Огнеупорная концепция компании UCAR® - новые достижения сроков службы футеровки лещади и горна доменных печей по состоянию на 2010 год.

Питер Силвен, Питер Л. Дункансон

Системы Огнеупоров UCAR®
GrafTech International Holdings Inc.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ

С 1991 года металлургический холдинг Shougang, Китай, построил 10 доменных печей, футеровка лещади и горна которых была выполнена по технологии тонкостенной «намерзающей» футеровки компании UCAR® с применением малоразмерных горячепрессованных кирпичей HotPressed™. В статье рассматриваются четыре из десяти доменных печи, а именно, очень большая ДП-1 комбината Shougang Jingtang в провинции Хэбэй; диаметр горна **15,5 м**, задута в 2008 году, а также ДП-1, 3 и 4 комбината Shougang. В марте 2010 года эти три доменные печи **побили рекорд Китая, как по сроку службы, так и по общей производительности** на кубический метр рабочего объема. Другими лидирующими предприятиями, которые недавно рапортовали о рекордных достижениях доменных печей, являются Baosteel, TATA Corus Scunthorpe, AK Steel and Benxi; эксплуатационные показатели футеровки лещади и горна их доменных печей также обсуждаются в статье. Кроме описания огнеупорных материалов, в статье представлена подтвержденная на практике концепция «намерзающей» футеровки лещади и горна ДП, а также сама конструкция футеровки, позволяющая добиваться таких рекордов.

1. Вводная часть

Рисунок 1: Доменное производство комбината Shougang; современные технологии.

В 1991 году Shougang Group, одно из лидирующих сталеплавильных предприятий Китая, выполнило свою первую «намораживаемую» футеровку UCAR®. Смена фундаментальных

концепций выбора футеровки лещади и горна для доменщиков является серьезным событием; в огромной степени рентабельность всего предприятия базируется на объёме выпуска и степени использования доменной печи. Кроме того, надежность футеровки горна является решающим вопросом безопасности. Принятие решения холдингом Shougang основывалось на рекомендациях и отзывах доменщиков со всего мира, а также на собственном горьком опыте использования больших углеродистых блоков при футеровке стен горна ДП. Например, до того, как в 1991 году доменная печь Shougang № 2 объемом 1726 м^3 была перефутерована изделиями UCAR®, две предыдущие кампании печи с **футеровкой из больших углеродистых блоков продлились всего от 3 до 6 лет**. Через 10 лет после укладки горячепрессованных кирпичей HotPressed™ футеровка горна сохранилась в хорошем состоянии. Именно поэтому было решено произвести перефутеровку доменных печей, используя произведенные в США огнеупоры. Этот шаг стал отличным показателем того, что предприятие Shougang приняло верное решение по перефутеровке всех своих других доменных печей, на 100% положившись на эксплуатационные качества футеровок UCAR®. Подтвержденная на практике концепция «намораживаемой» футеровки UCAR®, в отличие от технологии больших углеродистых блоков, основывается на применении малоразмерных горячепрессованных углеродистых и полуграфитированных кирпичей HotPressed™ с плотными цементными швами. Эти особенности являются критичными для хорошей передачи тепла к холодильникам с водяным охлаждением на протяжении всей кампании печи. Технологии футеровки будут подробнее обсуждаться в разделе 2 и 3. Компания Baosteel является ещё одним ведущим производителем чугуна, который побил рекорды на своей доменной печи объемом 4360 м^3. Огнеупоры лещади и горна ДП и технология футеровки сходны с теми, которые были применены предприятием Shougang, более подробное описание приведено в разделе 4 настоящей статьи. В 2009 году на конгрессе ICSTI (Международный совет по научно-технической информации) компания Benxi Iron and Steel опубликовала статью о том, как в настоящее время на всех своих четырех доменных печах стала применяться «технология долговечной футеровки из углеродистых кирпичей UCAR®», перейдя от 5 летнего срока службы футеровки к кампании, превышающую 15 лет. Более подробно материалы изложены в разделе 5. Кроме того, в статье приведены результаты, полученные предприятиями TATA Corus и AK Steel, двумя лидирующими производителями чугуна, которые гордятся достигнутыми рекордами по сроку службы футеровки лещади и горна доменных печей.

2. Механизм износа горна доменной печи

Износ стен горна доменной печи из традиционных больших и микропористых углеродистых блоков является результатом температурного напряжения, вызывающего трещины, высокой механической нагрузки, приводящей к растрескиванию блоков, разрушению и усадке набивной огнеупорной массы, химической воздействию и последующему снижению удельной теплопроводности с течением времени. Такой износ появляется в результате наличия многих сопутствующих факторов, включая чрезмерную толщину стен горна, отсутствие или недостаточную толщину компенсационных швов при тепловом расширении блоков, толстые разрушающиеся слои изолирующей набивной массы, которые приводят к значительному ухудшению свойства материалов. В результате высоких механических нагрузок из-за теплового расширения и перепадов температур в больших углеродистых блоках горна появляются трещины, которые нарушают способность блоков передавать тепло системе охлаждения. Поэтому температура блоков повышается по всей их толщине, особенно на рабочей поверхности футеровки. Это приводит к повышению температуры блоков выше критического значения около 800°C, когда возникают реакции цинка и щелочей, что вызывает химическую коррозию блоков. Кроме того, утрамбованная набивная масса у холодной поверхности

огнеупора обычно сжимается или разъедается паром/газом и становится барьером для эффективной передачи тепла, что еще больше способствует повышению температуры блоков.

