

Н. А. Босякова¹, к. т. н. С. А. Поморцев¹ (✉), Р. Г. Гизатуллин¹, Ю. Л. Клёсов¹,
С. В. Лаптов¹, д. т. н. И. Д. Кашеев², к. т. н. К. Г. Земляной²

¹ ООО «Огнеупор» ПАО ММК, г. Магнитогорск, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет»,
Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.11.001.8

АЛЮМОПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ ОГНЕУПОРЫ ПРОИЗВОДСТВА ООО «ОГНЕУПОР»

Разработана и внедрена технология производства алюмопериклазоуглеродистых огнеупоров марок АПУК-Д и АПУ-Д. Применение комплексного антиоксиданта и углеродистых связующих добавок позволило улучшить прочностные характеристики этих огнеупоров после восстановительного обжига. Опытными промышленными испытаниями разработанных огнеупоров в футеровке рабочего слоя дна сталеразливочных ковшей подтверждено снижение скорости износа футеровки по сравнению с футеровкой из серийных периклазоуглеродистых огнеупоров в 1,2–1,5 раза.

Ключевые слова: алюмопериклазоуглеродистые (АПУ) огнеупоры, периклазоуглеродистые (ПУ) огнеупоры, футеровка, сталеразливочный ковш, антиоксидант, углеродистая связующая добавка, скорость износа футеровки.

Интенсификация технологических операций при производстве и переработке стали повышает требования к надежности футеровки тепловых агрегатов, к техническим и качественным показателям огнеупорных материалов. В то же время металлургии предъявляют к производителям огнеупоров требования по снижению удельного расхода огнеупоров. Приоритетные направления снижения удельных затрат на огнеупоры — разработка дифференцированной схемы футеровки, учитывающей неравномерность ее износа в разных зонах теплового агрегата, а также использование альтернативных более дешевых и доступных источников сырья.

Для сталеразливочных ковшей, отличающихся от других тепловых агрегатов наиболее высоким потреблением огнеупоров, достижение равной стойкости всех элементов футеровки позволяет значительно уменьшить удельный расход огнеупоров за счет сокращения горячих ремонтов и исключения случаев необоснованной ломки участков, не выработавших свой ресурс [1, 2]. Опыт эксплуатации сталеразливочных ковшей показывает, что в процессе службы футеровка изнашивается неравномерно. Футеровка стен находится в относительно благоприятных условиях. Наиболее изнашиваемые участки

— шлаковый пояс и дно, особенно в зоне падения струи металла при выпуске плавки в ковш («бойная» зона). В шлаковой зоне футеровки, в которой огнеупоры подвергаются агрессивному воздействию расплавленного шлака, оправданно применение периклазоуглеродистых (ПУ) огнеупоров, которые отличаются повышенной коррозионной стойкостью.

Футеровка дна сталеразливочного ковша дольше какого-либо участка находится под действием высоких температур, испытывает наиболее сильный тепловой и механический удар при приеме первых порций расплавленного металла, подвергается эрозионному воздействию потоков металла при обработке стали аргоном. Кроме того, футеровка дна подвергается давлению всей порции жидкого металла, находящегося в ковше. В качестве альтернативы ПУ-огнеупорам в дне сталеразливочных ковшей все больше применяют изделия алюмопериклазоуглеродистого (АПУ) состава, использование которых позволяет увеличить стойкость футеровки в этой зоне более чем на 20 % [3]. Высокая термостойкость, контролируемое образование шпинели и меньшая склонность к растрескиванию, которая достигается за счет введения корунда в шихту ПУ-огнеупоров, составляют преимущество АПУ-огнеупоров при эксплуатации в этой зоне футеровки ковша [4].

