



РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО НОВЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОПАНТОВ

К. т. н. **А. П. Маргишвили** (✉), к. т. н. **С. И. Гершкович**, к. т. н. **А. Н. Иксанова**,
И. Г. Белова, к. т. н. **Ф. Р. Иксанов**, к. т. н. **В. В. Скурихин**

АО БКО, г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Для устойчивого развития предприятия в условиях жесткой конкуренции на комбинате проводится политика реконструкции и технического перевооружения производства, организации выпуска высокоэффективных огнеупоров и увеличения их доли в общем объеме продукции, диверсификации производства, повышения качества выпускаемой продукции.

Разработкой и внедрением в производство инновационных видов продукции и совершенствованием действующих технологических процессов на комбинате занимаются два подразделения: Центр совершенствования технологий и производства (ЦСТИП) и технологический отдел центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ). Координирует их деятельность технический отдел. Спектр задач, которые приходится решать сотрудникам этих подразделений, широкий и зависит как от тенденций развития металлургической отрасли, на которую ранее в основном было ориентировано огнеупорное производство, так и от переориентации предприятия на расширение рынков сбыта, для чего разрабатываются и осваиваются технологии производства изделий для цветной металлургии, цементной, стекольной и нефтегазодобывающей промышленности.

Результаты профессиональной деятельности ЦСТИП и технологического отдела ЦЗЛ в решении задач исследовательского, производственного и контрольно-производственного направлений легли в основу пятилетней Программы перспективного развития АО БКО на 2016–2021 гг.

Производство алюмосиликатных керамических пропантов для нашего предприятия — одно из базовых направлений диверсификации

производства продукции (рис. 1). В настоящее время физические объемы выпуска пропантов наполовину превышают объемы производства огнеупоров. Торговая марка пропантов BORPROP стала брендовой для российских нефтяников.

Для устойчивого ведения технологического процесса важно стабильное обеспечение сырьевыми материалами. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция снижения сортности и изменения химического и минерального состава глинистого сырья основного поставщика. Чтобы не допустить снижения объемов производства и ухудшения качества продукции в ЦСТИП постоянно проводятся работы по поиску способов нейтрализации неблагоприятных факторов, применения альтернативных видов сырья и специальных добавок, ведутся разработки новых технологических приемов при производстве пропантов. В настоящее время интенсивно идет работа по улучшению одной из важнейших характеристик пропанта — снижению насыпной массы, значение которой определяет тип и, соответственно, стоимость жидкости гидроразрыва.



Рис. 1. Смесители-грануляторы «Eirich» в технологической схеме производства пропантов



А. П. Маргишвили
E-mail: amargishvili@aobko.ru



Проведенные работы позволили снизить насыпную массу пропанта с 1,80–1,85 до 1,69–1,71 г/см³, что благоприятно сказывается на снижении себестоимости добычи нефти.

По данным испытаний независимой лаборатории FracTech, основные свойства пропантов марки Vogpro производства АО БКО за последние 5 лет при ежегодном росте объемов производства имели устойчивую тенденцию к улучшению по ряду важнейших показателей, таких как сопротивление раздавливанию, проводимость и проницаемость.

Разработки ЦСТИП в области расширения сырьевой базы производства пропантов совместно с целенаправленной работой всех подразделений комбината по выявлению и вовлечению в производство внутренних резервов повышения производительности оборудования позволили приступить к амбициозному проекту разового увеличения в 2018 г. производства пропантов в Боровичах на треть по сравнению с объемами выпуска в 2017 г.

Диверсификация огнеупорного производства выражается в расширении перечня и марочности выпускаемой продукции и имеет целью более полное удовлетворение требований потребителей. В настоящее время в силу известных причин дополнительной движущей силой диверсификации стало импортозамещение.

Изделия для разливки стали

Объединенная вагонная компания в 2012 г. запустила вагоностроительный завод в Тихвине и по физическому объему выпуска новых полувагонов опередила даже многолетнего лидера отрасли — нижнетагильский Уралвагонзавод. Завод выпускает вагоны и полувагоны нового поколения с повышенной грузоподъемностью за счет большей нагрузки на ось — 250 кН (25 тс) и увеличенным до 800 тыс. км межремонтным пробегом.

В рамках программы замещения импортной огнеупорной продукции для Тихвинского вагоностроительного завода (ТВСЗ) освоено производство изделий марки HShS для разливки стали, ранее поставлявшейся из одной из европейских стран.

По результатам проведенной АО ТВСЗ оценки поставщиков АО «Боровичский комбинат огнеупоров» удостоен наивысшей оценки — «Отличный поставщик».

