



Д. т. н. И. Д. Кашеев<sup>1</sup>, к. т. н. К. Г. Земляной<sup>1</sup>, А. В. Чевычелов<sup>2</sup>,  
А. Г. Валуев<sup>2</sup>, С. А. Поморцев<sup>2</sup> (✉)

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.762.32:[621.746.329:66.043.1

## ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ ОГНЕУПОРЫ, СФОРМОВАННЫЕ НОВЫМ СПОСОБОМ\*

Рассмотрены способы изготовления периклазоуглеродистых огнеупоров формата «мини-кей» (МК) методом прессования на плашку и на ребро. В условиях ООО «Огнеупор» изготовлены изделия размерами 102/113/160/200 мм, которые были установлены способом на ребро в футеровке сталеразливочных ковшей ОАО ММК. Изделия показали хорошую стойкость, в футеровке отсутствовали типичные вертикальные трещины, разъедания горизонтальных швов не происходило.

**Ключевые слова:** периклазоуглеродистые изделия, метод прессования, футеровка, изделия формата МК.

**В** сталеплавильном переделе основные расходы на огнеупоры приходятся на рабочий слой футеровки сталеразливочных ковшей (до 1/3 общего бюджета). Поэтому снижать затраты на него наиболее целесообразно. Существуют многочисленные публикации по увеличению стойкости рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей путем использования более качественных сырьевых материалов [1–4]; добавления специальных активных компонентов, повышающих термостойкость и коррозионную стойкость [5, 6]; регулирования процессов доводки в сталеразливочных ковшах [7–11]. Однако немаловажным фактором, влияющим на стойкость рабочей футеровки, являются способы формования изделий и укладки их в сталеразливочных ковшах.

В настоящее время наибольшее распространение получил унифицированный формат «мини-кей» (МК). Его форматы X/8 и X/30 с тупым и острым клином соответственно позволяют выполнить футеровку любого сталеразливочного ковша емкостью от 60 до 380 т. На используемых в производстве огнеупорных изделий современных гидравлических прессах изделия данных форматов можно изготовить двумя способами — прессованием на плашку и на ребро (рис. 1, а, б).

Известно [12], что степень однородности сырца (или его пропрессовка) зависит не только от внутренних и внешних сил трения прессуемых материалов, но и от геометрии сырца. Так, при давлении прессования 10–200 МПа истинная пористость

изделий  $\varepsilon$  при высоте прессования  $h$  выражается уравнением Попильского и Смоля:

$$\varepsilon_h = \varepsilon_0 + Ch / R_r, \quad (1)$$

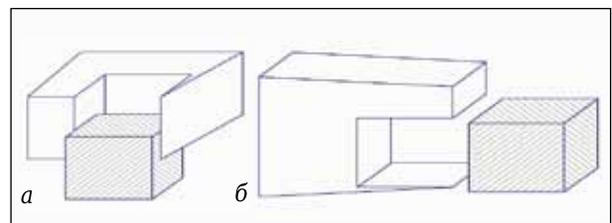
где  $R_r$  — гидравлический радиус прессования;  $\varepsilon_0$  — исходная пористость свободно насыпанной шихты;  $C$  — постоянная. Величину  $R_r$  рассчитывают по формуле

$$R_r = 2F / U, \quad (2)$$

где  $F$  — площадь изделия;  $U$  — периметр изделия.

Формула (1) справедлива при отношении  $h/R_r$  меньше 6 и позволяет сделать важные выводы в отношении технологии прессования. Кажущаяся плотность спрессованных изделий обуславливается в основном отношением  $h/R_r$ : чем меньше отношение  $h/R_r$ , тем равномернее плотность сырца по высоте прессования. Вместе с тем равномерность плотности не зависит от абсолютного значения давления прессования; ее максимальная величина достигается при уменьшении толщины сырца и его периметра, а также при увеличении площади приложения давления прессования [13].

ООО «Огнеупор» (г. Магнитогорск) выпускает для рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей изделия размерами 102/113/160/200 мм, отличающимися от размеров изделий формата МК. Изделия выпускаются способом прессования на плашку с последующей установкой в сталеразливочном ковше способом на ребро (рис. 2).

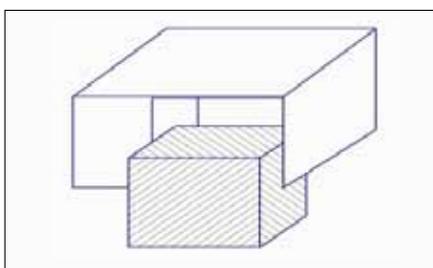


**Рис. 1.** Изделия формата МК, изготовленные прессованием на плашку (а) и на ребро (б), способ отбора образцов для испытаний

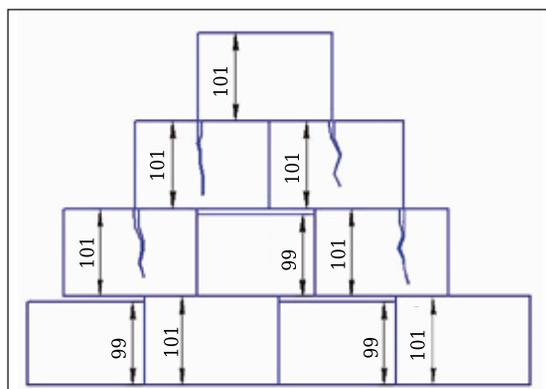
\* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (6–7 апреля 2017 г., Москва).

