



*As the result of the studies at PJSC «UKRNIIO them. A.S.Berezhnogo» the technology and commercial production of crucibles from stabilized zirconia for the smelting of platinum group metals are developed.*

*В. В. ПРИМАЧЕНКО, В. В. МАРТЫНЕНКО, И. Г. ШУЛИК,  
П. А. КУЩЕНКО, ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного»*

УДК 666.762.51

## ВЫСОКООГНЕУПОРНЫЕ ТИГЛИ ИЗ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ВИБРОЛИТЬЯ

Метод индукционной плавки получил широкое распространение при плавке многих металлов, их сплавов и переплавке лома. Использование данного метода позволяет сократить время нагрева металлов до температуры образования расплава, т. е. значительно снизить затраты на их переработку. Большие скорости нагрева в печах индукционного типа вызывают необходимость использования в элементах футеровки печей тиглей, которые наряду с другими свойствами характеризовались бы высокой устойчивостью к термическому удару.

Диоксид циркония обладает высокой огнеупорностью, эрозийной и коррозионной стойкостью при одновременном воздействии агрессивных сред и высокой температуры, химической инертностью к расплавам многих материалов, в частности металлов платиновой группы [1–3].

В ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного» были проведены исследования, направленные на разработку технологических параметров изготовления тиглей из  $ZrO_2$ , стабилизированного  $CaO$ , и  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$ . При разработке технологии тиглей с повышенной термостойкостью из стабилизированного  $ZrO_2$  были использованы несколько фундаментальных принципов, среди которых основными являются выбор оптимального зернового состава масс для формования и формирование многофазной структуры изделий [4–6]. В связи с тем что различные модификации диоксида циркония характеризуются различными значениями коэффициента термического расширения, их одновременное присутствие в составе изделий обеспечивает формирование микротрещиноватой структуры. Благодаря наличию

в структуре изделий развитой сети микротрещин энергия возникающих в результате резкого нагрева и охлаждения трещин рассеивается, предотвращая, тем самым, увеличение их размера, а значит, препятствует разрушению изделия в целом. В качестве метода формования тиглей был выбран метод вибролитья, который позволяет изготавливать изделия сложной формы, характеризующиеся постоянством свойств по всему объему изделия [7]. Использование данного метода обусловило необходимость проведения исследований, направленных на выбор наиболее эффективных разжижающих добавок для каждой из масс с целью снижения их влажности, а значит, и повышения физико-механических свойств готовых изделий.

В результате проведенных исследований в ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного» разработана технология и освоено производство тиглей из стабилизированного диоксида циркония для плавки металлов платиновой группы различной конфигурации и размеров, которые характеризуются высокими показателями свойств, в том числе повышенной термической стойкостью [4, 5]. На протяжении более чем 10 лет разработанная и внедренная в институте технология указанных тиглей постоянно совершенствуется, что позволило не только увеличить срок службы тиглей при индукционной плавке, но и улучшить качество их рабочей поверхности за счет применения современных высокоэффективных разжижающих добавок [8, 9]. Показатели свойств вибролитых тиглей марки ЦК-1 из  $ZrO_2$ , стабилизированного  $CaO$ , и марки ЦИС-1 Т из  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$ , приведены в таблице.

Свойства вибролитых тиглей из стабилизированного  $ZrO_2$

| Наименование свойств   | Показатели свойств для изделий               |  |
|--|--|--|
|  | марки ЦК-1<br>по ТУ У 26.2-00190503-333:2010 | марки ЦИС-1Т<br>по ТУ У 26.2-00190503-332:2010 |
| Массовая доля, %:  |  |  |
| $ZrO_2 + HfO_2$ , в пределах   | 93–96  | 87–91  |
| $Y_2O_3$ , в пределах  | –  | 8–11   |
| CaO, в пределах  | 3,5–5,5                                      | –  |
| $Fe_2O_3$ , не более   | 0,5  | 0,3  |
| Пористость открытая, %, не более   | 25   | 23   |
| Термическая стойкость (на образцах в условиях 1300 °С-вода), теплосмен, не менее | 5  | 3  |



Вибролитые тигли из  $ZrO_2$  производства ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного»

Внешний вид изготавливаемых в институте тиглей из  $ZrO_2$  показан на рисунке.

