

Уважаемые коллеги!

Примите наши искренние поздравления по случаю знаменательного события — 20-летия со дня основания группы компаний «ВПО Сталь»!

В настоящее время Ваша компания занимает лидирующие позиции на рынке и по праву имеет репутацию надежного делового партнера. Продукция компании широко известна не только в России, но и за ее пределами. За этим заслуженным признанием стоит огромный труд профессионалов, работающих в компании, талант и опыт руководителей, преданность коллектива и безупречное служение общему делу.

Желаем Вашей компании и всем сотрудникам компании «ВПО Сталь» доброго здоровья, огромных творческих сил и новых удачных широкомасштабных проектов!

Главный редактор журнала
«Сталь»
О. Н. Сосковец



Главный редактор журнала
«Новые огнеупоры»
Б. Л. Красный



К 20-летию компании «ВПО Сталь»

К. т. н. **Н. С. Съёмщиков**¹, к. т. н. **А. А. Кондрукевич**², к. т. н. **К. Н. Бельмаз**³, **Я. А. Минаев**¹



¹ ООО «ВПО Сталь», Москва, Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия

³ Компания «Corwintec Europe, Ltd», г. Дублин, Ирландия

УДК 666.76:[669.18.046.5:621.746.32

РАЗРАБОТКА ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ (обзор опыта работы)

Рассмотрены наиболее известные при настоящем уровне техники схемы футеровки сталеразливочных ковшей. Оценены ее преимущества и недостатки. Приведены варианты проведения локального горячего ремонта сталеразливочных ковшей.

Ключевые слова: сталеразливочный ковш, футеровка, огнеупорные изделия, арматурный, теплоизоляционный и рабочий слои футеровки.

В настоящее время снижение удельных затрат на футеровку тепловых агрегатов при производстве стали — одна из важнейших задач металлургических предприятий, производящих сталь в странах СНГ. С другой стороны, металлургические предприятия осваивают производство новых марок сталей, и, соответственно, огнеупоры должны быть адаптированы к новым условиям производства. При этом вопросы, касающиеся снижения удельных затрат на огнеупоры для футеровки, остаются актуальными. На рис. 1, а показано распределение удельных затрат на огнеупоры в металлургическом производстве. Доля сталеплавильного производ-

ства составляет 55—65 %. При этом ведущую роль в формировании удельных затрат огнеупоров в сталеплавильном производстве занимает сталеразливочный ковш (35—45 %, рис. 1, б). Поэтому поиск способа снижения удельных затрат на футеровку сталеразливочного ковша является важнейшей задачей.

Современная разработка дизайна футеровки сталеразливочного ковша агрегата печь-ковш требует не только глубоких знаний технологии металлургических процессов, протекающих в сталеразливочном ковше, но и умения комплексно оценивать совокупность факторов, влияющих на систему разливки и

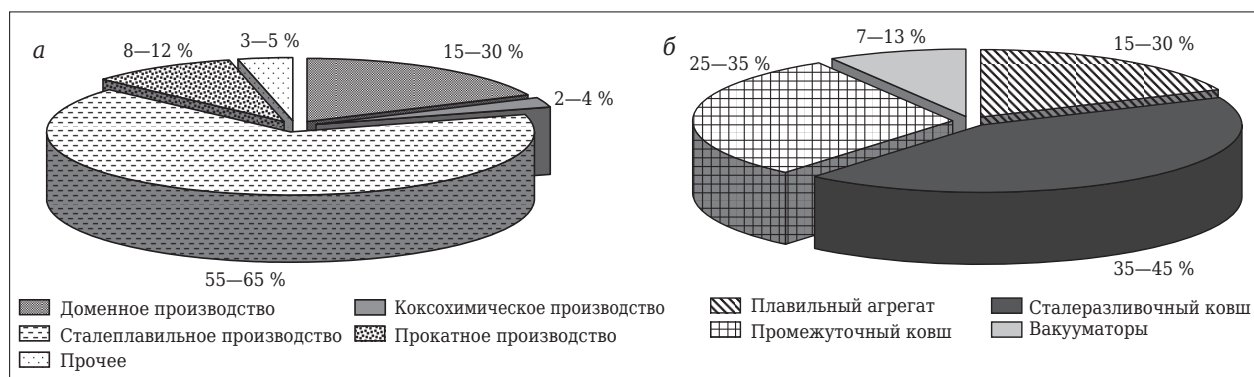


Рис. 1. Распределение удельных затрат на огнеупоры в металлургическом производстве: а — по всему металлургическому переделу; б — по сталеплавильному производству