Высокоглиноземистые изделия для сифонной разливки стали

Повышение эффективности процессов производства и разливки стали сифонным способом на металлургических и литейных предприятиях, производящих сортовые, кузнечные и специальные слитки, зависит от технологии и применяемых огнеупорных материалов. Однородный химический состав, плотная макроструктура конечной продукции, низкая степень загрязне-

ния неметаллическими включениями, газами, вредными примесями, а также необходимые физические свойства — наивысшие показатели качества. Процесс разливки высококачественных марок стали является завершающим и ответственным этапом получения слитков.

Боровичский комбинат огнеупоров успешно освоил производство высокоглиноземистых изделий марок МЛС-67 и МЛПС-67, предназначенных для сифонной разливки металла, в том числе крупносерийной и при производстве дорогостоящих высококачественных сталей. Эти высококачественные изделия изготовлены методом полусухого прессования и обладают преимуществами, положительно влияющими на улучшение качества отливаемых слитков. Изделия изготавливаются с высокой точностью и обеспечивают:

- плотность укладки и стыковки при наборе литниковой системы, в том числе из-за отсутствия мертвеля в узлах сопряжения конструкций;
- повышение ресурса эксплуатации и стойкости в сравнении с шамотной продукцией, в том числе за счет использования бандажированных изделий;
- минимизацию загрязнения разливаемой стали неметаллическими включениями.

В настоящее время разработанная продукция успешно поставляется на многочисленные предприятия (ООО «ОМЗ-Спецсталь», ЗАО «Росметаллкомплект», ОАО «Тяжпрессмаш», АО ВМЗ и др.), составляя конкуренцию аналогичной продукции иностранных поставщиков. При этом непрерывно осуществляется внедрение высокоглиноземистых сифонных изделий на другие рынки. Постоянно увеличивается номенклатура и усложняется ассортимент выпускаемой продукции в соответствии с требованиями заказчиков.

Муллитокорундовые пробки

На комбинате освоено производство высокоглиноземистых (муллитокорундовых) стопорных пробок с массовой долей Al₂O₃ свыше 72 % (марка МКСП-72) полусухим способом формования (рис. 2).

Опытные партии изделий различного формата прошли положительную апробацию в про-



Рис. 2. Муллитокорундовые пробки





изводственных условиях ООО «ОМЗ-Спецсталь» и ПАО НЛМК. В ООО «ОМЗ-Спецсталь» с применением экспериментальной продукции отлиты крупнотоннажные слитки без замечаний по эксплуатации пробок.

Инновационные алюмосиликатные изделия

В огнеупорную продукцию реализованы преимущества технического оснащения комбината и технологического сопровождения производства. Инновационные алюмосиликатные изделия (рис. 3, табл. 1–3) получили новые названия, не



Рис. 3. Инновационные алюмосиликатные изделия

связанные с их назначением при использовании, так как они могут применяться в футеровках различных тепловых агрегатов. Выпускаются изделия серий:

- ALBOR — шамотные изделия различного состава;
- HALBOR — муллитокремнеземистые изделия;
- BOREX — муллитовые и муллитокорундовые изделия.

Примеры использования инновационных алюмосиликатных изделий:

- ALBORN, ALBOR 500, HALBOR 400, HALBORAR для футеровки различных зон вращающихся печей производства портландцемента;
- ALBOR 350, ALBOR 500, HALBOR 600, BOREX-65 ALS, BOREX-72 и BOREX-72-21 для футеровки стен воздухонагревателей доменных печей и как насадочные;
- ALBOR 350, ALBOR 500, BOREX-62 ALS, BOREX-65ALS, BOREX-69ALS для кладки стен регенераторов стекловаренных печей и как насадочные;
- HALBOR 50 AF и HALBOR 60 AF для арматурной футеровки сталеразливочных ковшей, заменяя муллитокорундовые изделия МКБ-75 из китайского боксита;
- HALBOR-45 ALS для футеровки вращающейся печи прокатки кокса заводов «РУСАЛ».

Таблица 1. Физико-химические свойства инновационных алюмосиликатных изделий серии ALBOR

Показатели	ALBOR 280	ALBOR 320	ALBOR 340	ALBOR 350	ALBOR 390	ALBORN	ALBOR 400	ALBOR 500
Массовая доля, %:								
Al ₂ O ₃ , не менее	30	30	33	37	35	37	37	42
Fe ₂ O ₃ , не более	–	–	–	–	–	–	–	1,7
Открытая пористость, %	32	24	21	22	19	20	18	14–20
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	10	20	25	20	30	35	35	40
Огнеупорность, °С, не ниже	1650	1690	1730	1730	1710	1730	1730	1750
Остаточные изменения размеров, %, при нагреве при температуре, °С, не более:								
1450	–	–	–	–	–	–	–	0,4
1400	–	–	–	–	0,3	0,3	0,3	–
1350	–	–	–	0,2	–	–	–	–
1300	–	–	–	–	–	–	–	–
Температура начала размягчения, °С, не ниже	1280	1320	1340	1350	1390	1400	1400	1500
Термостойкость, теплосмены, не менее	–	–	–	4	4	4	4	6

