

Стратегии десульфурации в кислородно-конвертерном производстве стали

Одним из важнейших способов повышения качества стали является ограничение содержания серы. С этой целью на металлургических комбинатах проводят десульфурацию чугуна и стали. Дополнительным положительным эффектом этого процесса явилась возможность оптимизации состава доменного шлага, что привело к росту производительности доменных печей и сокращению производственных расходов. В данной статье описаны современные способы десульфурации и рассмотрены источники попадания серы в чугун и сталь, приведены требования к качеству стальной продукции, а также представлена технология десульфурации

Введение

В последние три десятилетия производители стали во всем мире столкнулись с двумя основными тенденциями:

- непрерывным ростом цен на такие сырьевые материалы, как уголь, кокс, железная руда, скрап и другие;
- возрастающей необходимостью повышения качества стали путем значительного снижения содержания углерода, кислорода, кремния, фосфора, азота, сопутствующих элементов (Cu, Cr, Ni, Mo) и серы.

Требования особо низкого содержания серы (<10 ppm) оговорены спецификациями на особонизкосернистые (ULS/Ultra Low Sulphur) марки стали и предъявляются, в частности, к продукции, предназначенной для работы в условиях высокого давления и очень низких температур (например, трубы большого диаметра для магистральных трубопроводов большой протяженности). Причина таких требований хорошо известна. Наличие серы в стали повышает чувствительность к растрескиванию и понижает ударную вязкость материала на образцах с надрезом. Поэтому для предотвращения появления трещин в готовой продукции из высокопрочных, высокопрочных низколегиро-

ванных (HSLA) и перитектических сталей содержание серы в них должно быть ниже 30 ppm. Содержание серы в стали менее 60 ppm достигается в результате интенсивного перемешивания жидкой стали на стадии вторичного рафинирования; при такой обработке одновременно достигается положительный эффект с точки зрения степени раскисления и чистоты по примесям. Хотя для большинства марок стали не предъявляются особые требования к концентрации серы, все же содержание ее в низкоуглеродистых (LC/ Low Carbon), особонизкоуглеродистых (ULC/ Ultra Low Carbon) и электротехнических сталях, а также в белой жести ограничивается 120 ppm. В рядовых марках стали, предназначенных для производства профилей, арматуры или проволоки, содержание серы не должно превышать 250 ppm. На рис. 1 показано изменение требований к содержанию серы в стали за последние 50 лет [1].

Так как сера попадает в полупродукты металлургического производства на комбинате в значительно большем количестве, чем это допускается сертификатами на готовую продукцию, то необходимо применять технологию десульфурации. Источником серы является в основном первичное топливо, используемое при

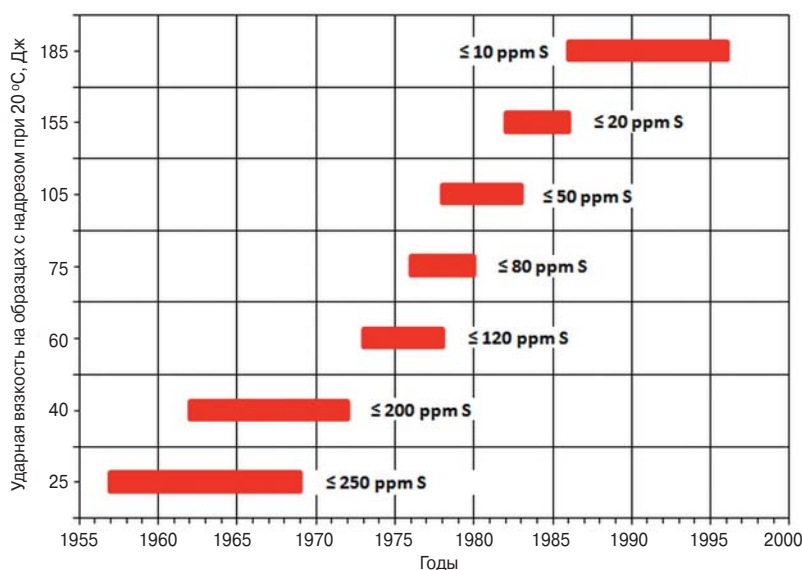


Рис. 1. Нормы содержания серы и ударная вязкость образцов с надрезом [1]

Райнер Хюскен, компания **Küttner GmbH & Co. KG**, Эссен, Германия;
Юрген Каппель, компания **Cappel Stahl Consulting GmbH**, Эссен, Германия

Контакт: www.kuettner.com
E-mail: r.huesken@kuettner.com
juergen.cappel@cappel-consult.com

производстве чугуна, и металлолом, поступающий на переплавку. Применение различных технологий десульфурации на разных переделах металлургического производства оказалось также эффективным дополнением стратегии, направленной на минимизацию общих производственных затрат.