В ООО «Огнеупор» разработана и внедрена технология изготовления АПУ-огнеупоров для футеровки дна сталеразливочного ковша. Качественные показатели изделий по СТО Огнеупор 22–2018 приведены в табл. 1. При выборе поставщика корунда исследованы три марки. Для расширения информации о материале кроме традиционных показателей качества корундовых



С. А. Поморцев
E-mail: pomortsev.sa@oup.ru

Таблица 1. Физико-химические показатели АПУ-изделий

Показатели	Норма для марки	
	АПУК-Д	АПУ-Д
Массовая доля, %:		
Al ₂ O ₃ (на прокаленное вещество), не менее	60	70
MgO (на прокаленное вещество), не менее	11	9
углерод	5,0–9,0	6,0–10,0
Открытая пористость, %, не более	9	9
Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , не менее	40	40

порошков оценивали термостойкость — один из значимых факторов износа огнеупора в дне сталеразливочного ковша. Испытания проводили в соответствии с собственной методикой, разработанной на основе метода определения относительной термостойкости зернистых материалов, предложенного специалистами ОАО «Динур» [5]. Результаты лабораторных испытаний плавящихся корундов в сравнении с серийно применяемым для производства ковшевых ПУ-огнеупоров плавящим периклазовым порошком марки FU-97 приведены в табл. 2. На рис. 1 показан характер потери массы вещества исходной крупности в процессе резкой смены температур — при поочередном нагреве до 1000 °С и охлаждении в холодной проточной воде. Полученные результаты подтвердили низкую термостойкость периклазового порошка по сравнению с порошками корунда, а также указали на пониженную термостойкость порошка корунда № 1. По совокупности качественных показателей и экономической целесообразности для серийного производства АПУ-огнеупоров рекомендованы порошки корунда № 2 и 3.

Для укрепления матричной (мелкозернистой) части шихты, замедления окисления огнеупора и снижения тенденции разупрочнения в процессе коксующего обжига подобраны модифицирующие добавки и связующие, позволившие улучшить прочностные характеристики и шлакоустойчивость. Исследования в области разработки углеродсодержащих огнеупоров показали высокую эффективность одновременного использования в составе шихты нескольких антиоксидантов с разным температурным интервалом активности [6–9]. Совместное применение антиоксидантов позволяет не только расширить температурный интервал защиты углерода в огнеупоре от окисления, но и улучшить прочностные характеристики и шлакоустойчивость за счет образования новых фаз [10].

При выборе антиокислительных добавок наибольший эффект получен при одновременном использовании в составе шихты металлического алюминия и кремния — наиболее

Таблица 2. Качественные показатели огнеупорных порошков

Порошок	Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см ³	Относительная термостойкость (ПТ), %
Корунда:			
№ 1	5,7	3,71	88,5
№ 2	5,9	3,69	94,6
№ 3	5,6	3,68	95,7
Плавящего периклаза FU-97	1,7	3,50	52,2

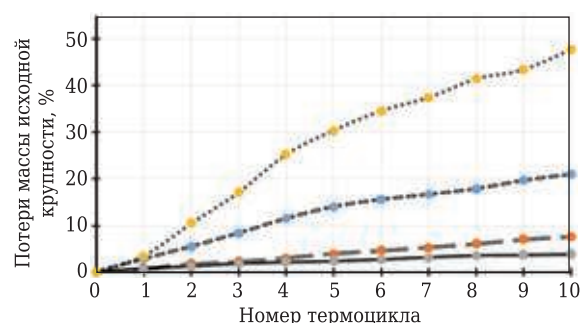


Рис. 1. Термостойкость огнеупорных порошков: ● — корунд № 1; ● — корунд № 2; ● — корунд № 3; ● — периклаз FU-97

распространенных ввиду их доступности антиоксидантов. Антиокислительные свойства оценивали по прочности огнеупора после восстановительного обжига при 1000 °С, толщине обезуглероженного слоя после окислительного обжига, потере массы огнеупора вследствие выгорания углерода, а также по увеличению массы антиоксидантов за счет их окисления.

На рис. 2 показаны результаты лабораторных исследований поведения антиоксидантов в процессе нагрева до 1000 °С. Антиоксиданты испытывали как по отдельности, так и совместно. Для сравнения приведены результаты окисления графитов марок ГЭ-1 и ГТ-1 в аналогичном температурном интервале. Проведенные исследования [11, 12] показывают, что выгорание графитов начинается при 600 °С и более интенсивно протекает в интервале 800–1000 °С. Этот интервал совпадает с температурой сушки и разогрева ковша перед подачей металла и с областью наибольшей активности комплексного антиоксиданта. В связи с этим для производства АПУ-огнеупоров рекомендовано применение комплексного антиоксиданта, состоящего из смеси металлического алюминия и кремния.

