



МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
И МЕТАЛЛУРГИЯ 2017.
БЕЛАРУСЬ»



УДК 666.762.11/15

Поступила 31.08.2017

ВИБРОЛИТОЙ ОБОЖЖЕННЫЙ ТИГЕЛЬ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА УСТАНОВКИ РАСПЫЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

VIBROCAST FIRED CRUCIBLE FOR THE LINING OF METAL RECEIVER OF POWDER AND INSTRUMENTAL STEELS SPRAYING INSTALLATION

С. В. ЧАПЛЯНКО, Л. П. ТКАЧЕНКО, И. Г. ШУЛИК, Публичное акционерное общество «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина, ул. Гуданова, 18. E-mail: ukrniio@kharkov.ukrtel.net

S. V. CHAPLIANKO, L. P. TKACHENKO, I. G. SHULIK, Public Joint Stock Company «The Ukrainian Research Institute of Refractories named after A. S. Berezhnoy», Kharkov, Ukraine, 18, Gudanova str. E-mail: ukrniio@kharkov.ukrtel.net

В статье приведены результаты исследований, направленные на доработку технологии изготовления способом вибролитья обожженного цельного муллитокорундового тигля, используемого в качестве футеровки рабочего слоя нижней части металлоприемника для распыления порошковых и инструментальных сталей. В результате оптимизации характеристик вибролитой зернистой муллитокорундовой массы для исследуемых марок глинозема установлены влажность и растекаемость масс, обеспечивающие минимальную осадку массы в форме после ее заполнения, высокое качество формируемой поверхности, четкость граней и конфигурации, высокие плотность и прочность сырца изделия. Проведенные исследования позволили улучшить физико-механические показатели свойств изделий в сравнении с ранее изготовленными: в среднем показатели открытой пористости уменьшены в 1,3 раза, предела прочности при сжатии увеличены в 1,5 раза.

Public Joint Stock Company «The Ukrainian Research Institute of Refractories Named After A. S. Berezhnoy» together with Private Joint Stock Company «Electrometallurgical Works «DNIPROSPETSSTAL» Named After A. M. Kuzmin» developed a design of whole large-size crucible, used as the lining of the working layer of the lower part of the metal receiver for powder and instrumental steels spraying. This development was caused by need of increase in purity of metal on nonmetallic inclusions. The results of researches, aimed at improving the manufacturing technology by vibrocast method of a fired whole mullitecorundum crucible, are given in article. As a result of vibrocast granular mullitecorundum mass characteristics optimization (in the range of performance characteristics) for the investigated alumina brands (with content of α - Al_2O_3 more than about 95 vol. %), are established moisture and flow under vibration of masses, which provide: minimum settling of mas in shape after its filling, high quality of formed surface, clarity of sides and a configuration, high density and strength of the raw product. The carried out researches allowed to improve the physical-mechanical properties of the products, in comparison with previously manufactured ones: on average, open porosity reduced by 1,3 times, cold crushing strength increased by 1,5 times.

Ключевые слова. *Вибролитье, муллитокорундовый тигель, металлоприемник, распыление стали, оптимизация, влажность, текучесть при вибрации, зернистая масса.*

Keywords. *Vibrocast, mullitecorundum crucible, metal receiver, steel spraying, optimization, moisture, flow under vibration, granular mass.*

Введение

ПАО «УКРНИИО имени А. С. Бережного» совместно с ПАО «Електрометаллургический завод «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ» имени А. М. Кузьмина» выполнил работы по разработке конструкции цельного крупногабаритного тигля сложной конфигурации (рис. 1) для службы в качестве футеровки рабочего слоя нижней части металлоприемника установки распыления порошковых и инструментальных сталей. Данная разработка была обусловлена необходимостью повышения чистоты порошкового металла по неметаллическим включениям.