обработки стали. Важнейшим показателем правильно разработанной футеровки является ее стойкость, которая характеризуется числом теплосмен за кампанию сталеразливочного ковша. При эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей наблюдается ее неравномерный износ в различных зонах; наибольшему износу подвержены шлаковая зона и «бойная» зона дна ковша. Следует отметить, что скорость износа футеровки в шлаковой зоне в 1,0–4,0 раза выше, чем скорость износа футеровки в зоне стали, в зависимости от марки выплавляемой стали и технологии ее внепечной обработки.

В настоящей работе рассматриваются основные виды футеровки сталеразливочного ковша, включающие теплоизоляционный, арматурный и рабочий слой дна, стен (зона стали и шлаковый пояс), а также зоны опорного кольца свободного борта. Приведены некоторые факторы, определяющие разработку необходимой концепции дизайна футеровки сталеразливочного ковша. Основными критериями для разработки футеровки служат данные о тепловом агрегате, а именно:

- вместимость сталеразливочного ковша и конструкционные особенности плавильного агрегата и сталеразливочного ковша;
- технологические возможности по обеспечению графиков сушки, разогрева и ввода в эксплуатацию сталеразливочных ковшей;
- оборачиваемость сталеразливочных ковшей;
- металлургические факторы, а именно:
 - сортамент выплавляемой стали;
 - температура плавки на выпуске из конвертера;
 - температура плавки после обработки на установке печь-ковш (УПК);
 - длительность пребывания плавки в сталеразливочном ковше, включая длительность обработки плавки аргоном, пребывания плавки на УПК, вакууматоре и т. д.;
 - доля присадок в сталеразливочный ковш (извести, плавней, флюсов, порошко-

вой проволоки), при этом особое внимание уделяется количеству введенного общего кальция, который играет важную роль при выборе качества материалов для дна и стен;

- основность шлака;
- требование к химическому составу огнеупора, как к источнику неметаллических включений в металле, и т. д.

На основании этих критериев разрабатывается композиция шихтовых материалов, отвечающая требованиям конкретного потребителя. Однако индивидуальный подход к футеровке сталеразливочных ковшей подразумевает не только знания металлургических факторов, влияющих на нее, но и особенности технологии сборки футеровки, позволяющие решать некоторые задачи, связанные непосредственно с ее стойкостью. В настоящее время для футеровки сталеразливочных ковшей используют различные схемы. Ниже приведены основные концепции футеровки, предлагаемые ООО «ВПО Сталь» и компанией «Corwintec Europe, Ltd», положительно зарекомендовавшие себя на металлургических предприятиях России и Украины. Рассмотрим комплексную футеровку сталеразливочного ковша от теплоизоляционного слоя до рабочего.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ СЛОЙ

При анализе распределения тепловых нагрузок на теплоизоляционный слой, сохраняющий тепло и защищающий металлический ковш сталеразливочного ковша от перегрева, ложится основная доля нагрузки — до 40–50 % (рис. 2). Можно выделить три основных вида используемой теплоизоляции: волокнистую, кирпичную и из теплоизоляционного бетона. Нередко используют некоторые комбинации этих теплоизоляционных материалов.