Таблица 2. Физико-химические свойства инновационных алюмосиликатных изделий серии HALBOR

Показатели	HALBOR 400	HALBOR AR	HALBOR 50 AF	HALBOR 60 AF	HALBOR 600	HALBOR -45 ALS	HALBOR -46 ALS
Массовая доля, %:							
Al ₂ O ₃ , не менее	45	45	50	60	52	45	46
Fe ₂ O ₃ , не более	–	1,5	–	3	1,5	1,5	1,5
SiC	–	5–10	–	–	–	–	–
Открытая пористость, %	16	17	18	19	22	17	17
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	45	50	40	45	40	35	50
Огнеупорность, °С, не ниже	1750	–	1750	1770	1750	–	–
Остаточные изменения размеров, %, при нагреве при 1400 °С, не более	0,2	–	1,0	0,4–1,0	–	–	–
Температура начала размягчения, °С, не ниже	1400	1430	1420	1440	1600	1400	1490
Термостойкость, теплосмены, не менее	5	5	5	6	50	25	–





Таблица 3. Физико-химические свойства инновационных алюмосиликатных изделий серии BOREX

Показатели	BOREX-62	BOREX-65	BOREX-62 ALS	BOREX-65 ALS	BOREX-69 ALS	BOREX-72	BOREX-72-21	BOREX-75
Массовая доля, %:								
Al ₂ O ₃ , не менее	62	64	62	65	69	72	72	75
Fe ₂ O ₃ , не более	1,5	2,5	1,1	1,0	1,0	1,2	1,2	2,2
Открытая пористость, %, не более	24	22	17	17	19	24	21	23
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	25	30	50	50	50	30	50	40
Температура начала размягчения, °С, не ниже	1450	1500	1600	1650	1650	1550	1550	1450
Остаточные изменения размеров, %, при нагреве при температуре, °С, не более:								
1500	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	–	–	–
1600	–	–	–	–	–	0,8	0,8	2,0
Термостойкость, теплосмены, не менее	–	–	25	20	30	4	4	3

Разработка огнеупорных изделий для кладки печей обжига анодов

Известно, что ОК «РУСАЛ» обеспечивает собственным производством только 30 % обожженных анодов от общей потребности. С учетом того, что потребность в обожженных анодах будет возрастать, компания намерена наращивать собственное производство для полного обеспечения своей потребности в обозримой перспективе.

При выполнении разработок огнеупорных алюмосиликатных изделий для кладки печей обжига анодов последовательно решались две задачи:

- первоочередная — предложение о замене ранее применявшихся для ремонта анодных печей Саяногорского алюминиевого завода изделий МЛС-62 производства КНР на отечественные (импортозамещение),
- перспективная — предложение отечественных изделий для строительства новых анодных печей по проектам ведущих европейских специализированных проектных организаций, требования которых к огнеупорам существенно более высокие, чем к применяемым в России и других странах СНГ.

Изделия BorABF были предложены в качестве решения первоочередной задачи для ОК «РУСАЛ». Это плотные изделия муллитокремнеземистого состава (рис. 4). Физико-химические свойства изделий BorABF: массовая доля Al₂O₃ не менее 50 %, Fe₂O₃ не более 1,7 %, открытая пористость не более 15 %, предел прочности при сжатии не менее 50 МПа, температура начала размягчения не ниже 1450 °С, остаточные изменения размеров при 1400 °С не более 0,4 %, термическая стойкость (1300 °С – вода) не менее 4 теплосмен.

Благодаря взаимодействию с сырьевым подразделением ОК «РУСАЛ» для производства разработанных изделий был применен гайянский боксит, что обеспечило снижение себестоимости и цены на предлагаемые изделия до требуемого уровня. Выпуск и испытание в службе опытной партии изделий проводили в 2014 г. Мониторинг службы изделий осуществляло ООО «РУСАЛ ИТЦ».

Плотная структура изделий способствовала снижению скорости проникновения корроди-



Рис. 4. Кладка простенка анодной печи изделиями BorABF

ентов к внутренней поверхности изделий, что обеспечило повышенную стойкость [1]. После 6 мес эксплуатации опытных простенков было принято решение о полной замене китайских изделий на изделия АО БКО. С 2015 г. комбинат стал основным поставщиком огнеупорных изделий для АО «Саяногорский алюминиевый завод».