В процессе эксплуатации тигель металлоприемника подвергается значительным механическим и термическим нагрузкам, коррозионно-эрозионному разъеданию. В зависимости от марки стали темпе-

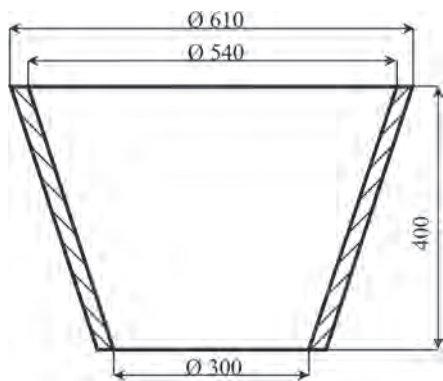


Рис. 1. Тигель металлоприемника

ратура расплынения составляет от 1560 до 1620 °С, время расплынения плавки (в том числе время расплынения одной порции металла), количество циклов – согласно технологическому процессу.

Исходя из условий службы, продиктованы требования к огнеупору: высокие прочность, термостойкость, коррозионно-эрозионная стойкость, низкая теплопроводность.

В ПАО «УКРНИИО имени А. С. Бережного» разработаны технологии и осуществляется изготовление способом вибролитья тиглей различных составов для индукционной плавки широких групп сталей и сплавов [1–3]. Разработанные огнеупоры характеризуются высокими показателями свойств и по эксплуатационным характеристикам соответствуют уровню лучших мировых аналогов. Для проведения испытаний были выбраны тигли двух составов: муллитокорундового (марка МКТ) и корундошпинельного (марка КШТ).

Отличительной особенностью тигля марки МКТ является высокая термостойкость наряду с высокими прочностью и плотностью. Температура эксплуатации тигля марки МКТ для обеспечения высокой чистоты металла не должна превышать 1650 °С.

Отличительная особенность тигля марки КШТ – высокая коррозионно-эрозионная стойкость и отсутствие ограничений по температуре эксплуатации (тигли успешно применяли при температурах 1850 °С и более).

Фактические показатели свойств опытной партии тиглей марок МКТ и КШТ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Фактические показатели свойств тиглей опытной партии

Наименование показателя	Величина показателя для тигля марки	
	МКТ	КШТ
Массовая доля, %:		
Al ₂ O ₃	91,10	92,50
SiO ₂	8,51	–
MgO	–	5,94
Fe ₂ O ₃	0,13	0,13
Пористость открытая, %	16,8	17,9
Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	122	116

Опытные тигли были поставлены на сопоставительные испытания, в результате которых установлено преимущество применения тиглей марки МКТ.

Целью настоящей работы является доработка технологии изготовления способом вибролитья тигля металлоприемника, а именно: улучшение физико-механических свойств тигля марки МКТ путем оптимизации характеристик вибролитой зернистой муллитокорундовой массы в диапазоне ее рабочих характеристик и изучения влияния марки глинозема на показатели свойств массы, сырца и обожженного огнеупора. Следует отметить, что диапазон рабочих характеристик массы различен для каждого вещественного состава, конфигурации и условий службы изделия [4–8]. Его определяют по сочетанию свойств массы – влажности и растекаемости, поскольку они непосредственно влияют на свойства сырца (качество поверхности, четкость граней и конфигурации, плотность и прочность) и обожженного огнеупора. Влажность и растекаемость массы должны обеспечивать заполнение формы массой по всему объему с четким формованием заложенной конфигурации изделия, а также минимальную осадку массы в форме после ее заполнения.

Экспериментальная часть

При проведении исследований в качестве сырьевых материалов применяли электроплавленные корунд и муллит производства ПАО «УКРНИИО имени А. С. Бережного», глиноземы с содержанием α-Al₂O₃ более 95 об.% двух производителей. В качестве диспергатора применяли комплексный синтетический полиэлектролит в виде порошка.

Химический состав сырьевых материалов (табл. 2) и изделий определяли методами химического анализа в соответствии с действующими ГОСТами.

Таблица 2. Химический состав сырьевых материалов

Наименование материала	Массовая доля, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
Корунд	0,04	99,56	0,05	0,02	0,02	0,31
Муллит	27,75	72,02	0,05	0,01	0,02	0,15
Глинозем: А	0,03	99,80	0,02	—	—	0,15
Б	0,01	99,77	0,01	0,01	0,01	0,19

Контроль помола и исследования фазового состава материалов осуществляли петрографическим методом с использованием микроскопа МИН-8. Согласно данным петрографического анализа, глиноземы А и Б похожи между собой, но отличаются по форме и размерам исходных зерен, наличием в глиноземе А щелочного β-Al₂O₃ в количестве ~2–3 об.%, большим (на ~5–7%) содержанием в глиноземе Б частиц размером менее 4 мкм после помола в вибромельнице.