Выпускаемые институтом вибролитые тигли из  $ZrO_2$ , стабилизированного CaO, и  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$ , более 10 лет широко используются на предприятиях цветной металлургии Украины, Российской Федерации и Республики Беларусь при индукционной плавке платины и ее сплавов как в окислительной среде, так и в среде вакуума. Высокая термическая стойкость тиглей позволяет осуществлять наплавку садки металла порционно, постепенно погружая куски переплавляемого металла в поддерживаемый в тигле под воздействием индукционного поля расплав и получать первый расплав уже через 10–15 мин после включения печи. В результате время расплавления 7,5–8,0 кг

металла и нагрева полученного расплава до 1950–2100 °С в тигле емкостью 0,75 дм<sup>3</sup> составляет 50–60 мин, что в значительной степени обеспечивает снижение энергозатрат на плавку.

Наибольшая стойкость тиглей отмечается при проведении плавки сериями методом «плавка на плавку», не допуская остывания тигля до температуры ниже чем 1000–1200 °С между плавками. Благодаря научной кооперации института как разработчика и изготовителя тиглей с потребителями, которая позволяет учесть индивидуальные особенности ведения плавки, достигается повышение срока службы тиглей.

По заключению потребителей, изготавливаемые ПАО «УКРНИИО им. А. С. Бережного» вибролитые тигли из стабилизированного  $ZrO_2$  удовлетворяют технологическим требованиям к материалу футеровки при вакуумной и окислительной индукционной плавке платины и ее сплавов и обеспечивают получение металла и изделий из него высокой чистоты. Выпускаемые институтом вибролитые тигли из стабилизированного  $ZrO_2$  изготавливаются различных размеров и конфигурации в зависимости от требований заказчика и характеризуются высокими показателями свойств на уровне лучших мировых аналогов.

Литература

1. Рутман Д. С., Торопов С. Ю., Плинер С. Ю., Неуймин А. Д., Полежаев Ю. М. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония. М.: Металлургия, 1985.
2. Керамика из высокоогнеупорных окислов / Под общ. ред. Д. Н. Полубояринова и Р. Я. Попильского. М.: Металлургия, 1977.
3. Балкевич В. Л. Техническая керамика. – М. Изд-во литературы по строительству, 1968.
4. Вибролитые тигли из стабилизированного диоксида циркония / В. В. Примаченко, А. Г. Караулов, Т. В. Пискун, П. А. Кущенко // Сб. науч. тр. ОАО «УкрНИИОгнеупоров им. А. С. Бережного». 2000. № 100. С. 7–16.
5. Изделия из стабилизированного диоксида циркония для металлургической промышленности / В. В. Примаченко, А. Г. Караулов, Т. В. Пискун, П. А. Кущенко // Передовая керамика – третьему тысячелетию: Тез. докл. междунар. конф. Киев, 5–9 ноября 2001 г. Киев: Вид. дом. «Академперіодика» НАН України, 2001. С. 146.
6. Примаченко В. В., Караулов А. Г., Кущенко П. А. Влияние добавки моноклинного (нестабильного)  $ZrO_2$  на свойства вибролитых образцов из  $ZrO_2$ , стабилизированного 8–11 мас.%  $Y_2O_3$  // Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности: Тез. докл. междунар. научн.-техн. конф. Харьков, 24–25 апреля 2002. Харьков: Каравелла, 2002. С. 34–36.
7. Исследования по изготовлению крупногабаритных алюмосиликатных огнеупоров способом вибролитья / В. В. Примаченко, Н. В. Питак, Л. М. Колесников, Т. А. Задорожная // Производство специальных огнеупоров: Темат. отрасл. сб. М.: Металлургия. 1978. № 6. С. 58–62.

8. Исследование влияния вида и количества разжижающих добавок на растекаемость зернистых масс из стабилизированного диоксида циркония / В. В. Примаченко, И. Г. Шулик, П. А. Кущенко [и др.] // Зб. наук. праць ВАТ „УкрНДІВогнетривів”.– Харьков: Каравела, 2005. № 105. С. 84–91.

9. Исследование влияния ряда диспергирующих добавок на растекаемость при вибрации зернистых масс из  $ZrO_2$ , стабилизированного  $CaO$  / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, И. Г. Шулик [и др.] // Зб. наук. праць ВАТ „УкрНДІВогнетривів”.– Харьков: Каравела, 2011. № 111. С. 7–16.