

Рис. 2. График расхода топлива за период

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Стеблов А. Б., Павлюченков И. А. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах. — Мн.: Выш. шк., 1992. — 214 с.
2. Расчеты нагревательных печей / С. И. Аверин, Э. М. Гольдфарб, А. Ф. Кравцов и др.; Под ред. Н. Ю. Тайца. — Киев: Техника, 1969. — 540 с.
3. Филиппов В. В. Исследование температурно-тепловых режимов нагрева металла в печах сталепроволочных цехов РУП «БМЗ» // Литье и металлургия. — 2001. — № 1. — С. 50 — 54.
4. Разработка высокоэффективных режимов термической обработки кордовой стали в печах патентирования / В. И. Тимошпольский, В. В. Филиппов, А. Н. Савенок и др. // Изв. вузов и энерг. объедин. СНГ. — 2001. — № 4. — С. 61 — 67.

УДК 669.187

И. А. БОНДАРЕНКО, В. М. НОСОВЕЦ,
Д. Н. ГОРБАБА, А. И. НОСОВЕЦ (РУП БМЗ)

ПРИМЕНЕНИЕ В РАБОЧЕЙ ФУТЕРОВКЕ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Анализ мирового удельного объема потребления огнеупоров показывает [1 — 8], что в последние десятилетия около 60 — 70% всех производимых в мире огнеупоров применяется в черной металлургии. Нет оснований полагать, что этот показатель в ближайшее время изменится, поэтому

целесообразно прогнозировать разработки и производство огнеупоров исходя прежде всего из тенденции их развития и потребления в черной металлургии.

Общим направлением мирового развития производства стали является постепенное увеличение ее доли, производимой способом непрерывной разливки. Это сопровождается существенным повышением требований к огнеупорам и значительным уменьшением их расхода.

Многие проблемы металлургических заводов связаны прежде всего с использованием и обслуживанием сталеразливочных ковшей, так как интенсивное развитие внепечной обработки стали превратило ковш в основной технологический. В нем производится большое количество металлургических операций на протяжении длительного времени и при интенсивном перемешивании стали. В этой связи предъявляются очень высокие требования к качеству и надежности футеровки, обеспечивающей высокую стойкость и минимальный износ, а именно: устойчивость против коррозионного и эрозийного разрушений расплавленным металлом и шлаком, достаточная термостойкость, отсутствие химического взаимодействия с реагентами, вводимыми в металл при внепечной обработке, отсутствие значительной усадки при работе в условиях высоких температур.

До 2000 г. в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей на БМЗ применялись периклазохромитовые изделия, а также тиксотропная алюмошпинельная наливная бетонная масса марки ANKOCAST – VL 93 M. Эти виды футеровки не отвечали современным требованиям: периклазохромитовые изделия имели сравнительно низкую стойкость – 17 плавок (стены, днище) и 12,7 плавок (шлаковый пояс); бетонная масса марки ANKOCAST – VL 93 M обладала достаточно высокой стойкостью по стенам и днищу – в среднем 71 плавка, но ее химический состав был дополнительным источником загрязнения кордовой стали оксидами алюминия. На основании этого было принято решение о применении в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей периклазоуглеродистых изделий. Изделия марки Ankarbon KC-52 и Ankarbon KC-83 поставила фирма VRD.

Качественные показатели применяемых материалов для футеровки сталеразливочных ковшей в соответствии с требованиями контрактных данных и технических условий представлены в табл. 1.

В процессе эксплуатации изнашивание периклазоуглеродистых изделий происходило равномерно без сколов и трещин; поверхность огнеупора после контакта с металлом и шлаком оставалась чистой, без настывшей и шлаковой корочки, без шероховатостей; швы футеровки находились в хорошем состоянии; четко выделялась граница раздела на участке шлакового пояса и стен.

Использование периклазоуглеродистых изделий в футеровке сталеразливочных ковшей позволило обеспечить стойкость футеровки стен и днища в среднем до 46 плавок, шлакового пояса – до 39 плавок, что соответственно в 2,7 и 3,1 раза выше стойкости периклазохромитовых изделий и в 1,5 раза ниже стойкости бетонной футеровки.