Определение текучести при вибрации (растекаемости) зернистых масс осуществляли согласно методике определения растекаемости бетонов для неформованных огнеупоров [9].

Для расчета показателей свойств изготавливали способом вибролитья образцы в виде кубов размером 50×50×50 мм. Образцы формовали на лабораторной виброплощадке в гипсовые армированные формы. После извлечения из форм образцы выдерживали при комнатной температуре в течение трех дней и сушили при температуре 80 °С.

При проведении исследований использовали стандартные методы определения открытой пористости (ДСТУ ISO 5017:2014 гидростатическим взвешиванием) и предела прочности при сжатии (ГОСТ 4071.1-94 (ISO 8895-86)) образцов.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований текучести при вибрации (растекаемости) вибролитой зернистой муллитокорундовой массы приведены на рис. 2.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что для обеспечения качественного вибролитья изделий с точки зрения обеспечения четких ребер и конфигурации, а также бездефектной поверхности (отсутствие «порционных изломов», образующихся вследствие порционной подачи массы в форму при недостаточной ее растекаемости) растекаемость масс не должна быть менее 80% [4–8]. При вибролитье крупногабаритных муллитокорундовых изделий растекаемость массы более 100% приводит к увеличению осадки массы в форме после ее заполнения [8]. Как видно из рис. 2, диапазон влажности массы, соответствующий растекаемости 80–100%, составляет 4,0–4,2 и 3,9–4,1% для масс с глиноземом А и Б.

Сложность изготовления тигля металлоприемника заключается в его габаритах: отношение высоты к диаметру и толщине стенки изделия требует максимального увеличения прочности сырца для извлечения его из формы и последующей транспортировки в сушку, садки в печь.

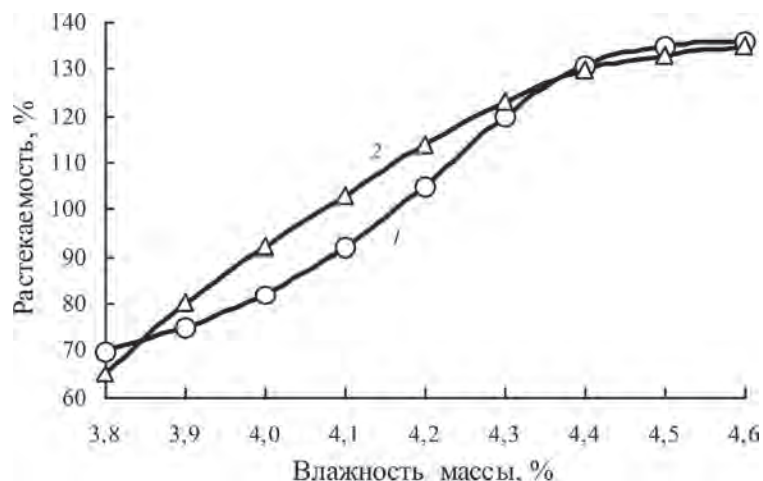


Рис. 2. Зависимость текучести при вибрации от влажности вибролитой зернистой муллитокорундовой массы: 1 – масса с глиноземом А; 2 – масса с глиноземом Б

Результаты исследований предела прочности при сжатии сырца образцов в установленном диапазоне характеристик вибролитых масс показали (табл. 3), что предел прочности при сжатии сырца образцов, изготовленных из масс с глиноземом А и Б влажностью 4,0–4,1 и 3,9–4,0%, практически одинаков, что позволяет расширить интервал оптимальной растекаемости.

Таким образом, оптимальной для вибролитья тигля металлоприемника является растекаемость 80–90% при влажности 4,0–4,1 и 3,9–4,0% масс с глиноземом А и Б.

Таблица 3. Показатели предела прочности при сжатии сырца образцов в диапазоне оптимальной влажности вибролитых масс

Влажность масс, %	Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , образцов с глиноземом	
	А	Б
3,9	–	2,8
4,0	1,9	2,7
4,1	1,8	2,1
4,2	1,1	–

С учетом полученных результатов были изготовлены и переданы на испытание опытные партии (влажность и растекаемость вибролитой массы соответствовали оптимальной) тиглей металлоприемника, которые по показателям свойств и внешнему виду отвечают требованиям ТУ У 23.2-00190503-371:2012 с изменением № 1 для марки МКТ. Показатели свойств тиглей опытных партий приведены в табл. 4.