Когда щелочи и цинк разъедают углерод, система связки разрушается, что приводит к потере прочности и теплопроводности, а также объёмному “разбуханию”, вызывающему анормальный рост вертикальной стены горна. Многие доменщики на своих печах наблюдали расширение стены горна, футеровка которой выполнена большими углеродистыми блоками, приводящее к подъему воздушных фурм/фурменных холодильников! По мере усиления химической коррозии, блоки еще больше теряют способность к теплопередаче, что приводит к еще большему росту температуры блока, включая горячую поверхность огнеупора. Заметим, что при чрезмерно толстых стенах горна температура горячей поверхности углеродистого блока будет равна температуре жидкого металла и шлака в домне.

При таких условиях давление в домне и гидростатическое давление жидкого металла нагнетает жидкие продукты плавки/газы/щелочи в поры горячего углерода. Происходит это только по той причине, что углерод и жидкие продукты плавки имеют одинаковую температуру, так как трещины в больших блоках препятствуют нормальному охлаждению углерода. С целью исключения проникновения жидких продуктов плавки в горячий углерод, некоторые производители выпускают углеродистые блоки с высоким процентным содержанием очень мелких пор (микропористые, супер-микропористые, ультра микропористые и пр.). Тем не менее, углеродистый блок даже с микропористой структурой все еще подвержен растрескиванию**.** Микропоры лишь препятствуют проникновению жидких продуктов плавки в углеродистые блоки при их нормальном охлаждении. Но из-за растрескивания, ухудшения свойств и усадки набивной массы, температура углеродистых блоков не может сохраняться на достаточно низком уровне, исключающем эффекта проникновения расплава в тело блока.
Рисунок 2 показывает типовые трещины, заметные в больших углеродистых блоках, через несколько лет эксплуатации.

Рисунок 2: Типовой износ и трещины в футеровке горна ДП из крупных углеродистых блоков, также называемые “кольцевыми трещинами” (В данном случае после 8-летней компании).

На рисунках 3-5 показан процесс износа футеровки. На рисунке 6 представлен типовой профиль износа типа “слоновья нога” в футеровках из больших блоков – футеровка была изношена до такой толщина, когда возникает необходимость остановки печи.

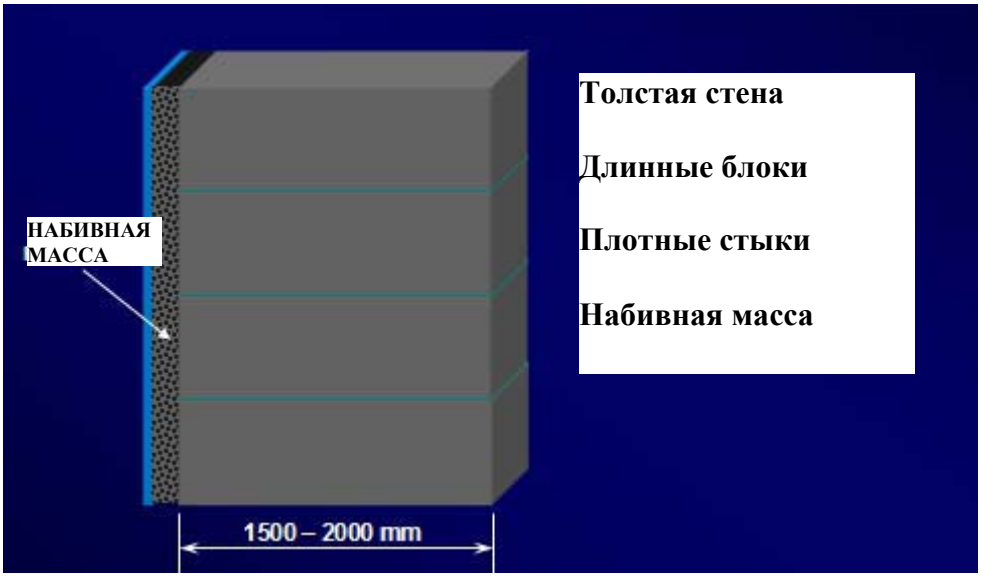


Рисунок 3: Типовая конструкция футеровки горна ДП из больших микропористых углеродистых блоков