Волокнистая теплоизоляция (в виде одеял, формованных плит, фетра и т. д.) выполняется из асбестового, муллитокремнеземистого

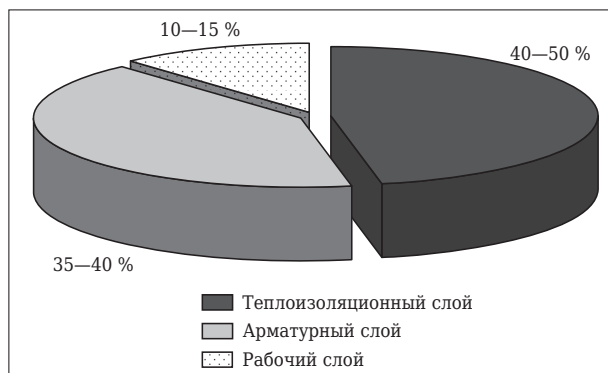


Рис. 2. Распределение тепловой нагрузки на слои футеровки сталеразливочного ковша

волокна и т. д. Имеет неоспоримое преимущество из-за низкой теплопроводности. Например, для некоторых материалов из муллитового волокна может быть обеспечена теплопроводность до 0,02 Вт/(м·К). Главный недостаток волокнистой теплоизоляции — низкий предел прочности при сжатии.

Кирпичная теплоизоляция выполняется из легковесного и ультралегковесного кирпича. Преимущества этой теплоизоляции — низкая теплопроводность и удовлетворительная механическая прочность, существенные недостатки — сложность выполнения кладки и наличие швов, увеличивающих термическое напряжение в соответствующих участках футеровки.

Использование теплоизоляционного торкрет-бетона позволяет не только комбинировать преимущества волокнистой и кирпичной футеровки, но и избежать некоторых недостатков, присущих первым двум способам, так как обеспечивает целостность (бесшовность) покрытия и простоту нанесения. Применение технологии торкретирования позволяет избежать деформации теплоизоляционного слоя, приводящей к увеличению теплопроводности при продолжительных кампаниях эксплуатации сталеразливочного ковша. Совместное использование теплоизоляционного торкрет-бетона и арматурного бетона полностью исключает растрескивание. Однако применение данного способа требует наличия специального оборудования — торкрет-машин.

АРМАТУРНЫЙ СЛОЙ

Для футеровки сталеразливочных ковшей применяют два вида арматурного слоя: кирпичный и бетонный. Достаточно часто на предприятиях используют универсальную схему, когда один материал устанавливают в зону стали и в шлаковый пояс. Хотя периодически используется двухзонная футеровка, т. е. для

зоны стали устанавливаются материалы одного химического состава, а для шлакового пояса — другого, с большей химической стойкостью к агрессивному воздействию шлака для защиты от проникновения шлака и металла через рабочий слой. Основными критериями при подборе схемы арматурного слоя являются вместимость сталеразливочного ковша и его конструкционные особенности, механизация и оснащённость футеровочного участка и климатические условия. При выполнении арматурного слоя возможно использование трех разных вариантов кладки: из прямого кирпича, из клиновидного, из пазогребневого. Последний вариант значительно лучше первых двух, так как кирпич получает дополнительный способ фиксации за счет рядом стоящих изделий и увеличения поверхности их соприкосновения между собой, что положительно сказывается на ресурсе службы арматурного слоя. Средняя стойкость кирпичного арматурного слоя 2—3 кампании эксплуатации рабочего слоя (170—250 плавов). При использовании пазогребневого кирпича в совокупности с бетонным звеном под опорным кольцом такая схема позволяет обеспечить стойкость до 1000 плавов и более при сравнительно низких удельных затратах.

Важнейшими преимуществами монолитного арматурного слоя являются: его достаточно высокая стойкость (1200—2000 плавов), ремонтпригодность, 100 %-ная сплошность слоя и защита от проникновения расплава через швы.

РАБОЧИЙ СЛОЙ

Рабочий слой футеровки сталеразливочного ковша непосредственно контактирует с агрессивной средой жидких продуктов плавки, обеспечивает работоспособность ковша. Наиболее ответственная зона футеровки дна — зона сопряжения его со стеной. Эта зона может выполняться различными способами (рис. 3).

Использование неформованных материалов при футеровке дна сталеразливочного ковша имеет следующие преимущества — ремонтпригодность, возможность горячих локальных подливок через кессоны, а также холодного ремонта при замене футеровки стен. Недостатки — строгие режимы и условия ввода сталеразливочных ковшей в работу (температура окружающей среды, особенно в зимний период; режим и длительность сушки и разогрева футеровки).