Введение в состав шихты углеродистых связующих добавок двух видов позволило существенно улучшить прочностные характеристики огнеупора после восстановительного обжига, позволяющие более реально оценить служебные показатели термообработанных огнеупоров [8]. Результаты

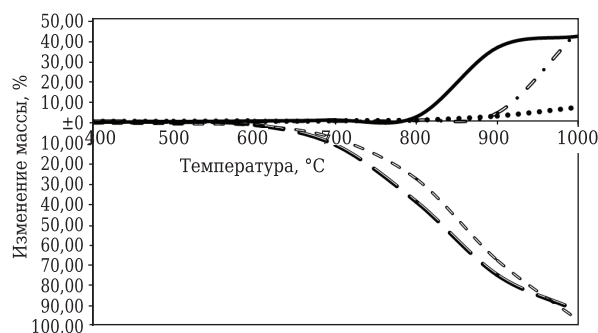


Рис. 2. Изменение массы материалов при нагревании: — ГЭ-1; --- ГТ-1; — · — АПВ-П; ····· Si; — — — Si + АПВ-П



Таблица 3. Прочность АПУ-огнеупоров после восстановительного обжига

Изделия	Предел прочности при сжатии, Н/мм ² , изделий		
	производителя № 1	производителя № 2	АПУ-Д (ООО «Огнеупор»)
Термообработанные	36,1	41,0	47,3
После восстановительного обжига:			
при 1000 °С	22,8	26,4	38,8
при 1550 °С	25,1	31,3	38,2
Снижение прочности после обжига (абс., Н/мм ² /отн., %):			
при 1000 °С	13,3/36,8	14,6/35,6	8,5/18,0
при 1550 °С	11,0/30,4	9,7/23,7	9,1/25,5



Рис. 3. Общий вид футеровки сталеразливочных ковшей вместимостью 380 т после службы в ККЦ ПАО ММК: а — изделие ПУПК-Д производства ООО «Огнеупор» после 36 плавов, минимальная остаточная толщина футеровки 150 мм; б — изделие АПУ-Д производства ООО «Огнеупор» после 34 плавов, минимальная остаточная толщина футеровки 200 мм

испытаний АПУ-изделий после восстановительного обжига в сравнении с изделиями других производителей представлены в табл. 3.

В процессе опытно-промышленных испытаний ковшевых изделий марки АПУ-Д произ-

водства ООО «Огнеупор» в футеровке рабочего слоя дна сталеразливочных ковшей ККЦ ПАО ММК наблюдалось снижение скорости износа футеровки по сравнению с серийными изделиями марки ПУПК-Д в 1,2–1,5 раза.

Библиографический список

1. **Хорошавин, Л. Б.** Магнезиальные огнеупоры / Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицын, В. А. Кононов. — М. : Интермет Инжиниринг, 2001. — 576 с.
2. **Кащеев, И. Д.** Совершенствование технологии огнеупоров на основе периклазового порошка / И. Д. Кащеев // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 7. — С. 33–39.
3. **Visloguzova, E. A.** Corundum-periclase-carbon refractories for lining steel-pouring ladles / E. A. Visloguzova, I. D. Kashcheev, L. V. Serova, M. A. Khoroshikh // Refract. Ind. Ceram. — 2010. — Vol. 51, № 1. — Р. 9–11.
4. **Вислогузова, Э. А.** Корундопериклазоуглеродистые огнеупоры для футеровки сталеразливочных ковшей / Э. А. Вислогузова, И. Д. Кащеев, Л. В. Серова, М. А. Хороших // Новые огнеупоры. — 2010. — № 1. — С. 7–10.
5. **Ярушина, Т. В.** Шпинелеобразующие огнеупоры для футеровки сталеразливочных ковшей ; тез. докл.