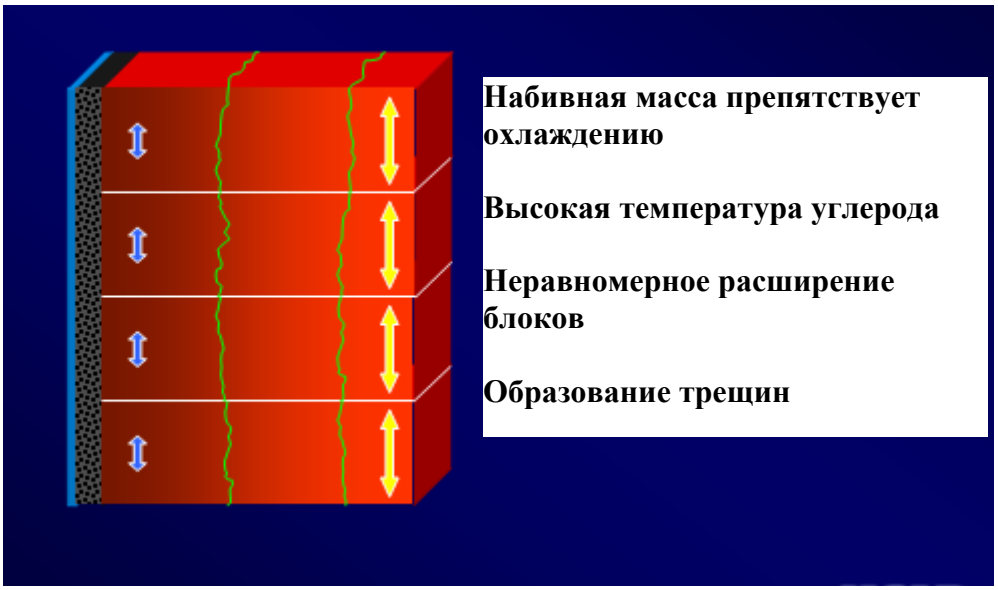


Рисунок 4: Процесс износа футеровки из микропористых углеродистых блоков

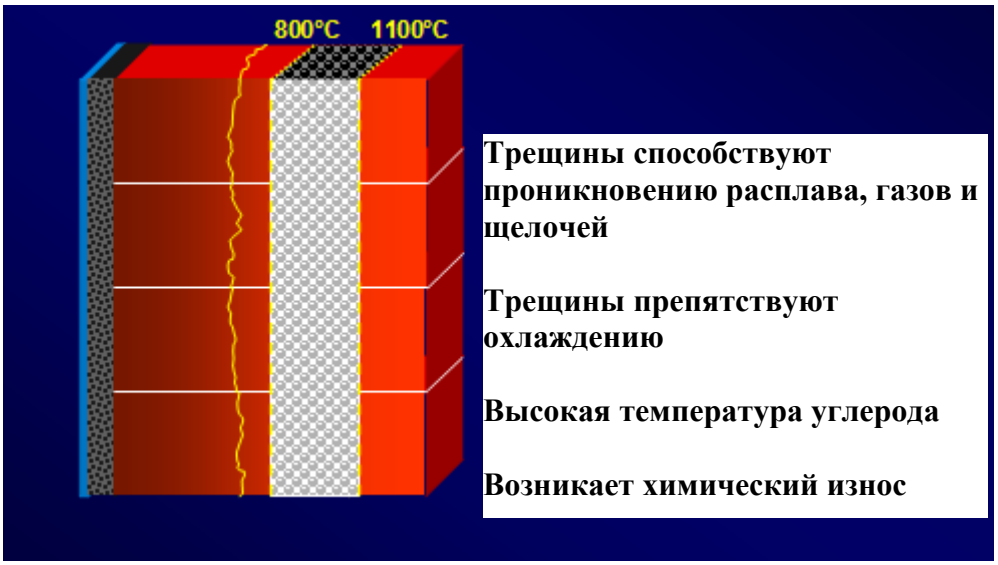


Рисунок 5: Процесс износа футеровки из микропористых углеродистых блоков – материал «съедается»