Использование формованных изделий при футеровке дна сталеразливочного ковша имеет ряд преимуществ: экономия энергоресурсов на ввод сталеразливочного ковша в эксплуатацию (сокращение длительности сушки и нагрева с

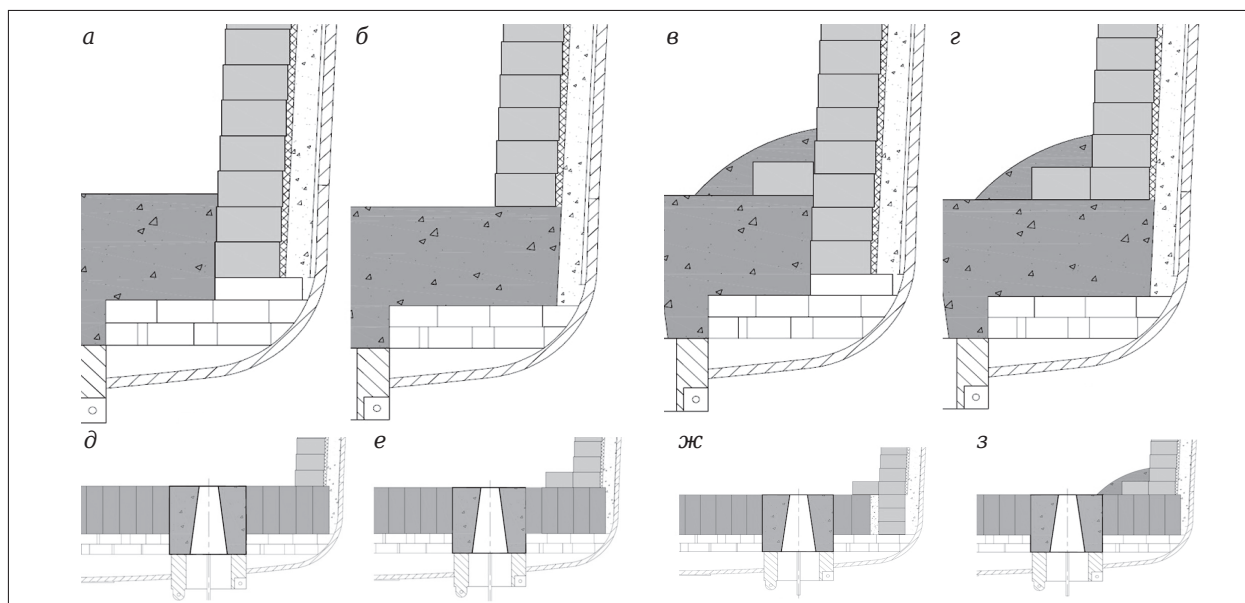


Рис. 3. Схема футеровки сопряжения кирпичных стен и бетонного дна сталеразливочного ковша: а — погруженные ряды в бетонное дно; б — надставленные ряды; в, г — с «защитным» кольцом и набивкой вокруг него (в — ряды, погруженные в бетонное дно; г — надставленные ряды); д — без «защитного» кольца; е — с «защитным» кольцом; жс — «островная» схема с «защитным» кольцом; з — с «защитным» кольцом и набивкой вокруг него

48 до 16 ч); сокращение общего ремонтного срока футеровки сталеразливочного ковша; возможность локального усиления участков повышенного износа. Недостатки — невозможность проведения локального ремонта формованными изделиями. Локальный ремонт может производиться только при наличии у потребителя технологии горячего торкретирования сталеразливочных ковшей.

При сопряжении стен и дна футеровки сталеразливочного ковша нередко используют дополнительное усиление этой зоны кладкой «защитного» кольца, а иногда и набивки вокруг него (см. рис. 3, в—з); нередко «защитное» кольцо может быть выложено по высоте в два ряда.

Следующая ответственная зона футеровки дна сталеразливочного ковша — зона падения струи металла («бойная» зона). «Бойная» зона может выполняться с применением формованных изделий по нескольким вариантам.

1. Изменение химического состава изделий — когда «бойная» зона собирается из изделий с улучшенным химическим составом и большей механической прочностью.

2. Изменение формата — когда «бойная» зона собирается из изделий такого же химического состава, как и остальное дно, но с увеличением толщины дна на участке падения струи металла.