Качественные показатели применяемых материалов для футеровки стальной ковшей

| Изделия | Содержание, % (по массе) | | | | | Предел прочности при сжатии, МПа | Пористость открытая, % |
|--|--------------------------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| | MgO | Cr ₂ O ₃ | CaO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | | |
| Периклазоуглеродистые (контрактные данные) | 97 | – | 2,0 | 0,6 | 0,2 | > 25 | < 7 |
| Периклазохромитовые (ГОСТ 10888–76) | > 65 | 7 – 15 | < 2,5 | < 2,0 | 1,0 | > 30 | < 21 |
| Бетонная масса (контрактные данные) | 5,5 | – | – | 0,8 | 92,5 | Около 60 | – |

Износ периклазоуглеродистых изделий в среднем за плавку составлял: по днищу – 2,4 мм, по стенам – 1,5 и шлаковому поясу – 2,0 мм.

Как показали результаты исследований, использование периклазоуглеродистых изделий в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей взамен бетонной футеровки позволило снизить среднее значение содержания неметаллических включений в области «С» с 16 до 2,2%.

Далее были проведены испытания периклазоуглеродистых изделий различных зарубежных производителей и производителей стран СНГ для получения оптимальных технико-экономических показателей. С декабря 2000 г. по март 2001 г. в ЭСПЦ-2 использовались периклазоуглеродистые изделия пяти производителей:

- ОАО «Комбинат магнезит»;
- АО «Семилукский огнеупорный завод»;
- ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров»;
- фирмы VRD (новые виды);
- фирмы Slovmag.

Испытуемые изделия сравнивались с изделиями ANKARBON KC52 и ANKARBON KC83.

Изделия ОАО «Комбинат магнезит». Проведены испытания периклазоуглеродистых изделий на основе плавленного периклаза марки ПУПК и периклазоуглеродистых изделий на основе химически чистого спеченного периклаза марки ПУСК производства ОАО «Комбинат магнезит».

Средняя стойкость по двум ковшам в ЭСПЦ-2 составила 20 плавов. Изделия показали низкую эксплуатационную стойкость: один сталеразливочный ковш (14 плавов) – в 3,4 раза, другой (27 плавов) – в 1,7 раза ниже по сравнению с применяемыми изделиями марок ANKARBON KC52, KC83 фирмы VRD (46 плавов).

Средняя скорость изнашивания футеровки шлакового пояса и стен изделий производства ОАО «Комбинат магнезит» в 3 раза выше средней скорости изнашивания применяемых изделий фирмы VRD.

Удельный расход изделий марок ПУПК и ПУСК производства «Комбинат магнезит» по сравнению с удельным расходом применяемых изделий марок ANCARBON KC52, KC83 фирмы VRD в среднем в 2,4 раза больше и составил 10,02 кг/т годной стали против 2,24 кг/т соответственно. При этом удельная стоимость изделий марок ПУПК и ПУСК на 25% выше удельной стоимости изделий марок ANCARBON KC52, KC83 (рис. 1).

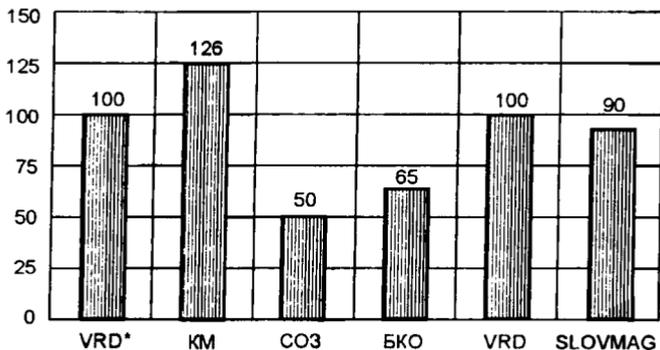


Рис. 1. Сравнительная диаграмма удельной стоимости периклазоуглеродистых изделий различных производителей:

VRD* – изделия ANCARBON KC52 и ANCARBON KC83 фирмы VRD (сравнительные); КМ – изделия ОАО «Комбинат магнезит»; СОЗ – изделия АО «Семилуцкий огнеупорный завод»; БКО – изделия ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров»; VRD – изделия фирмы VRD (новые виды); SLOVMAG – изделия фирмы Slovmag

При сушке ковшей в большом количестве выделялись вещества с резким запахом, что, естественно, недопустимо с точки зрения экологии для технического персонала ЭСПЦ.

Периклазоуглеродистые изделия производства ОАО «Комбинат магнезит» не были рекомендованы к применению для рабочей футеровки сталеразливочных ковшей.