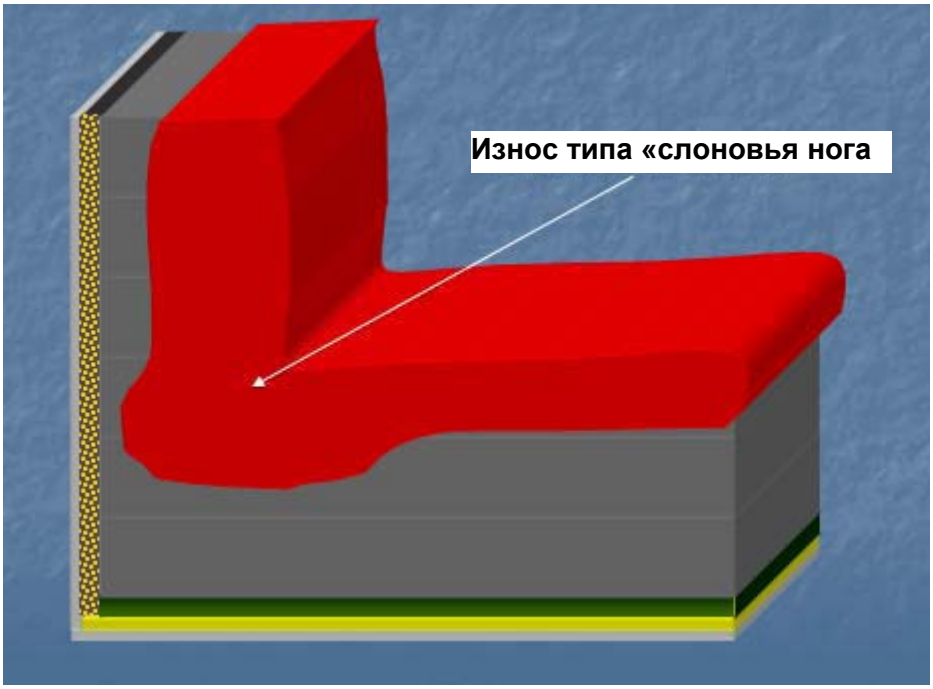


Рисунок 6: Профиль износа в виде «слоновьей ноги» футеровки из больших блоков

Необходимо понимать, что условия монтажа и характеристики/свойства набивной массы между холодной поверхностью углеродистого блока и кожухом/холодильниками ДП в долговременный период играют особую роль. К сожалению, применение набивной массы **является обязательным** при выполнении футеровки из больших углеродистых блоков для заполнения пространства между блоком и кожухом/холодильниками печи.
Оптимальных показателей плотности набивной массы невозможно достичь на месте при выполнении футеровки и очень часто масса со временем начинает разрушаться.

Плотность и температура спекания набивной массы напрямую связаны с теплопроводностью. Неплотно утрамбованная и не полностью спеченная масса не способна достичь оптимальной заявленной плотности и теплопроводности. Так как футеровка из набивной массы выполняется у холодильников или водоохлаждаемого кожуха печи, она не может нормально спекаться из-за изначально низких температур, что понижает значение удельной теплопроводности и увеличивает температуру горячей поверхности углеродистых блоков. Слой из набивной массы становится, в конечном счёте, барьером для нормальной теплопередачи, а не зоной высокой теплопроводности, как предполагается.

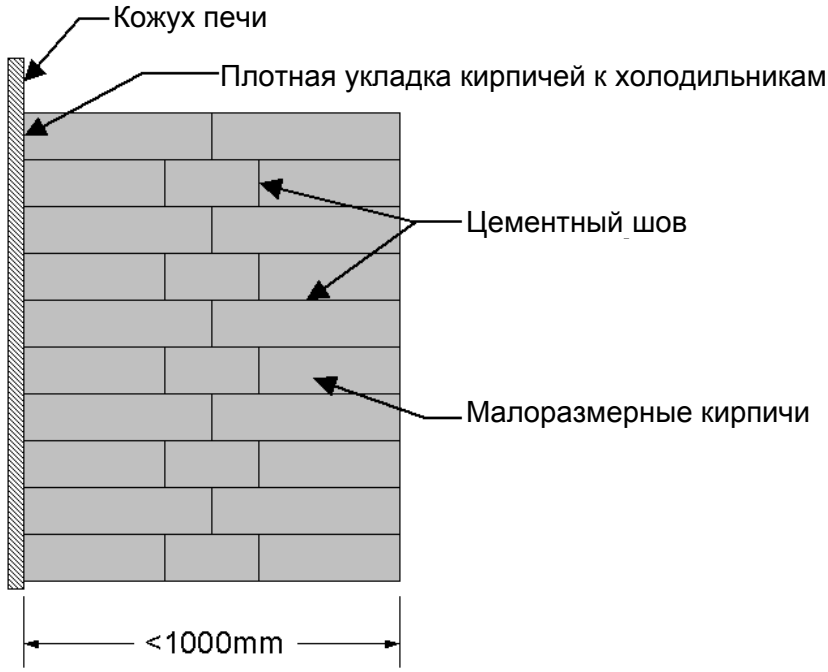
Следует также отметить, что, в конце концов, жидкий чугун растворит любой углерод, находящийся с ним в контакте. Это лишь фактор времени/температуры и характера воздействия чугуна. Если жидкий металл находится в контакте даже с микропористым углеродом, углерод всё равно будет растворяться до тех пор, пока толщина футеровки не сократится до точки, в которой произойдет прорыв горна, или, пока искусственно «намороженный» слой титанового гарнисажа временно не появится на горячей поверхности углерода для его защиты от воздействия жидкого чугуна. Невозможно достичь продолжительных сроков службы футеровки горна из традиционных больших углеродистых или микропористых блоков в доменных печах высокой производительности без постоянной загрузки дорогостоящих титансодержащих материалов или изменения практики эксплуатации печи, такой как закрытие воздушных фурм и/или снижение уровня производства и пр.

Однако, для этого потребуется значительные эксплуатационные расходы на специальную руду, возникнут сложности с вдуванием топлива в сочетании с сокращением уровня производства, чтобы попытаться снизить износ футеровки и температуры. Многие доменщики подтверждают длительный срок службы футеровки большими блоками, но, фактически, никогда не сообщают о затратах на загрузку ильменитовой руды, недополученной прибыли от снижения производительности печи и затратах, связанных с периодической закачкой бетонов «за бронь», ремонтами и пр.