3. Изменение химического состава и формата — когда выполняются оба условия. Такой вариант используется при сборке дна из кирпича на сталеразливочных ковшах со значи-

тельным износом «бойной» зоны при выпуске металла из плавильных агрегатов (рис. 4, а).

4. Применение блочной «бойной» зоны, выполненной по бетонной технологии (рис. 4, б) из бетона, как правило корундового, корундошпинельного или шпинельнокорундового состава. Блок может выполняться такой же толщины, как и остальное дно, или может быть усилен по толщине в зависимости от средней скорости износа «бойной» зоны.

Футеровка «бойной» зоны неформованными материалами осуществляется заливкой огнеупорного бетона как без усиления по толщине «бойной» зоны, так и с усилением или с установкой в «бойной» зоне отформованного блока из бетона, аналогичного бетону дна ков-

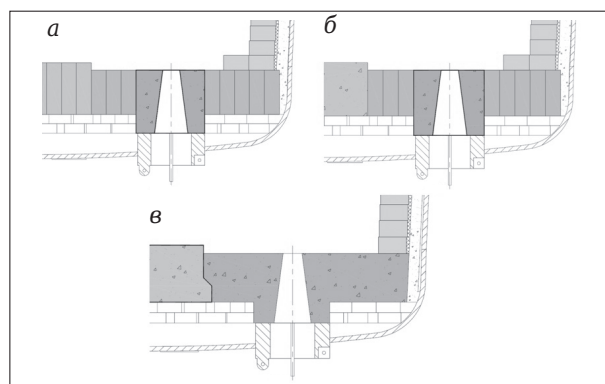


Рис. 4. Схема футеровки «бойной» зоны дна сталеразливочного ковша: а — кирпичное усиление с кирпичным дном; б — блочное усиление с кирпичным дном; в — блочное усиление с бетонным дном

ша. В некоторых случаях, когда падение струи металла происходит не вертикально, а с некоторым уклоном в направлении стены сталеразливочного ковша, усиление «бойной» зоны осуществляется выкладыванием дна с выходом на стену падения струи металла.

Рабочий слой стен и шлакового пояса также подвержен напряжениям, превышающим допустимые и вызывающим его разрушение, а концентраторы, являющиеся районами зарождения трещин, возникают на участках выступов кладки [1]. Анализ эксплуатации футеровок сталеразливочных ковшей на различных предприятиях позволяет разделить их на два основных типа:

равностойкие — когда стойкость футеровки стен зоны стали и шлакового пояса одинаковая. Характерный дизайн — ширина стен значительно меньше ширины шлакового пояса, коэффициент скорости износа (отношение скорости износа футеровки шлакового пояса к скорости износа футеровки зоны стали) менее 1,45:

$$k_v = \frac{V_{\text{шлак}}^{\text{износа}}}{V_{\text{сталь}}^{\text{износа}}},$$

где $V_{\text{шлак}}^{\text{износа}}$ — средняя скорость износа футеровки в шлаковом поясе; $V_{\text{сталь}}^{\text{износа}}$ — средняя скорость износа футеровки в зоне стали;

с использованием ремонтных комплектов — когда наблюдается опережающий износ футеровки шлакового пояса по отношению к футеровке зоны стали. Характерный дизайн — использование ремонтного комплекта шлакового пояса (возможен также ремонт дна ковша), коэффициент скорости износа более 1,45.

Сопряжение между зоной стали и шлаковым поясом выполняется несколькими способами:

- *равнотолщинная схема* — когда толщина стены зоны стали равна толщине кирпича в шлаковом поясе (рис. 5, а). Схема характерна для равностойкой футеровки сталеразливочных ковшей средней вместимости и случаях, когда $V_{\text{шлак}}^{\text{износа}} \approx V_{\text{сталь}}^{\text{износа}}$, а также для ремонтных комплектов шлакового пояса;

- *разнотолщинная схема* — когда толщина кирпича в шлаковом поясе больше толщины стены зоны стали, но не более чем на 20–25 % (рис. 5, б). Схема используется для футеровки сталеразливочных ковшей любой вместимости, когда $V_{\text{шлак}}^{\text{износа}} > V_{\text{сталь}}^{\text{износа}}$;