Источники попадания серы в металл при выплавке чугуна и стали

В процессе выплавки чугуна на металлургическом комбинате сера попадает в жидкий металл из шихтовых материалов, например из известняка и руды, а также из первичного топлива, например кокса, нефти и порошкообразного угля (табл. 1) [2, 3].

Несомненно, основными источниками серы являются кокс и нефть. В коксе и угле содержание серы составляет примерно 0,8–1,2 % в зависимости от месторождения; в нефти и мазуте содержится 1,3–2 % серы. В целом первичные топливные материалы вносят в металл до 95 % всей поступающей серы. Благодаря созданию восстановительной атмосферы в доменной печи более 80 % всей поступающей серы удаляются со шлаком, пылью и газом, в результате чего в жидком чугуне остается только примерно 13 % ее суммарного количества. В примере баланса, приведенном в табл. 1, это соответствует содержанию серы в жидком чугуне 0,055 %, что представляет собой типичную среднюю величину для современной производственной практики. Однако лю-

Поступление серы (100 %)	
Агломерат	5,1
Окатыши	1
Флюсы	0,1
Кокс	60,2
Нефть / уголь / природный газ	33,6
Выход серы (100 %)	
Чугун	12,6
Шлак	82,4
Колошниковый газ	3,6
Вынос пыли	0,7
Шлам из устройств газоочистки	0,5
Пыль на литейном дворе	0,2

Таблица 1. Баланс серы (%) для доменной печи в Германии (4,4 кг S/т чугуна) [2, 3]

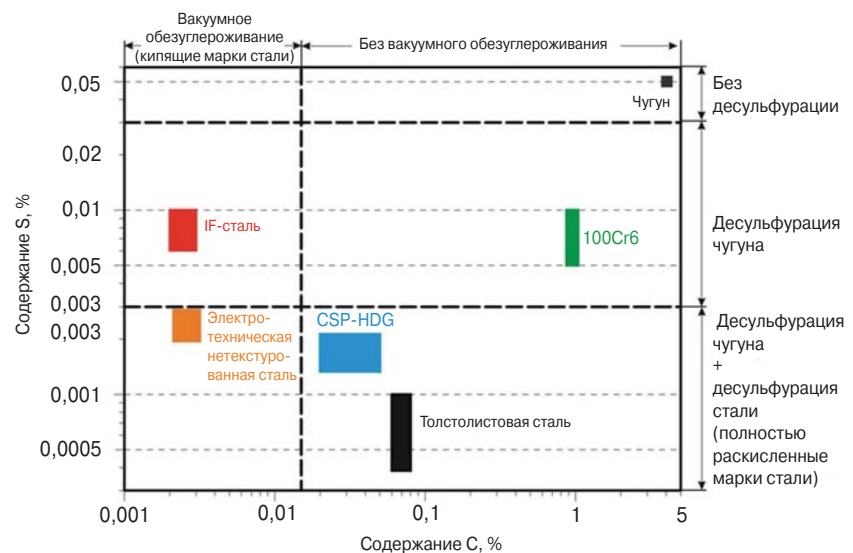


Рис. 2. Требования к содержанию углерода и серы для различных марок стали [4]

бому оператору знакомы периодические колебания рабочего режима крупных производственных агрегатов, приводящие к изменениям результатов технологического процесса; это относится и к химическому составу чугуна, в частности к содержанию серы. Вследствие этого эффекта более типичным является диапазон содержания серы 0,035–0,085 %, и именно такую цель ставят перед доменщиками сталеплавильщики.

Требования по содержанию серы в стали

Сера в стали обычно считается вредной примесью, поскольку оказывает отрицательное влияние на такие свойства стали, как пластичность, ударная вязкость (особенно при низких температурах), коррозионная стойкость и свариваемость. В связи с этим содержание серы ограничивается почти для всех классов и марок стали, но на разном уровне. Для рядовых марок стали, из которых изготавливают арматуру, профили и проволоку, нормальным требованием является содержание серы <0,025 %. Для специальных сталей, как, например, низкоуглеродистая (LC/Low Carbon), особонизкоуглеродистая (ULC/Ultra Low Carbon), электротехническая, белая жель и большая часть длиномерной стальной продукции, допустимое содержание серы составляет 0,005–0,01 %. Для сталей с особо низким содержанием серы (ULS/Ultra Low Sulphur) стандарты требуют

содержания серы на уровне 0,001 % или даже ниже. В данном случае речь идет в основном о сталях, устойчивых к водородному растрескиванию (HIC/Hydrogen Induced Cracking), и высокопрочных сталях, предназначенных для изготовления броневого плит, резервуаров для хранения сжиженного природного газа и т. п.