3. Концепция «намораживаемой» футеровки UCAR®

Система футеровки горна ДП компании UCAR® основывается на том, что все значимые механизмы износа футеровки происходят при высоких температурах. Воздействие щелочей проявляется при температуре свыше 800°C; тепловой удар является результатом экстремального теплового расширения; а эрозия появляется при контакте чугуна напрямую с углеродистым огнеупором в течение продолжительного времени. Следовательно, если температуру удается поддерживать на относительно низком уровне, износ футеровки исключается.

Существуют четыре ключевых элемента системы футеровки горна ДП компании UCAR® (Рисунок 7):



7: Концепция огнеупорной футеровки горна ДП, предлагаемая компанией UCAR®

1. Стена горна- тонкая в сравнении с традиционными блочными конструкциями, обычно менее одного метра по толщине, что обеспечивает более эффективную теплопередачу и сниженные температуры на рабочей поверхности футеровки.

2. Малоразмерные горячепрессованные кирпичи HotPressed™ используются вместо больших блоков. Небольшие изделия имеют меньшее расширение, а ряды кольцевой футеровки горячей поверхности огнеупора могут расширяться независимо от кольцевой футеровки холодной поверхности огнеупора, снижая внутреннее напряжение. НЕ рекомендуется вырезать малоразмерные части из большого углеродистого блока, считая их “кирпичами”; так как хорошо известно, что свойства любого углеродистого блока сильно варьируются от одной стороны к другой, и от центра к поверхности. Это точно как в цепи, прочность которой определяется прочностью самого слабого звена; все кирпичи в системе футеровки горна печи должны иметь самый высокий стандарт. Горячепрессованные кирпичи HotPressed™ обладают превосходными термо-механическими свойствами, и подтвердили на практике свое превосходство во многих продолжительных кампаниях ДП по всему миру.

3. Между кольцевыми рядами кирпичей и охлаждающими элементами (кожух печи или холодильник) не требуется набивать слой из набивной массы. Набивная масса обладает слабой теплопроводностью по сравнению с углеродистыми огнеупорными изделиями, и может со временем высыхать, превращаться в гранулы или отделяться от огнеупора, вызывая прерывание теплопередачи.

4. Специальный цемент используется на всех гранях кирпичей для заполнения швов, соединяя кирпичи вместе, передавая тепло, и самое важное, компенсируя расширение кирпичей без создания напряжений. Если эти принципы соблюдаются, температура горячей поверхности

футеровки горна печи будет ниже температуры застывания шлака и чугуна, и на поверхности футеровки будет образовываться защитный гарнисаж. Гарнисаж изолирует кирпич, еще более снижая температуры, и защищает кирпич от контакта с чугуном и эрозии.

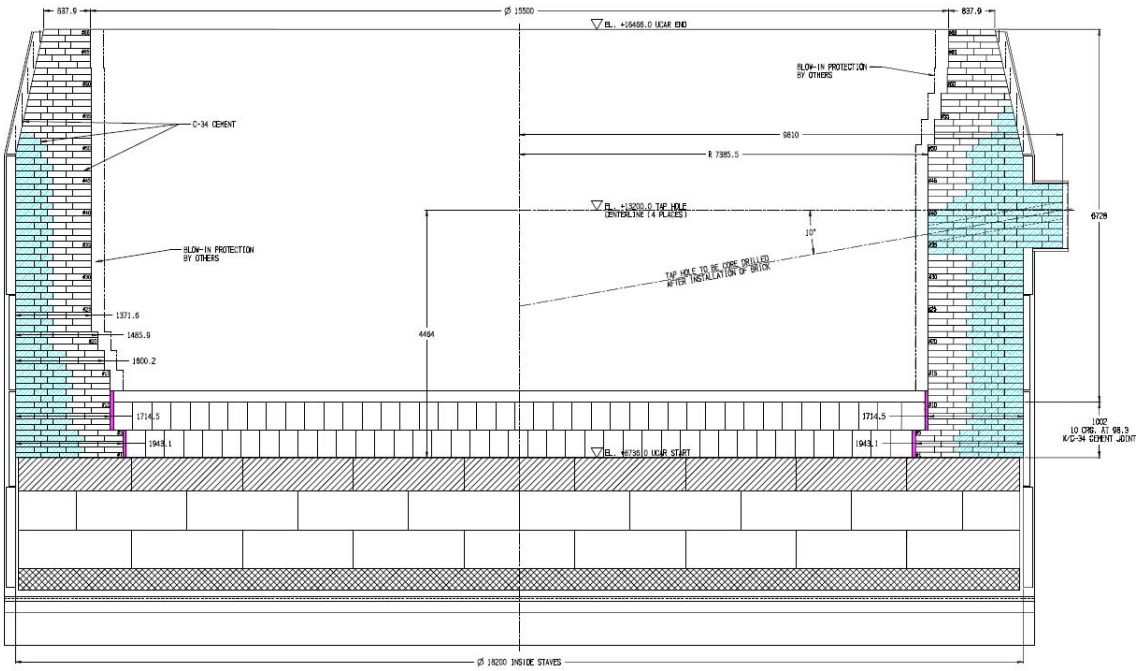


Рисунок 8: Доменная печь № 1 комбината Shougang Jingtang с футеровкой горна UCAR®, выполненной кирпичами горячепрессованными марок NMA™ и NMD™ HotPressed™ .