- *дифференцированная схема* — когда толщина кирпича в шлаковом поясе больше на 20–25 % толщины стены зоны стали (рис. 5, в); при этом между ними выкладывается зона кирпича промежуточных форматов, позволяющая

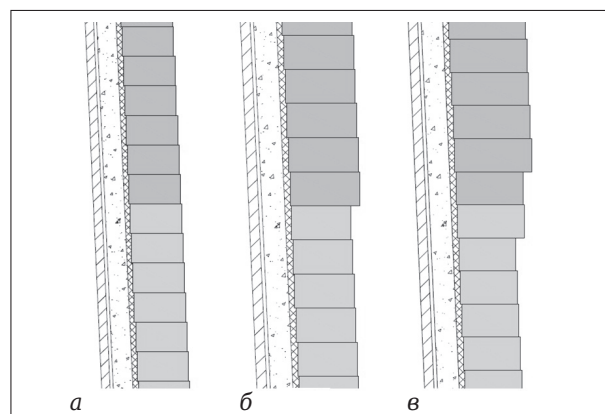


Рис. 5. Схема футеровки стен сталеразливочного ковша (сопряжение зоны стали и шлакового пояса): а — равнотолщинная; б — разнотолщинная; в — дифференцированная

снизить механические напряжения на кладку (предел прочности при изгибе). Схема используется для футеровки сталеразливочных ковшей любой вместимости, когда $V_{\text{шлак}}^{\text{износа}} \gg V_{\text{сталь}}^{\text{износа}}$.

На стойкость рабочего слоя стен значительно влияет состояние опорного кольца сталеразливочного ковша, которое должно обеспечивать плотность примыкания кирпичных рядов. Поэтому футеровка этого слоя является достаточно важной, поскольку ее неудовлетворительное исполнение может привести к раскрытию швов кладки в процессе эксплуатации. Существует несколько вариантов выполнения футеровки опорного кольца: набивка массой или заливка бетоном сегментов кольца (рис. 6, а), подбивка массой под кольцо и заливка огнеупорным бетоном (рис. 6, б), установка обратного клиновидного кирпича пятового формата (рис. 6, в) — касетированного кирпича. Первые две схемы футеровки опорного кольца наиболее простые и не требуют особых затрат, но имеют значительный недостаток: при демонтаже настелей на борту возможен обрыв футеровки опорного кольца с раскрытием швов кладки верхних рядов. Схема

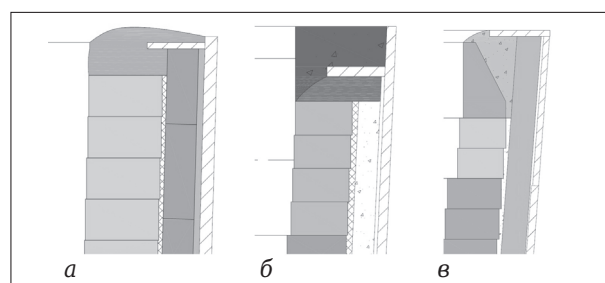


Рис. 6. Схема футеровки под опорным кольцом сталеразливочного ковша: а — набивка массой или заливка бетоном сегментов кольца; б — подбивка массой под кольцо и заливка огнеупорным бетоном; в — установка обратного клиновидного кирпича пятового формата

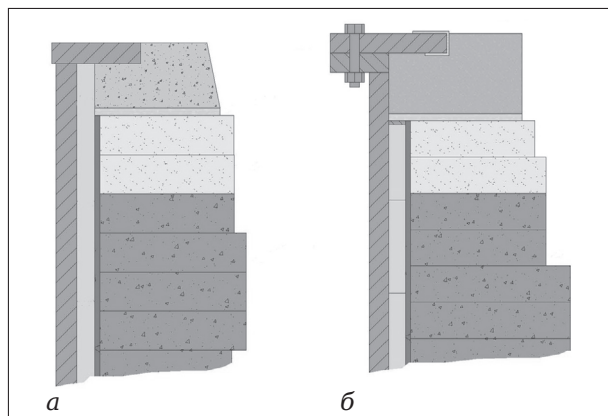


Рис. 7. Схема футеровки опорного кольца сталеразливочных ковшей средней и большой вместимости: а — приваренные сегменты; б — болтовая фиксация сегментов

с использованием кирпича в этом случае более надежна, но ее основным недостатком является возможность проникновения металла через вертикальные швы кассетированного кирпича при переливе сталеразливочного ковша.