Андалузитовые изделия не один десяток лет применяются для строительства и ремонта печей обжига анодов за рубежом. Благодаря уникальным свойствам андалузита изделия, изготавливаемые с его применением, отличаются высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам, воздействующим на футеровку: высокой механической нагрузке за счет большого размера основных элементов конструкции печи — обогреваемых простенков, повышенной температуре в камере обжига (около 1300 °С), циклическим термическим нагрузкам в сочетании с перепадом температур по толщине простенка, воздействию восстановительной среды (углеродная засыпка и продукты ее окисления) и натрий-фторидных испарений от криолита, содержащегося в анодных огарках, входящих в состав анодной массы в количестве от 5 до 20 % [2]. Требования к огнеупорным изделиям устанавливают специализированные инженеринговые компании (СИК) по проектированию и строительству печей для обжига анодов алюминиевых электролизеров; требования к изделиям приведены в табл. 4. Там же приведе-





Таблица 4. Физико-химические свойства андалузитовых изделий для анодных печей

Показатели	Марка изделия и место применения в печи					
	BOREX-62 ALS, торцевые стены		HALBOR-46 ALS, греющие простенки		ALBOR 500, под камер обжига	
	требования СИК	показатели изделий АО БКО	требования СИК	показатели изделий АО БКО	требования СИК	показатели изделий АО БКО
Температура начала деформации под нагрузкой $T_{0,5}$, °C (ISO 1893)	≥1600	1660	≥1480	1555	≥1420	1461
Кажущаяся плотность, г/см ³	≥2,45	2,65	≥2,30	2,35	≥2,25	2,32
Открытая пористость, %	≤17,0	14,9	≤17,0	17,0	≤16,0	15,4
Предел прочности при сжатии, МПа	≥50	106,7	≥45	75,1	≥50	54,7
Термостойкость, теплосмены (DIN 51068)	≥25	>30	≥15	23	-	20
Термическое расширение в интервале 20 °C – 1000 °C	≤0,7	0,50	≤0,7	0,56	≤0,7	0,67
Ползучесть при сжатии при 1280 °C (0,2 МПа, 0–25 ч), деформация Z_{25} , %	≤0,3	0,08	≤0,3	0,05	-	-
Скорость деформации V_{15-25} , % в час	≤0,005	0,003	≤0,005	0,0002	-	-
Химический анализ, %:						
Al ₂ O ₃	≥55	65,73	≥46	52,89	≥42	48,58
Fe ₂ O ₃	≤1,0	0,71	≤1,5	0,86	≤2,0	1,12
CaO + MgO	≤0,6	0,12	≤0,6	0,42	-	0,36
Na ₂ O + K ₂ O	≤0,6	0,37	≤0,6	0,60	-	0,64
Предел прочности при изгибе при 1300 °C, МПа	≥6,0	При 1350 °C 6,7	≥6,0	7,52	-	-

ны результаты сертификационных испытаний изделий АО БКО в независимых лабораториях ICAR (Франция) и DIFK (Германия).

Положительные результаты сертификационных испытаний вместе с положительным заключением аудиторской проверки специалистов инжиниринговой компании позволяют получить сертификат и квалификацию одобренного поставщика. АО БКО выполнило необходимые условия, что дает возможность поставок продукции по проектам СИК не только в России, но и за рубежом.

Разработки в области огнеупорных бетонов

Современные тенденции развития экономики предполагают радикальное снижение энергетических и тепловых потерь, материалоемкости продукции, рациональное и эффективное использование всех видов ресурсов. В производстве и применении огнеупоров эта задача в значительной мере решается за счет применения неформованных огнеупорных материалов [3]. Это связано с тем обстоятельством, что неформованные огнеупоры превосходят формованные по таким показателям, как затраты на производство, эффективность укладки, долговечность, безопасность, расход материалов и др. Доля неформованных огнеупоров в общем объеме производимых огнеупоров возрастает.

АО «Боровичский комбинат огнеупоров», являясь одним из крупнейших производителей огнеупорной продукции России, следуя этим тенденциям, наращивает производство неформованных огнеупорных материалов. Наиболее востребованными среди неформованных огнеупоров, разработанных и выпускаемых АО БКО, являются огнеупорные бетоны, применяемые:

- в черной металлургии для футеровки агрегатов доменного (желоба доменной печи) и сталелитейного (дуговая сталеплавильная печь, сталеразливочный ковш, промежуточный ковш) производств;

- в цветной металлургии для футеровки агрегатов производства вторичного алюминия (плавильная печь, миксер);

- в стекольной промышленности для футеровки стекловаренных печей;

- в цементной промышленности для футеровки циклона и теплообменника, декарбонизатора, загрузочной камеры, колосникового холодильника.

Бетоны для доменного производства

С 2012 г. комбинат приступил к освоению нового направления: разработке и изготовлению карбидкремниевых бетонных смесей для выполнения монолитных футеровок желобов доменных печей. Первой в этой линейке смесей является марка Borcast-75SiC, прошедшая этап от разработки до испытаний в условиях потребителя.

Смесь прошла испытания в доменном цехе ОАО ММК в футеровке качающегося чугунного желоба ванн доменной печи в период февраль – май 2012 г. Стойкость футеровки без промежуточных ремонтов составила 178949 т пропущенного чугуна, удельный расход желобной смеси 0,06 кг/т. На основании акта испытаний смесь Borcast-75SiC была рекомендована к расширенным промышленным испытаниям в футеровке главного горнового желоба ММК.