Таблица 4. Показатели свойств опытных партий тиглей металлоприемника

Наименование показателя	Величина показателя для опытных партий*		
	2	4	10
Массовая доля, %:			
Al ₂ O ₃	93,50	90,2	93,10
SiO ₂	6,11	8,7	6,63
Fe ₂ O ₃	0,20	0,23	0,21
Открытая пористость, %	11,8–11,9	13,5–13,7	11,8–11,9
Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	124–145	217–221	186–208

* Приведены показатели свойств опытных партий изделий, изготовленных с применением глинозёмов А (партия № 4) и Б (партии № 2 и 10).

Как видно из табл. 1 и 4, за счет оптимизации характеристик вибролитой зернистой муллитокорундовой массы были улучшены физико-механические показатели свойств изделий (в сравнении с ранее изготовленными): показатели открытой пористости уменьшены в среднем в 1,3 раза, предела прочности при сжатии увеличены в среднем в 1,5 раза.

Выводы

Доработана технология изготовления способом вибролитья муллитокорундового тигля металлоприемника установки распыления порошковых и инструментальных сталей путем оптимизации характеристик вибролитой зернистой муллитокорундовой массы, а также изучено влияние марки глинозема с содержанием α-Al₂O₃ более 95 об. % на показатели свойств массы, сырца и обожженного огнеупора. С учетом применяемого глинозема установлены оптимальные влажность и растекаемость массы, обеспечивающие изготовление изделий заданной конфигурации с улучшенными физико-механическими показателями свойств.

Литература

1. Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г. и др. Вибролитые тигли различного состава для индукционной плавки жаропрочных сплавов // Литье и металлургия. Спецвыпуск. 2012. № 3 (67). С. 169–171.
2. Primachenko V. V., Martynenko V. V., Shulik I. G. et al. Studying of high-alumina and Al₂O₃–MgO crucibles interaction with heat-proof alloys based on nickel and cobalt // Refractories Worldforum, 2012. Vol. 4. No 3. P. 106–110.
3. Primachenko V. V., Martynenko V. V., Shulik I. G. et al. Studying of high-alumina and Al₂O₃–MgO refractory crucibles interaction with high-temperature ferroniobium alloy // Stahl und Eisen. 2010. P. 135–138.
4. Чаплянко С. В., Устиченко В. А., Примаченко В. В. Исследование влияния диспергирующих глинозёмов фирмы «Ал-матис» на свойства корундошпинельных тиглей // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». 2004. № 40. С. 30–36.

5. Устиченко В. А., Грицюк Л. В., Ткаченко Л. П., Чаплянко С. В. Деформационно-устойчивые муллитокорундовые огнеупоры с повышенной прочностью на основе плавленных материалов для печей производства стекловолокна // Сб. науч. тр. ОАО «УкрНИИОгнеупоров имени А. С. Бережного». 2007. № 107. С. 22–26.
6. Устиченко В. А., Чаплянко С. В., Грицюк Л. В., Ткаченко Л. П. Влияние вида диспергирующей добавки на свойства муллитокорундовых огнеупоров // Сб. науч. тр. ОАО «УкрНИИОгнеупоров имени А. С. Бережного». 2008. № 108. С. 37–41.
7. Примаченко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В. и др. Исследование по получению высококачественных вибролитых муллитокорундовых изделий с использованием глиноземов с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 > 90\%$ различных производителей // Збірник наукових праць ПАТ „УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО». 2011. № 111. С. 52–61.
8. Примаченко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Ткаченко Л. П. Освоение технологии изготовления способом вибролитья сложнофасонного крупногабаритного шибера нового типоразмера // Збірник наукових праць ПАТ „УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ім. А. С. Бережного». 2015. № 115. С. 23–29.
9. EN 1402-4:2003 (E). Unshaped refractory products – Part 4: Determination of consistency of castables. Brussels, CEN, 2003. 10 p. (Европейский стандарт).