Для усиления конструкции с заливкой бетоном опорного кольца применяют болтовую фиксацию сегментов опорного кольца (рис. 7, б), которая позволяет производить ее замену при горячем ремонте сталеразливочного ковша без охлаждения всей футеровки стен и дна. Эта технология максимально способствует увеличению продолжительности кампании сталеразливочного ковша, а использование горячего торкретирования участков свободного борта совместно с горячим торкретированием шлакового пояса позволяет не проводить промежуточный ремонт с заменой этих участков, а достичь равностойкости футеровки на уровне 85—100 плавов, снизить удельный расход и сэкономить время на проведение промежуточных ремонтов.

В зависимости от вместимости сталеразливочного ковша шлаковый пояс можно начинать торкретировать с 50—65-й плавки, периодичность торкретирования — после каждых 8—10 плавов, торкретирование свободного борта — при необходимости после удаления настыва каждые 8—10 плавов. Это позволит исключить замену шлакового пояса и снизить механический ремонт обмуровки на 50 % и удаление отработанных кирпичей из верхних рядов на 75 %. Аналогичную технологию используют при горячем ремонте продувочного и шибера блока методом торкретирования или укладки бетона через кессон.

Таким образом, анализ металлургических факторов, особенностей конструкций плавильного агрегата и сталеразливочного ковша, а также обеспечение оборудованием на футеровочных

участках металлургических предприятий позволяют рекомендовать наиболее оптимальную схему футеровки и технологию ее выполнения для потребителя. Компания «ВПО Сталь» совместно с компанией «Corwintec Europe, Ltd» ведет постоянную работу по оптимизации различных видов футеровки; достигнуты положительные результаты на сталеразливочных ковшах различной вместимости. С применением равностойкой периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочных ковшей достигнута стойкость 85—90 плавов стали рядового сортамента со средним количеством присадок FeCa до 21,0 кг/т и CaC₂ до 12,0 кг/т. Проведены работы по изменению схем футеровки ковшей с меньшей стойкостью, но с увеличенной вместимостью и исключением промежуточных ремонтов. Это позволяет значительно уменьшить удельные затраты при увеличении вместимости сталеразливочного ковша, что особенно актуально для предприятий, в которых сталь обрабатывается в камерных вакууматорах. Таким образом, разработка оптимальной футеровки сталеразливочного ковша позволяет значительно снизить удельный расход материалов на различные зоны футеровки и соответственно общие удельные затраты.

1. Использование эффективной теплоизоляции, подобранной для каждого конкретного случая, позволяет снизить тепловую нагрузку на кожу сталеразливочного ковша на 15—35 % и повысить стойкость футеровки.

2. Применение монолитной арматурной футеровки или с частичным использованием пазогребневого кирпича позволяет достичь стойкости арматурного слоя более 1100 плавов.

3. Анализ скорости износа рабочего слоя футеровки при комплексной оценке условий эксплуатации позволяет определить возможность достижения равностойкости всех зон футеровки или оптимизировать проведение промежуточных ремонтов. Кроме того, внедрение технологии проведения горячих ремонтов шибера и продувочных блоков, а также шлаковых поясов обеспечивает достижение равностойкости всех зон футеровки сталеразливочного ковша.

Библиографический список

1. *Салмаш, И. Н.* Исследование напряженного состояния и прочности футеровки сталеразливочных ковшей / И. Н. Салмаш, А. Н. Смирнов // Металл и литье Украины. — 2010. — № 9/10. — С. 48—54.
2. Огнеупоры. Технология строительства и ремонта печей ; пер. с яп. — М. : Металлургия, 1980. — 384 с. ■

Получено 10.06.13

© Н. С. Съёмщиков, А. А. Кондрукевич,
К. Н. Бельмаз, Я. А. Минаев, 2013 г.