С целью повышения служебных свойств (термической стойкости, пропускной способности, коррозионной устойчивости) состав смеси Borcast-75SiC был доработан и предложен к





дальнейшим испытаниям в главном желобе доменной печи. Усовершенствованному составу присвоена марка Borcast-SiC3 (см. табл. 5).

Смесь проходила испытания в главном горновом желобе № 1 доменной печи № 10 в период с августа 2012 по январь 2013 г. На основании результатов ее опытно-промышленных испытаний установлено, что смесь обеспечивает удовлетворительную стойкость в качестве монолитной футеровки главного желоба, при этом удельный расход ее опытного состава превышает нормативный показатель (0,26 кг/т).

Поэтому исследования по доработке состава в 2013 г. были продолжены. Исходя из опыта российских компаний, активно и успешно предлагающих огнеупорные бетоны для монолитной футеровки желобов доменных печей, а также из-за различий в механизме износа зон шлака и металла нами предложен комбинированный метод футеровки (по зонам) главного желоба доменной печи (рис. 5).

Анализируя результаты предыдущих испытаний смесей в условиях потребителя, нами разработаны следующие марки смесей: Borcast-SiC3 для футеровки зоны шлака и Borcast-SiC3 72-16 для футеровки зоны чугуна (табл. 6). В период с января 2014 по июль 2014 г. прошли испытания смесей в горновом желобе № 1 доменной печи № 4 Магнитогорского металлургического комбината (ММК). Промышленные испытания показали удовлетворительные результаты: гарантированная стойкость достигнута, снижено количество промежуточных ремонтов с 2 до 1, удельный расход снижен с 0,297 до 0,268 кг/т.

Тщательно проанализировав механизм износа бетона в главном желобе ММК, провели усовершенствование состава смеси с целью увеличения гарантированной стойкости футеровки не менее 300 тыс. т пропущенного чугуна.

В условиях ЦСТиП разработаны составы желобных смесей с новой пофракционной композицией карбида кремния в сочетании с реактивными глиноземами, высокоглиноземистыми цементами ($Al_2O_3 > 70\%$) и диспергирующими добавками, которые позволили обеспечить улучшенные реологические свойства, снизить водопотребность смесей и как результат повысить прочность бетона. Подбор типа и крупности зерна синтетического заполнителя позволил повысить коррозионную устойчивость образцов и их термостойкость.

В период с декабря 2014 по июль 2015 г. прошли испытания оптимизированных смесей в горновом желобе № 2 доменной печи № 9 ММК. В табл. 7 и на диаграмме рис. 6 представлены стойкость футеровок главного желоба ММК из смесей АО БКО и удельный расход смесей за весь период разработок и испытаний

Межремонтная стойкость футеровки, выполненной смесями производства АО БКО, составила 431,672 т чугуна при гарантированной стойкости 300 тыс. т с 1 промежуточной под-

Таблица 5. Физико-химические свойства бетонов Borcast-75SiC и Borcast-SiC3

Показатели	Норма для марки	
	Borcast-75SiC	Borcast-SiC3
Массовая доля, %:		
Al ₂ O ₃ , не менее	75	55
SiC, не менее	8	25
CaO, не более	2	1,5
Предел прочности при сжатии после термообработки (1300 °С), МПа, не менее	70	70
Кажущаяся плотность после термообработки (1300 °С), г/см ³ , не менее	3,0	2,80
Массовая доля влаги при отгрузке, %, не более	0,7	0,7
Зерновой состав, %:		
остаток на сетке № 7, не более	10	10
проход через сетку № 0063, не менее	30	25

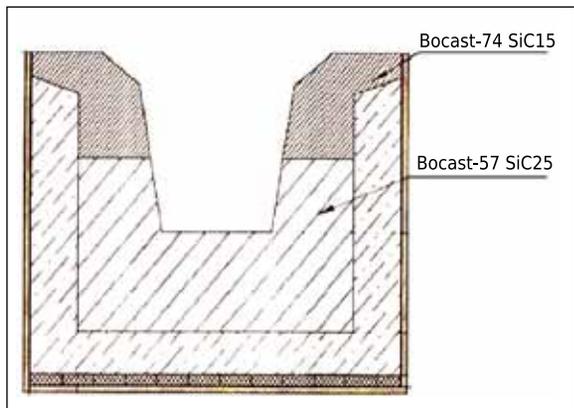


Рис. 5. Схема комбинированной футеровки главного желоба доменной печи

Таблица 6. Физико-химические свойства бетонов Borcast-SiC3 для зоны шлака и Borcast-SiC3 72-16 для зоны чугуна