4. Кампании доменных печей комбината Shougang – самые продолжительные в Китае до настоящего времени.

На чертеже (Рисунок 8) показана футеровка металлоприемника, установленная в доменной печи № 1 комбината Shougang Jingtang в 2008 году. Комбинат Shougang Jingtang находится в порту Caofeidian в северной провинции Китая Хэбэй. Печь Jingtang № 1 имеет диаметр горна 15,5 метров и является высокопроизводительным агрегатом по выпуску чугуна с производительностью в 4,5 миллиона тонн в год. Печь была задута в мае 2009 года и имеет футеровку металлоприемника компании UCAR®. Как пояснялось ранее, решение принималось на основании многолетнего опыта по эксплуатации таких футеровок доменщиками, которые достигли превосходных результатов. В марте 2010 года эти доменщики объявили о том, что были побиты рекорды Китая по срокам службы и совокупному производству чугуна на кубический метр рабочего объема на трех доменных печей**.** Выполнение футеровки горна ДП горячепрессованными кирпичами HotPressed™ было действительно правильным решением. Вот еще несколько фактов по этим печам-чемпионам;

- ДП № 1 Shougang (2536 м^3), задута в августе 1994 года, Производство: 13328 мт/м^3. Остановлена в декабре 2010 года из-за остановки предприятия. 16 лет и 2 месяца.
- ДП № 3 Shougang (2536 м^3), задута в июне 1993 года, Производство: 13991 мт/м^3. Остановлена в декабре 2010 года. 17 лет и 6 месяцев.
- ДП № 4 Shougang (2100 м^3), задута в мае 1992 года. Производство: 12467 мт/м^3. Остановлена в декабре 2007 года из-за переноса завода из города Пекина..

В статье, опубликованной комбинатом Shougang в 2009 году, авторы делают вывод, что:

"Доменные печи №№ 1, 3 и 4 комбината Shougang надежно проработали более 15-ти лет (доменная печь №4 были вынуждены остановить из-за необходимости переноса на другое место). Все эти печи находятся по-прежнему в хорошем состоянии. Конструкция футеровки горна ДП выполнена из кирпичей UCAR® HotPressed™ (кирпичи NMA™, NMD™), которые обладают превосходными свойствами теплопроводности, устойчивости к воздействию шлака и эрозии жидкого чугуна. С применением этой футеровки решилась проблема некачественных и нестабильных по качеству отечественных огнеупорных материалов. Между тем, высокая теплопроводность малоразмерных кирпичей HotPressed™ снизила температурный градиент углеродистой футеровки, что вместе с уникальной конструкцией футеровки и инжинирингом позволило уменьшить повреждение футеровки, вызываемое растрескиванием или усадкой из-за термоудара. Такая огнеупорная концепция обеспечивает надежность футеровки горна ДП".

Комбинат Shougang Jingtang планирует ввести в эксплуатацию вторую доменную печь и четыре конвертера в течение второй половины 2010 года. Ввод новых производственных мощностей позволит повысить общее производство необработанной стали до 10 миллионов тонн/год к концу этого года. Доменная печь № 2 будет иметь такой же внутренний объем (5500 м^3), что и печь № 1 с надежной футеровкой горна компании UCAR®. В настоящее время (август 2010 года), на предприятии Shougang работают два прокатных стана по выпуску горячекатаной стали с общей производительностью 10 миллионов тонн/год.

Рисунок 9: Доменная печь № 3 компании Baosteel, задутая в сентябре 1994 года

Еще один ведущий производитель стали в Китае комбинат Baosteel в 2009 году опубликовал статью о доменной печи № 3 с рабочим объемом 4360 м³. Эта печь была впервые задута в 1994 году. Ниже приводятся некоторые ключевые положения из этой статьи:

- "...печь стабильно проработала свыше 14 лет, общий объем производства чугуна составил 50,75 миллиона тонн, а производительность 11,66 мт/м³ - наивысшая среди всех доменных печей комбината Baosteel..."
- "... футеровка лещади и горна печи находится в хорошем состоянии, а температура стен горна находится под контролем на безопасном уровне..."
- "...с 2004 года доменная печь № 3 достигала показателя вдувания PCI (ПУТ), превышающего 200 кг/т непрерывно в течение 4 лет при производительности свыше 2,4. С ноября 2004 года по апрель 2005 года, это значение было выше 2,6 и рекорд был побит в мае 2005 года при производительности в 2,636..."
- "...при нынешнем состоянии футеровки лещади и горна, предполагается, что кампания доменной печи № 3 закончится после 18 лет работы, а суммарное производство чугуна превысит 14500 мт/м³ и станет новым рекордом в Китае…"

В 1994 году огнеупорная футеровка горна доменной печи № 3 была выполнена горячепрессованными кирпичами HotPressed™ марок NMA™ и NMD™ на цементе марки C34™ в сочетании с углеродистыми блоками марки GradeD™, набивной массой RP4™ и нижним рядом графитированных блоков лещади компании GrafTech.