Изделия АО «Семилуцкий огнеупорный завод». Проведены испытания в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей, дифференцированных по типу периклаза и содержания углерода периклазоуглеродистых изделий марок ПУКПт-7 и ПУКСт-7 производства СОЗ. Средняя стойкость по двум ковшам в ЭСПЦ-2 составила 58 плавков (с ремонтом шлакового пояса). Изделия фирмы VRD имеют среднюю стойкость 46 плавков (без ремонта шлакового пояса).

Скорость изнашивания изделий марок ПУКПт-7 (днища) и ПУКСт-7 (стен) идентична скорости изнашивания применяемых периклазоуглеродистых изделий марок ANCARBON KC52, KC83 фирмы VRD, скорость изнашивания изделий марки ПУКПт-13 (шлаковый пояс) соответственно больше в 2 раза.

Удельный расход изделий марок ПУКПт-7, 13 и ПУКСт-7 СОЗ примерно одинаков по сравнению с удельным расходом применяемых изделий марок ANCARBON KC52, KC83 фирмы VRD и составил в среднем 4,15 кг/т годной стали против 4,24 кг/т соответственно. При этом удельная стоимость изделий марок ПУКПт-7, 13 и ПУКСт-7 на 50% ниже удельной стоимости изделий марок ANCARBON KC52, KC83.

Сравнительный анализ качества кордового металла по плотности распределения и состава оксидных включений в зоне «С» показал, что использование изделий СОЗ в первой кампании на одинаковом уровне по загрязнению металла оксидными включениями с применяемыми изделиями марок ANCARBON KC52, KC83 фирмы VRD. Однако во второй кампании загрязнение металла оксидными включениями соответственно в 5 раз больше.

ОАО «Семилукский огнеупорный завод» приступил к изготовлению опытно-промышленной партии в количестве четырех комплектов для испытаний в рабочей футеровке сталеразливочных ковшей периклазоуглеродистых изделий: без оксидов алюминия; равностойкие по стенам и шлаковому поясу. Испытания по этим видам огнеупоров продолжатся.

Изделия ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров». При проведении испытаний периклазоуглеродистых изделий марки ПУ БКО средняя стойкость по трем ковшам в ЭСПЦ-2 составила 41,6 плавки, стойкость огнеупорных изделий фирмы VRD – в среднем 46 плавков.

Скорость изнашивания изделий марки ПУ идентична скорости изнашивания огнеупорных изделий фирмы VRD.

Удельный расход изделий без ремонта шлаковых поясов находится примерно на одинаковом уровне с изделиями фирмы VRD.

Стоимость огнеупорных изделий марки ПУ по полученным результатам на 35% меньше по сравнению с изделиями фирмы VRD.

Сравнительный анализ качества кордового металла по плотности распределения и состава оксидных включений в зоне «С» показал, что применение периклазоуглеродистых изделий марки ПУ не приводит к большему загрязнению металла оксидными включениями, чем применение изделий фирмы VRD.

При проведении испытаний возникла проблема при сушке ковшей. Применяемые в качестве связующих фенольные смолы содержат вредные компоненты: фенол, формальдегид и т. п., которые выделяются при сушке, что неприемлемо с точки зрения экологии. Однако БКО совместно с научно-исследовательскими институтами проводит работу по созданию экологически чистого связующего.

Изделия фирмы VRD (новые виды). При проведении испытаний периклазоуглеродистых изделий марок ANCARBON LF5P, 10P и ANCARBON SX93 средняя стойкость по двум ковшам в ЭСПЦ-2 составила 63,5 плавки (с ремонтами шлакового пояса), что в 1,35 раза выше стойкости огнеупорных изделий марок ANCARBON KC52, KC83, стойкость которых в среднем составляет 46 плавков (без ремонта шлакового пояса).

Ковши были выведены из работы из-за образовавшихся трещин (особенно вертикальных) в футеровке, прокозления их металлом. Дальнейшая эксплуатация оказалась невозможной с точки зрения аварийности.

Скорость изнашивания изделий марок ANCARBON LF5P, 10P и ANCARBON SX93 идентична скорости изнашивания применяемых огнеупорных изделий.

Несмотря на увеличение стойкости в 1,35 раза, средний расход изделий марок ANCARBON LF5P, 10P и ANCARBON SX93 аналогичен расходу применяемых изделий марок ANCARBON KC52, KC83 и составил 4,3 и 4,26 кг/т годного металла соответственно.