Показатели	Норма для марки	
	Borcast-SiC3	Borcast-SiC3 72-16
Массовая доля, %:		
Al ₂ O ₃ , не менее	55	72
SiC, не менее	25	16
CaO, не более	1,5	1,5
Предел прочности при сжатии после термообработки (1000 °С), МПа, не менее	30	30
Кажущаяся плотность после термообработки (1000 °С), г/см ³ , не менее	2,80	2,80
Массовая доля влаги при отгрузке, %, не более	0,7	
Зерновой состав, %:		
остаток на сетке № 7, не более	10	
проход через сетку № 0063, не менее	25	





Таблица 7. Результаты службы футеровок главного желоба № 2 доменной печи № 9 ММК из огнеупорных бетонов АО БКО

Футеровка из смесей	Гарантированная стойкость, тыс. т чугуна	Фактическая стойкость, тыс. т чугуна	Количество промежуточных подливок	Количество горячих ремонтов	Удельный расход желобной смеси, кг/т
АО БКО	240	301,361	2	1	0,297
	240	269,116	1	1	0,268
	300	431,672	1	3	0,206

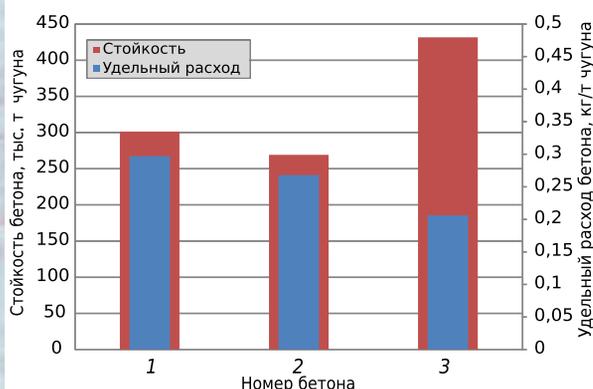


Рис. 6. Стойкость футеровок и удельный расход огнеупорного бетона главного желоба № 2 доменной печи № 9 ММК: 1 — бетон Borcast-SiC3; 2 — бетоны Borcast-SiC3 для зоны шлака и Borcast-SiC3 72-16 для зоны чугуна; 3 — оптимизированные составы смесей Borcast-SiC3 для зоны шлака и Borcast-SiC3 72-16 для зоны чугуна

Таблица 8. Физико-химические свойства бетонов Borcast-74 SiC15 и Borcast 57 SiC25

Показатели	Норма для марки	
	Borcast-74 SiC15 (зона чугуна)	Borcast-57 SiC25 (зона шлака)
Массовая доля, %:		
Al ₂ O ₃ , не менее	74	57
CaO, не более	1,5	1,5
SiC, не менее	15	25
Предел прочности при сжатии после обжига (1000 °С), МПа, не менее	30	
Кажущаяся плотность после обжига (1000 °С), г/см ³ , не менее	2,70	2,65
Массовая доля влаги при отгрузке, %, не более	0,7	
Зерновой состав, %:		
остаток на сетке № 10, не более	10	
проход через сетку № 0063, не менее	25	

ливкой и 3 горячими ремонтами набивной массой. Удельный расход желобной смеси составил 0,206 кг/т, что ниже нормативного значения 0,26 кг/т и находится на уровне расхода при серийном применении смесей.

На основании результатов испытаний и оценки экономической эффективности применения в условиях ПАО ММК смеси марки Borcast-

SiC3 для зоны шлака и Borcast-SiC3 72-16 для зоны чугуна рекомендованы к серийному применению для футеровки горновых желобов доменных печей.

В настоящее время оптимизированным составам смесей присвоены марки Borcast-74 SiC15 для зоны чугуна и Borcast-57 SiC25 для зоны шлака.

В связи с постоянно совершенствующимся процессом выплавки чугуна в ЦСТИП проводятся исследования по оптимизации вещественного состава шихты смесей для футеровки главных желобов доменного производства с целью получения универсальной смеси без разделения на зоны.

Результаты работ в области бетонов для доменного производства потребовали восстановления в АО БКО собственного участка плавки огнеупорных материалов с применением новых технологий производства.

Бетоны для сталеплавильного производства

Специалистами АО БКО разработан ряд бетонных смесей серии Borcast для рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей и арматурного слоя промежуточных ковшей, отличающихся содержанием оксида алюминия (от 70 до 96 %) и способом укладки (саморастекание и вибрирование).

Бетоны характеризуются длительным временем «живучести», низким количеством воды затворения, небольшой усадкой и высокой прочностью как после сушки, так и после обжига при 1300 °С, высокими термомеханическими свойствами.

В период 2011–2012 гг. специалистами научного центра разработана и внедрена бетонная смесь глиноземамагнезиального состава марки Borcast-96WTA для изготовления монолитной футеровки дна сталеразливочного ковша, гнездовых блоков сталеразливочного узла, элементов свода крышки дуговых сталеплавильных печей.