Следующим крупным производителем чугуна в Китае, который сообщил о рекордных кампаниях и высокой производительности, является комбинат Benxi Iron and Steel Co. Постоянно увеличивающаяся потребность в более высокой производительности, в сочетании с необходимостью увеличения срока службы печей, в 1991 году привела к решению выполнить свою первую футеровку доменной печи № 5.на основе концепции UCAR®. В опубликованной в 2009 году конгрессом ICSTI (Международный совет по научно-технической информации) статье разъяснялось, что до принятия этого важного шага самый продолжительный срок службы футеровки, составлял 5,5 лет, а футеровки из больших углеродистых блоков имели типовой профиль износа “слоновьей ноги” с совсем небольшой остаточной толщиной футеровки стен горна (“всего 50 мм”!). В настоящее время все четыре доменные печи имеют футеровку горна компании UCAR® , выполненную малоразмерными кирпичами марок NMA™ и NMD™. Срок службы футеровок ДП-4 и ДП-5 составляет уже 11 и 13 лет, соответственно, без признаков износа. При сравнении этих показателей с предыдущими кампаниями футеровок из углеродистых блоков становится очевидным, что доменщики комбината Benxi очень довольны своим выбором. Таким образом, концепция компании UCAR® подтвердила на практике тот факт, что является превосходным решением проблем футеровок горна тех металлургических комбинатов, которые собираются очень интенсивно эксплуатировать свои большие доменные печи в течение очень длительного времени.

5. Металлургический комбинат TATA Steel, Scunthorpe, Великобритания – футеровка горна доменных печей высокой производительности, превзошедшая самые смелые ожидания

В 2010 году срок службы доменной печи Queen Anne (Королева Анна) компании TATA Steel металлургического комбината в Scunthorpe, Великобритания, составил 10 лет. В 2000 году горн ДП Queen Anne был перефутерован углеродистыми горячепрессованными кирпичами HotPressed™ компании GrafTech. Диаметр горна печи - 9 м, рабочий объем -1629 м³ , объем производства составил свыше 12 миллионов метрических тонн жидкого чугуна в течении 10-летней кампании, бьющей все рекорды. С самого начала кампании печи предприятие Corus UK повысило скорость вдувания пылеугольного топлива до 200 кг/тонна жидкого чугуна, что позволило увеличить удельный объём выпуска до 2,8 тонны жидкого чугуна/м³. Эти показатели работы печи сохраняются и сегодня **без значительного износа углеродистой футеровки.**

В середине 1980-х годов на доменном производстве комбината TATA Steel Scunthorpe впервые в Европе была заменена типовая конструкция футеровки горна из больших углеродистых блоков на малоразмерные горячепрессованные кирпичи HotPressed™ компании GrafTech, и с тех пор **не произошло ни одного прорыва горна** ни на **какой** из четырех доменных печей: Queen Anne, Queen Victoria, Queen Bess и Queen Mary.

Когда г-на Дейва Коллинза, Главного доменщика TATA Steel Scunthorpe, спросили, почему они продолжают использовать углеродистые кирпичи HotPressed™ при футеровке горна всех четырех доменных печей, он ответил: "Мы применяем углеродистые горячепрессованные кирпичи HotPressed™, потому что они проверены и испытаны на практике, соответствуют требованиям, предъявляемым к эксплуатации доменных печей в условиях Scunthorpe, и надежно служат на всем протяжении кампании".

Рисунок 10: Вид на комбинат TATA Corus Scunthorpe

6. Металлургический комбинат AK Steel Amanda; США – одна старая, но очень производительная доменная печь

По имеющейся сегодня информации, **Мировой Рекорд** по соотношению срока службы к производительности, удерживается производящей глубокое впечатление доменной печью Amanda в г. Ашленд, штат Кентукки, принадлежащей и эксплуатируемой корпорацией AK Steel Corporation. Впервые задутая 21 октября 1963 года, она только что отпраздновала свою 47-ю годовщину. Возвышаясь на 234 фута над рекой Огайо, с суточной производительностью около 4800 тонн чугуна, печь Amanda с двумя летками имеет средние размеры при рабочем объеме 2039 $м^3$ и диаметром горна 10,2 м.

В 1992 году доменный процесс был переведен с 30% офлюсованного агломерата и 70% кислых рудных окатышей на шихту из 100% окатышей. В этой ДП впервые в мире была применена система вдувания ПУТ (PCI). Упомянули ли мы тот факт, что эта ДП также обладала и новейшей, по тем временам, футеровкой лещади и горна?