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

В кислородно-конвертерном цехе ОАО ММК в настоящее время эксплуатируются 380-т сталеразливочные ковши, футерованные изделиями производства ООО «Огнеупор». Изделия прессуют на плашку и устанавливают в сталеразливочном ковше на плашку. В этом случае колебания размеров изделий (длины и ширины) обеспечиваются допусками размеров пресс-формы ( $\pm 0,5$  мм), колебания толщины изделий, а следовательно, и толщины шва футеровки  $\pm 1$  мм.



**Рис. 2** Способ формирования изделий формата ООО «Огнеупор» и место отбора образцов для испытаний



**Рис. 3.** Схема футеровки из изделий размерами  $h = 100 \pm 1$  мм, показано образование трещин в местах максимальных изгибающих напряжений



**Рис. 4.** Фотография ковша с опережающим износом швов и вертикальными разгарами

При этом размеры горизонтальных швов футеровки при ее монтаже достигают 2 мм. При эксплуатации сталеразливочного ковша происходит опережающий износ горизонтальных швов рабочего слоя футеровки. Вследствие неравномерности размеров огнеупора по толщине в изделиях возникают изгибающие напряжения с образованием в месте напряжения вертикальных трещин по телу изделий (рис. 3).

Сталеразливочные ковши по вышеописанным причинам выводили из работы с опережающим износом швов и наличием вертикальных трещин. Остаточная толщина в месте отсутствия разгаров составляла 120 мм, в разгарах — 60 мм, что является аварийно опасными величинами (рис. 4).

Для исключения преждевременного вывода ковшей из эксплуатации из-за опережающего износа горизонтальных швов и возникновения вертикальных трещин было принято решение изменить способы изготовления изделий и укладки их в сталеразливочный ковш, изделия готовить прессованием на плашку, устанавливать на ребро.

При таких способах прессования и укладки изделий максимальная толщина горизонтальных швов составляет не более 1 мм (фактически 0,5 мм), поскольку стабильность размеров изделий обеспечивается размерами пресс-формы.

В условиях ООО «Огнеупор» были изготовлены изделия формата МК, спрессованные способом на плашку и на ребро, и изделия формата ООО «Огнеупор» (размерами 102/113/160/200 мм) способом прессования на плашку. Изделия прессовали на гидравлическом прессе «HPF Laeis 2500» из шихты одного состава и одинакового качества по одинаковым режимам прессования. Термообработку осуществляли в туннельном сушиле с постепенным нагревом и выдержкой при 220 °С в течение 6 ч и последующим плавным охлаждением. Из готовых изделий вырезали кубы с ребром 100 мм, как показано на рис. 1, 2, с обязательным условием, что одно ребро куба — рабочая сторона изделия в сталеразливочном ковше. Испытания на прочность при сжатии [14] и изгибе [15] проводили на прессе ИПБ 6012 1000 - 1, разрушая образец по оси установки изделий в сталеразливочном ковше. Предел прочности при изгибе определяли трехточечным способом на образцах размерами 100×40×40 мм с межосевым расстоянием 80 мм, разрушая образец по оси установки изделий в сталеразливочный ковш при условии, что одна из сторон параллелепипеда является рабочей стороной изделия. Свойства образцов приведены таблице.

Из таблицы следует, что изделия формата МК, спрессованные способом на плашку, имеют высокие показатели предела прочности при сжа-

**Свойства изделий различных форматов**

Формат изделия	Способ		Соотношение $h/R_r$	Предел прочности, МПа, при	
	прессования	укладки в футеровку		сжатии	изгибе
МК	На плашку	На плашку	1,16	62	15
МК	На ребро	»	2,23	43	14
ООО «Огнеупор»	На плашку	На ребро	1,21	56	18

тии  $\sigma_{сж} = 62$  МПа; у изделий формата ООО «Огнеупор»  $\sigma_{сж} = 56$  МПа. Изделия формата МК, спрессованные способом на ребро, характеризуются пределом прочности при сжатии 43 МПа. Данные показатели предела прочности коррелируют с соотношением высоты прессования изделий к гидравлическому радиусу (уравнение (1)).