Опытно-промышленные испытания смеси глиноземамагнезиального состава на различных металлургических предприятиях позволили получить межремонтную стойкость бетонной футеровки 50 плавов.

В условиях жесткой конкуренции среди поставщиков бетонных смесей исследования по совершенствованию состава были продолжены. Растущие требования к качеству и стойкости бетона в период 2012–2014 гг. инициировали





Таблица 9. Физико-химические свойства бетонных смесей семейства Borcast для сталеразливочного производства

Показатели	Borcast-96 WTA (корундошпинельная виброукладываемая)	Borcast-80 S (муллитовая саморастекающаяся)	Borcast-70 ST (муллитовая саморастекающаяся термостойкая)	Borcast-70 WT (муллитовая виброукладываемая термостойкая)
Массовая доля, %:				
Al ₂ O ₃ + MgO, %, не менее	96	–	–	–
Al ₂ O ₃ , %, не менее	–	80	70	70
Fe ₂ O ₃ , не более	1,0	1,2	1,1	1,1
SiO ₂ не более	1,0	–	–	–
CaO	1–2	1–2	1–2	1–2
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее:				
после сушки при 110 °С	50	–	–	–
после обжига при 1300 °С	80	60	45	40
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее, после обжига при 1300 °С	2,90	2,70	2,65	2,55
Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены	–	–	30	30
Зерновой состав, %:				
остаток на сетке № 7, не более	10	10	10	10
проход через сетку № 0063, не менее	20	30	30	30

разработку нового вида продукции глиноземшпинельного состава для монолитной футеровки дна сталеразливочного ковша с гарантированной стойкостью не менее 100 плавов за одну кампанию.

В результате проведенных исследований разработан новый состав с использованием нового типа связующего, которому присвоена марка Borcast-96 WTP.

Физико-химические свойства бетона Borcast-96 WTP представлены ниже:

Массовая доля, %:	
Al ₂ O ₃ + MgO, не менее.....	96
CaO, не более.....	2,0
Fe ₂ O ₃ , не более.....	1,0
SiO ₂ , не более.....	1,0
Предел прочности при сжатии после обжига при 1500 °С, МПа, не менее.....	100
Кажущаяся плотность после обжига при 1500 °С, г/см ³ , не более.....	3,10
Остаточные изменения размеров при нагреве, %, при 1500 °С, не более.....	0,8
Массовая доля влаги при отгрузке, %, не более.....	0,7
Зерновой состав, %:	
остаток на сетке № 6, не более.....	10
проход через сетку № 0063, не менее.....	20

Введение нового типа связующего обеспечивает высокую коррозионную стойкость. Равномерное распределение компонентов за счет сбалансированного зернового состава позволяет повысить плотность упаковки и предел прочности при сжатии после высокотемпературного обжига, при этом снижается общий объем пор.

Необходимо, однако, отметить увеличение практически в 2 раза газопроницаемости бетона BORCAST-96 WTP относительно этого показателя бетона BORCAST-96 WTA, что благоприятно влияет на сушку бетонной футеровки в услови-

ях потребителя (газопроницаемость определяется в АО БКО на приборе ПСХ 12SP).

В ходе опытно-промышленных испытаний смеси Borcast-96 WTP (2014–2016 гг.) подробно изучен процесс сушки бетонных футеровок различных тепловых агрегатов предприятий с целью его интенсификации. Для обеспечения безаварийной сушки в состав бетона вводится органическое волокно.

Добавка является эффективным средством для увеличения проницаемости бетона и трещиностойкости конструкций за счет создания в его структуре связанной многоканальной системы пор. Для получения такой системы пор используются волокна с определенными техническими параметрами, влияющими на начало и скорость термоокислительной деструкции.

Для повышения строительной прочности и термостойкости по запросу потребителя бетон может быть армирован стальной фиброй как из обычной, так и из низкоуглеродистой стали.

Опыт использования разработанной бетонной смеси марки Borcast-96 WTP в условиях металлургических предприятий позволил обеспечить сушку и разогрев футеровки без взрывного растрескивания, при этом межремонтная стойкость бетонной футеровки сталеразливочного ковша в условиях конвертерного производства ПАО «Северсталь» достигла 101 плавки. Схема футеровки представлена на рис. 7.

С использованием научно-исследовательского потенциала и высокоточного измерительного оборудования ЦСТИП успешно решаются задачи по оптимизации состава низкоцементных бетонов для выполнения монолитных футеровок, адаптированных к условиям эксплуатации у потребителей.