Имеется ряд опубликованных отчетов о доменных печах по всему миру, которые достигли 20-летнего порога кампании с конструкциями футеровок горна, выполненных большими углеродистыми блоками, но, ни в одном из них не было заявлено о том, что в течение кампании печи **возрастала производительность**, и никто не подтвердил, что превышен 25-летний срок службы. Но оба этих показателя были достигнуты на ДП Amanda, г. Ашленд, за счет применения малоразмерных горячепрессованных кирпичей марки NMA™ при футеровке горна, более того, будут достигаться новые рекордные результаты каждый день, так как эта выдающаяся кампания продолжается.
1 марта 2011 года срок службы футеровки горна ДП из углеродистых кирпичей HotPressed™ достигнет **27-летнего возраста**, а 6 ноября 2011 года футеровке лещади печи из углеродистых блоков марки GradeD™ исполнится **43 года**, более того, и **не предполагается ближайшее завершение нынешней кампании – футеровка находится в великолепном состоянии.**
Производительность этой ДП является одной из самых высоких в мире, свыше **4,0 тн жидкого чугуна/$м^3$*24 часа,** а суммарное производство на сегодня превышает **59 млн. тн** чугуна при сохранении футеровки лещади из углеродистых блоков марки GradeD™ и **43 млн. тн** при футеровке горна полуграфитированными горячепрессованными кирпичами марки NMD™. При таком значительном объеме выпуска чугуна комбинат, который инвестировал средства в футеровку лещади и горна компании UCAR® много лет назад, получил огромную экономию денежных средств.

7. Выводы

Эксплуатация доменной печи – это своего рода искусство. На приобретение опыта уходят многие годы, чтобы добиться ровной работы печи с высокой производительностью при балансировании с постоянно меняющимися параметрами, влияющими на результат. Много знаний накоплено поколениями доменщиков по всему миру, которые черпаются из науки и обмена опытом друг с другом. Многие заявляют, что наиболее критичным местом доменной печи является футеровка лещади и горна, которая определяет кампанию печи. Производя чугун, доменщик должен быть уверен, что футеровка металлоприемника печи не подведет, позволяя сконцентрироваться на выпуске чугуна, требуемого состава и качества. В данной статье приводится описание основных различий между двумя наиболее традиционными концепциями

футеровки, применяемыми в доменных печах в настоящее время. В ней поясняется, почему концепция «намораживаемой» футеровки UCAR®, использующая уникальные малоразмерные горячепрессованные кирпичи HotPressed™, помогает обеспечить доменщикам по всему миру надежную работу доменных печей, включая очень большие печи, принадлежащие компаниям Shougang и Baosteel в Китае, и высокопроизводительные печи компании TATA в Великобритании и компании AK Steel в США. Авторы хотели бы поблагодарить этих доменщиков за их рекордные достижения. Компания GrafTech рада тому, что и она внесла свою посильную лепту и причастна к достигнутым рекордам, и смеет заверить доменщиков, что продолжит поставлять заслуживающие доверия огнеупорные материалы в будущем!

6. Справочная литература

1) П. Дункансон и П. Силвен, "Финансовая модель для инвестирования в доменную технологию", Конференция производителей оборудования SAIL, Ранчи (2007 год)

2) Д-р Юрген Петке, Salzgitter Flachstahl, Германия, Д-р Татьяна Стишович, Salzgitter Flachstahl, Германия, Инженер Питер Силвен, Graftech International, США
"Новое направление в футеровках подины на Salzgitter Flachstahl Доменная печь B, 5-я европейская конференция по коксу и производству чугуна, Jernkontoret, Стокгольм (2005 год)

3) Питер Силвен, "Правда и мифы технологии замораживаемой футеровки для доменных печей", Московский институт стали сплавов, Москва (2004 год)

4) Питер Силвен, "Преимущества огнеупоров UCAR для современных доменных печей", 19-й Национальный съезд инженеров по металлургии и материалам, Ранчи (2006 год)

5) Yingsheng Wang, Tao Wang, Jihua Shan, **"**Повышение срока службы (кампании) доменной печи No. 2 на объекте компании Capital Iron and Steel Group Co**",** Китай (2002 год)

6) Журнал Ironmaking Magazine (производство чугуна) (Китай), No. 6, "Практика обслуживания длительной кампании доменной печи в Shougang", Авторы г-н Zhang Heshun (Вице-директор чугунолитейного завода, Shougang), г-н Wen Taiyang (инженер технического отдела, чугунолитейный завод Shougang) и г-н Chenjun (инженер чугунолитейный завод) (2009 год)

7) Журнал Ironmaking Magazine (Китай) No. 28, "Практика устойчивой и высокопроизводительной работы доменной печи № 3 компании Baosteel в период после завершения кампании" (2009 год).

8) Liu Qing-ye, "Технология длительного ресурса зоны подины для доменной печи в BenGang, компании Benxi Iron and Steel, конгресс ICSTI, Китая (2009 год)

9) Джозеф Д. Поверомо, компания ArcelorMittal, Фредерик С. Рорик, компания Rorick inc., "Технический прогресс в чугунолитейном производстве Северной Америки", 3-я международная встреча ABM, Бразилия (2008 год)