Однако предел прочности при изгибе изделий формата МК, спрессованных форматом на плашку, составляет от 15 МПа и менее аналогичного показателя образцов формата ООО «Огнеупор», в то время как предел прочности при сжатии изделий формата МК больше, чем у изделий ООО «Огнеупор», — 62 и 56 МПа соответственно. Это обуславливает повышенную склонность изделий формата МК к образованию вертикальных трещин в рабочем слое футеровки сталеразливочных ковшей. Изделия формата ООО «Огнеупор» в условиях ККЦ ОАО ММК показали более высокую трещиностойкость (рис. 5).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях ООО «Огнеупор» изготовлены периклазоуглеродистые изделия форматов МК способом прессования на плашку и на ребро и изделия формата ООО «Огнеупор» на плашку. Определены преде-

## Библиографический список

1. **Вислогужева, Э. А.** Анализ влияния качества периклазоуглеродистых огнеупоров на свойства футеровки конвертеров / Э. А. Вислогужева, И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной // Новые огнеупоры. — 2013. — № 3. — С. 129–133.
2. **Вислогужева, Э. А.** Повышение стойкости футеровок металлургических агрегатов — существенный вклад в стабильную и эффективную работу конвертерного цеха / Э. А. Вислогужева, О. В. Долматов, В. М. Кулик [и др.] // Сталь. — 2013. — № 9. — С. 45–49.
3. **Аксельрод, Л. М.** Настоящее и перспективы развития производства огнеупорных материалов в СНГ в 2011–2020 гг. / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2011. — № 6. — С. 10–28.
4. **Aneziris, C. G.** Magnesia carbon bricks — a high duty refractory material / C. G. Aneziris, D. Borzov, J. Ulbricht // Int. Refract. Manual. — 2003. — № 2. — P. 22–27.
5. **Поморцев, С. А.** Влияние алюмомagneзиевого антиоксиданта на свойства периклазоуглеродистых огнеупоров / С. А. Поморцев, И. Д. Кащеев // Новые огнеупоры. — 2012. — № 8. — С. 17–21.
6. **Pomortsev, S. A.** Effect of aluminum-magnesium antioxidant on periclase-carbon object properties / S. A. Pomortsev, I. D. Kashcheev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2012. — Vol. 53, № 4. — P. 238–241.
7. **Аксельрод, Л. М.** Способы увеличения продолжительности срока службы периклазоуглеродистых изделий в футеровке сталеразливочных ковшей ОМЗ-спецсталь / Л. М. Аксельрод, Т. В. Ярушина, А. В. Заболоцкий [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 3. — С. 90–94.



**Рис. 5.** Типичный вид футеровки сталеразливочного ковша, выполненной изделиями формата ООО «Огнеупор», после эксплуатации

лы прочности при сжатии изделий МК, изготовленных способом на плашку и на ребро, величины  $\sigma_{сж}$  62 и 43 МПа соответственно.

Изготовление изделий формата ООО «Огнеупор» прессованием на плашку и установка их в рабочий слой футеровки сталеразливочного ковша на ребро являются оптимальными с точки зрения формирования однородной структуры штучного огнеупорного изделия с малыми величинами зазоров горизонтальных швов в футеровке сталеразливочного ковша и высокими трещиностойкими характеристиками.

7. **Moore, R. E.** Evaluation of magnesia – graphite – metal bricks subjected to thermal gradients / R. E. Moore, J. D. Smith, M. Carakus // Unitecr 95 Congress, Kyoto, Japan. — 1995. — Vol. 3. — P. 124–131.
8. **Rymon-Lipinski, T.** Wetting conditions and microstructural characteristics of a fired  $B_4C$  - containing  $MgO$  carbon brick / T. Rymon-Lipinski, R. Fichtner // Steel Research. — 1992. — № 12. — P. 526–530.
9. **Tsuchiya, I.** Effect of metallic additives on the oxidation-reduction reaction in magnesia – carbon bricks under vacuum at elevated temperature / I. Tsuchiya, S. Tanaka, Y. Ogusha // Unitecr 95 Congress, Kyoto, Japan. — 1995. — Vol. 3. — P. 156–163.
10. **Очагова, И. Г.** Влияние рабочего режима на срок службы футеровки сталеразливочных ковшей : реферат / И. Г. Очагова // Новости черной металлургии за рубежом. — 2014. — № 1 — С. 90–93.
11. **Белковский, А. Г.** Улучшение показателей работы футеровки за счет оптимизации ее предварительного подогрева и технологии перемешивания стали : реферат / А. Г. Белковский // Новости черной металлургии за рубежом. — 2010. — № 6 — С. 36–38.
12. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 552 с.
13. **Кайнарский, И. С.** Процессы технологии огнеупоров / И. С. Кайнарский. — М. : Металлургия, 1969. — 352 с.
14. ГОСТ 4071.1–94 Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре.
15. ГОСТ 8462–85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. ■  
Получено 31.01.17  
© И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, А. В. Чевычелов, А. Г. Валуев, С. А. Поморцев, 2017 г.