материала тигля (корунда, алюмооксидцирконийсиликатного материала и циркона), а также армированием структуры огнеупора зернами алюмооксидцирконийсиликатного материала. Алюмооксидцирконийсиликатный материал содержит 52,1 % Al_2O_3 , 34,2 % ZrO_2 , 13,7 % SiO_2 [7]. Фазовый состав материала представлен участками мелких кристаллов (<2 мкм) муллита и бадделеита (60 – 70 %), участками крупных кристаллов (до 30 мкм) бадделеита (20–25 %) и участками кристаллов (преобладающий размер < 4 мкм, максимальный – 30 мкм) корунда (10–15 %). Бадделеит капле-, шаро-, игло- и шестовидной формы относительно равномерно распределен в удлиненно-призматических, шесто- и планковидных кристаллах муллита.

Таким образом, в ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного» для индукционной (вакуумной и открытой) плавки широкой номенклатуры жаропрочных сплавов разработаны технологии и освоено производство тиглей различного состава, которые имеют высокие физико-химические показатели свойств, служебные характеристики и соответствуют лучшим мировым аналогам. Разработанные тигли полностью соответствуют высоким требованиям потребителей, поскольку обеспечивают повышение эффективности плавки, высокую стойкость, надежность эксплуатации и увеличение выхода годной продукции.

Литература

1. Primachenko V., Ustichenko V., Chaplianko S. Corundum based crucibles for induction melting of heat-proof alloys // Stahl und Eisen, Aachen. 2006. P. 52–54 (49th International Colloquium on Refractories. Refractories for Metallurgy, Aachen, 7–8 November).
2. Studying of high-alumina and Al_2O_3 -MgO refractory crucibles interaction with high-temperature ferroniobium alloy / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, I. G. Shulik et al. // Stahl und Eisen, Aachen. 2010. P. 135–138 (53rd International Colloquium on Refractories. Refractories for Metallurgy, Aachen, 8–9 September).
3. Примаченко В. В., Устиченко В. А., Чаплянко С. В. Исследование влияния плавленной шпинели с содержанием Al_2O_3 более 72% на свойства корундошпинельных огнеупоров // Вест. Нац. Техн. Ун-та «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. № 33. С. 120–126.
4. Исследование влияния температуры отжига на распад твердых растворов в плавленном алюмомагнезиальном шпинельном материале / В. В. Примаченко, В. А. Устиченко, С. В. Чаплянко и др. // Сб. науч. тр. ОАО «УкрНИИОгнеупоров им. А. С. Бережного». Харьков: Каравелла, 2005. № 105. С. 26–30.
5. Минералы. Справ. Т. II. Вып. 3. Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты / Под ред. Ф. В. Чухрова. М.: Наука, 1967. С. 18–33.
6. Исследование по разработке корундопериклазовых тиглей на основе плавленных материалов / В. В. Примаченко, В. А. Устиченко, С. В. Чаплянко, А. И. Комарова, В. В. Варганов // Сб. науч. тр. ОАО «УкрНИИОгнеупоров им. А. С. Бережного». Харьков: Каравелла, 2003. № 103. С. 49–57.
7. Получение способами спекания и электродуговой плавки алюмооксидцирконийсиликатного материала / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, И. Г. Шулик и др. // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности», 24–25 апреля 2012 г. Харьков: ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного», 2012. С. 6–7.