- Междунар. конф. огнеупорщиков и металлургов (19–20 марта 2015 г., Москва) / Т. В. Ярушина, М. Ю. Латкин // Новые огнеупоры. — 2015. — № 3. — С. 31.
5. **Перепелицын, В. А.** Термостойкость плавленого корунда / В. А. Перепелицын, И. В. Кормина, Л. А. Карпец, А. С. Зубов // Новые огнеупоры. — 2004. — № 1. — С. 39–42.
6. **Алленштейн, И.** Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания : справочник / И. Алленштейн [и др.] ; под ред. Г. Роучка, Х. Вутнау ; пер. с нем. — М. : Интермет Инжиниринг, 2010. — 391 с.
7. **Кривокорытов, Е. В.** Влияние антиоксидантов на свойства безобжиговых углеродсодержащих огнеупоров / Е. В. Кривокорытов, Н. А. Макаров, Н. В. Кононов, Б. И. Поляк // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 12. — С. 6–10.
8. **Kashcheev, I. D.** Effect of aluminum-magnesium antioxidant on periclase-carbon object properties /

I. D. Kashcheev, S. A. Pomortsev // Refract. Ind. Ceram. — 2012. — Vol. 53, № 4. — P. 238–241.

Кащеев, И. Д. Влияние алюмомагниевого антиоксиданта на свойства периклазоуглеродистых изделий / И. Д. Кащеев, С. А. Поморцев // Новые огнеупоры. — 2012. — № 8. — С. 17–20.

9. **Аксельрод, Л. М.** Стратегические направления развития огнеупорных материалов для металлургии в России / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2015. — № 5. — С. 17–27.

10. **Кащеев, И. Д.** Оксидноуглеродистые огнеупоры / И. Д. Кащеев. — М. : Интермет Инжиниринг, 2000. — 265 с.

11. **Kashcheev, I. D.** Study of the structure and properties of graphites for refractory production. Part 1. Physicochemical study of graphites from different deposits / I. D. Kashcheev, K. G. Zemlyanoi, V. M. Ust'yantsev, S. A. Pomortsev // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 56, № 6. — P. 577–582.

Кащеев, И. Д. Исследование структуры и свойств графитов для производства огнеупоров. Часть 1. Физико-химические исследования графитов различ-

ных месторождений / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, В. М. Устьянцев, С. А. Поморцев // Новые огнеупоры. — 2015. — № 11. — С. 8–13.

12. **Kashcheev, I. D.** Study of the structure and properties of graphites for refractory production. Part 2. Properties of periclase and corundum-graphite refractories with introduction into their composition of graphite from different producers / I. D. Kashcheev, K. G. Zemlyanoi, S. A. Pomortsev // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 57, № 1. — P. 22–26.

Кащеев, И. Д. Исследование структуры и свойств графитов для производства огнеупоров. Часть 2. Свойства периклазо- и корундоуглеродистых огнеупоров при введении в их состав графитов различных производителей / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, С. А. Поморцев // Новые огнеупоры. — 2016. — № 1. — С. 17–21. ■

Получено 22.01.20

© Н. А. Босякова, С. А. Поморцев,
Р. Г. Гизатуллин, Ю. Л. Клёсов, С. В. Лаптов,
И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



UNITECR 2021 — 17-й всемирный конгресс и объединенная международная техническая конференция по огнеупорам

14–17 сентября 2021 г.
г. Чикаго, США

Тезисы докладов по основным темам:

- Огнеупоры:
для черной металлургии
для цветной металлургии
для цементной промышленности
для стекольной промышленности
для нефтехимических процессов
- Огнеупорные материалы для сжигания отходов и др.
- Сырье
- Экологическая устойчивость и переработка
- Достижения в области производства и оборудования
- Огнеупорные инженерные системы и дизайн
- Новые разработки
- Базовая наука
- Энергосбережение и теплоизоляция
- Тестирование огнеупоров
- Образование
- Применение промышленных огнеупоров
- Кооперация производителей, потребителей и исследователей

www.Unitecr2021.org