Удельная стоимость изделий марок ANCARBON LF5P, 10P и ANCARBON SX93 практически равна удельной стоимости применяемых изделий марок ANCARBON KC52, KC83.

Сравнительный анализ качества кордового металла по плотности распределения и состава оксидных включений в зоне «С» периклазоуглеродистых изделий ANCARBON LF5P, 10P и ANCARBON SX93 и применяемых изделий марок ANCARBON KC52, KC83 аналогичен.

Изделия марок ANCARBON LF5P, 10P и ANCARBON SX93 не рекомендованы для рабочей футеровки сталеразливочных ковшей ЭСПЦ-2.

Изделия фирмы SLOVMAG. При проведении испытаний периклазоуглеродистых изделий производства фирмы Slovmag средняя стойкость по четырем ковшам в ЭСПЦ-2 составила 47,5 плавки, стойкость огнеупорных изделий фирмы VRD – в среднем 46 плавков.

Скорость изнашивания изделий фирмы Slovmag идентична скорости изнашивания огнеупорных изделий фирмы VRD.

Удельный расход изделий фирмы Slovmag без ремонта шлаковых поясов и изделий фирмы VRD находится примерно на одинаковом уровне и составил за испытательный период 4,44 кг/т годной стали против 4,64 кг/т соответственно.

При равной стойкости огнеупоров изделия производства фирмы Slovmag имеют удельную стоимость на 10% ниже, чем изделия фирмы VRD.

Сравнительный анализ качества кордового металла по плотности распределения и состава оксидных включений в зоне «С» показал, что применение периклазоуглеродистых изделий производства фирмы Slovmag не приводит к большому загрязнению металла оксидными включениями, чем изделия VRD.

В настоящее время в условиях ЭСПЦ-2 используется 80% сталеразливочных ковшей, зафутерованных изделиями фирмы Slovmag.

Проведенные в условиях ЭСПЦ-1, 2 БМЗ испытания периклазоуглеродистых изделий различных поставщиков показали следующее:

1) применение периклазоуглеродистых изделий в футеровке сталеразливочных ковшей позволило повысить стойкость футеровки в среднем до 46 плавков;

2) наилучшие технико-экономические показатели имеют изделия фирмы Slovmag. Альтернативными поставщиками могут быть АО «Семилукский огнеупорный завод» и ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров»;

3) технология производства периклазоуглеродистых изделий совершенствуется, испытания этого вида огнеупоров продолжатся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелов К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
2. Стрелов К. К., Кащеев И. Д., Мамыкин П. С. Технология огнеупоров. – 4-е изд. – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.
3. Очагова И. Г. Служба огнеупоров в сталеплавильном производстве капиталистических стран: Обзор. информ. // Черн. металлургия: Сер. Огнеупорное производство. – Ин-т Черметинформация. – 1987. – Вып. 1. – 26 с.
4. Сербезов С. Неформованные огнеупоры в черной металлургии: Обзор по системе «Информсталь». – Ин-т Черметинформация. – 1987. – Вып. 18 (294). – 30 с.
5. Пивинский Ю. Е. Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы – основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров в XXI веке // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – № 2. – С. 4 – 11.
6. Routschka C. (Hrsg.) Feuerfeste Werkstoffe. – Essen: Vulkan Verlag, 1996. – 378 s.
7. Schulle W. Feuerfeste Werkstoffe. – Leipzig: Verlag fur Grundstoffindustrie, 1990. – 494 s.
8. Strasser H. Ungeformte Feuerfeste Werkstoffe // Vortrag an 32 metallurgisches Seminar der GDMB. – Hohz-Grenzhausen. – 1997. – 28 s.

УДК 621.78

Ю. С. ПОСТОЛЬНИК, д-р техн. наук (ДГТУ),
В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук (БНТУ),
О. А. ЧЕРНЫЙ (ДГТУ),
В. А. ТРУСОВ (ДМК им. Дзержинского)

РАДИАЦИОННО-КОНВЕКТИВНЫЙ НАГРЕВ НЕОГРАНИЧЕННОЙ ПРИЗМЫ

При изучении процессов высокотемпературного нагрева призматических тел при сложных граничных условиях приходится сталкиваться со значительными математическими трудностями. Несмотря на широкое использование при решении подобных задач численных методов, актуальными остаются вопросы разработки аналитических методов, которые в окончательном виде дают надежные и достаточно простые приближенные решения. К ним относится, например, метод эквивалентных источников