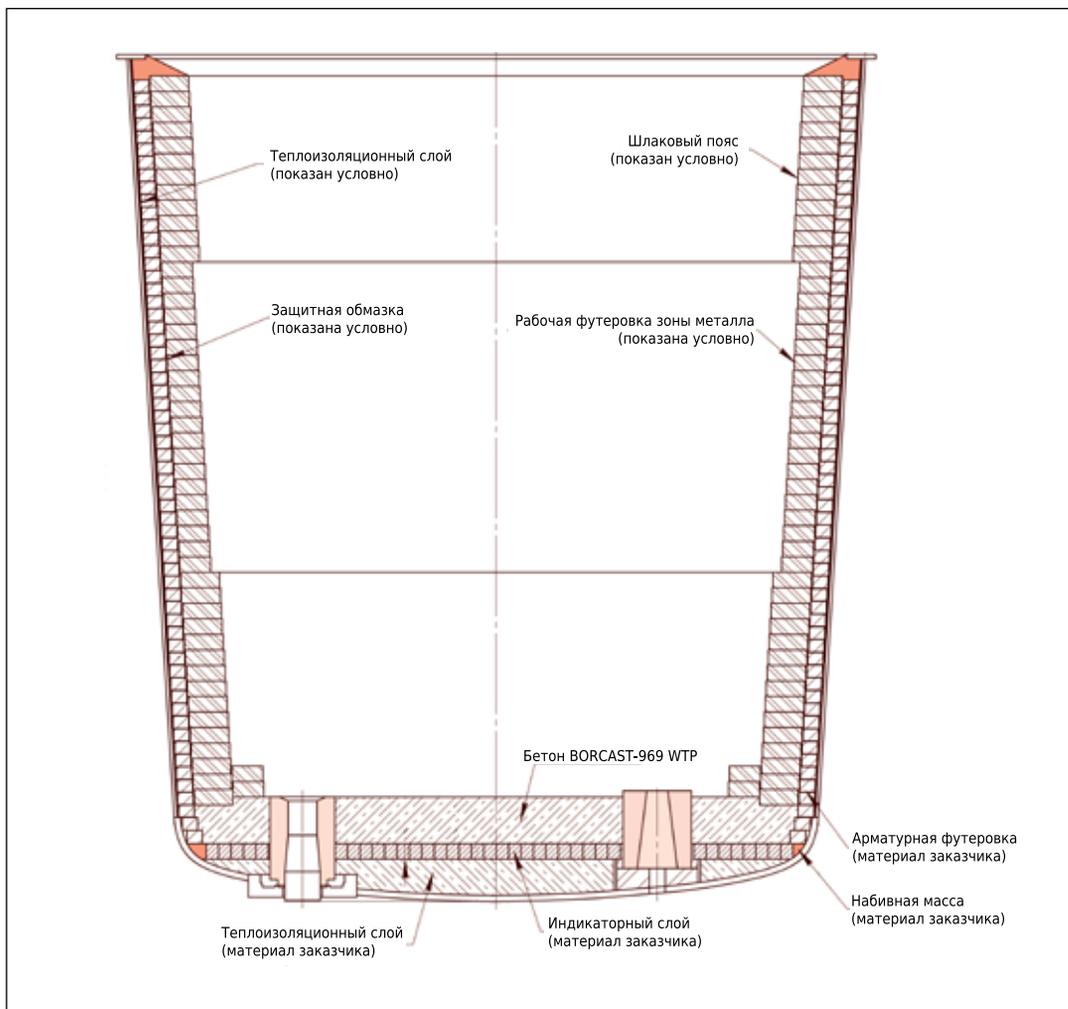


Рис. 7. Схема футеровки сталеразливочного ковша с дном из бетона BORCAST-96 WTP

Заключение

Несмотря на солидный возраст, акционерное общество «Боровичский комбинат огнеупоров» динамично развивается и уверенно смотрит в будущее. Расширяя спектр своей деятельности, разрабатывает и производит новые виды продукции, по своим техническим и ресурсным характеристикам превосходящие отечественные и зарубежные аналоги.

Только при постоянном движении вперед, поиске комплексных решений и инноваций повышается конкурентоспособность продукции, выпускаемой на комбинате. Коллектив предприятия с уверенностью смотрит в будущее, ведь реализация новых проектов дает неоценимый опыт и открывает новые перспективы.

Библиографический список

1. **Прошкин, А. В.** BorABF — огнеупорные изделия для кладки печей обжига анодов / А. В. Прошкин [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2016. — № 1/2. — С. 3–14.
2. **Вальц, В.** Применение андалузита в печах обжига анодов / В. Вальц, Х. Паскаль // Аллюминий Сибири-2006 г. : сб. науч. статей / Красноярск : Бона компани, 2006. — С. 289–298.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Неформованные огнеупоры : справочное изд. В 2 томах. Т. 1. Кн. 1. Общие вопросы технологии / Ю. Е. Пивинский. — М. : Теплоэнергетик, 2003. — С. 14–20. ■

© А. П. Маргишвили, С. И. Гершкович,
А. Н. Иксанова, И. Г. Белова, Ф. Р. Иксанов,
В. В. Скурихин, 2017 г.