Другой побочный эффект внепечного рафинирования, касающийся десульфурации стали, происходящей в результате реакции между шлаком и металлом, заключается в высокой степени раскисления, что проявляется в очень низком содержании кислорода в стали и шлаке и в высокой чистоте стали. Поэтому для гарантированного получения стали высокой чистоты внутризаводские спецификации, применяемые в сталеплавильном производстве, часто включают требование по содержанию серы 0,006 %. Содержание серы в высокопрочных, высокопрочных низколегированных (HSLA/High Strength Low Alloy) и перитектических марках стали (0,09–0,12 % C) ограничено уровнем <0,003 % для предотвращения растрескивания во время изгиба и выпрямления непрерывнолитой заготовки в процессе разливки.

На рис. 2 представлены требования к содержанию углерода и серы для пяти различных марок стали [4]. Сталь без атомов вредения класса IF (Interstitial Free), которая относится к особонизкоуглеродистым сталям типа ULS, подвергают преимущественно глубокой вытяжке. Для большинства

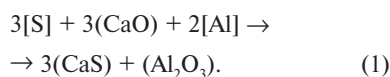
назначений эту сталь используют в горячеоцинкованном состоянии. Широко распространено применение таких сталей в автомобилестроении, в том числе для изготовления в самых проблематичных наружных частях автомобиля. Электротехнические стали также относятся к особонизкоуглеродистым и используются в производстве трансформаторов и электрических генераторов. Вследствие повышенного содержания кремния в таких сталях могут быть сведены к минимуму электрические потери. Сталь для производства полос в литейно-прокатных агрегатах CSP® (Compact Strip Production, компактное производство полосы) включает преимущественно низкоуглеродистые марки и используется в основном как конструкционный материал общего назначения — для изготовления колес, цилиндров, сварных труб, в сельском хозяйстве и т. д. Толстолистовая сталь, устойчивая к водородному растрескиванию, применяется при изготовлении труб большого диаметра для магистральных трубопроводов, а сталь 100Cr6, которая является классической высокоуглеродистой высокопрочной сталью, используется для подшипников качения. Для того, чтобы улучшить обрабатываемость этой марки стали содержание серы в ней даже повышают до определенного уровня. Из приведенных данных следует, что все марки стали характеризуются различным содержанием серы и в зависимости от этого показателя требуют обработки

по соответствующему особому технологическому режиму.

На рис. 3 представлена стратегия десульфурации рассмотренных марок стали на различных стадиях технологического процесса их производства [4]. Как показано на диаграмме, весь требуемый объем десульфурации распределен между следующими стадиями металлургического процесса:

- десульфурации чугуна;
- десульфурации стали в кислородном конвертере;
- внепечной обработки.

Как следует из рис. 3, основной задачей сталеплавильного процесса является гарантирование прекращения реакции десульфурации после разливки плавки. Десульфурация происходит в ходе комбинированного взаимодействия серы, известняка и глинозема согласно следующей реакции:



Металлический алюминий необходим для восстановления кальция из известняка; у кальция появляется возможность вступить в реакцию с серой. Однако при этом в расплаве формируются мелкодисперсные частицы алюминия, которые не успевают всплыть за время, остающееся до окончания затвердевания жидкой стали после разливки.

В процессе внепечного рафинирования сталей, устойчивых к водородному растрескиванию, а также сталей,

обрабатываемых по технологии CSP®, и электротехнических сталей, десульфурация проводится до различного уровня, который зависит от допускаемого стандартами содержания серы в готовой продукции. Из рис. 3 следует, что при нормальном ходе процесса выплавки стали в кислородном конвертере содержание серы на выпуск обычно выше, чем после проведенной ранее десульфурации чугуна. Это увеличение содержания серы — обычное и общеизвестное явление в конвертерном производстве, которое можно свести к минимуму, но полностью устранить нельзя. Основными причинами такого повышения содержания серы являются следующие факторы:

- недостаточно тщательное скачивание шлака после десульфурации чугуна;
- поступление серы со скрапом, особенно при недостаточно тщательной сортировке металлолома или при использовании переработанного лома с высоким содержанием серы.

Несмотря на то, что минимальный достигаемый уровень содержания серы после плавки в кислородном конвертере равен 25 ppm, при производстве электротехнической стали все равно требуется последующая десульфурация стали. В связи с кинетикой химической реакции труднее, и поэтому менее эффективно понижать содержание серы с низкого до особо низкого уровня, чем с высокого до низкого. Это является причиной значительного понижения содержания серы при десульфурации стали, из которой производят толстолистовую прокат. Такой эффект обуславливает необходимость проведения десульфурации стали в любом случае. Следовательно, допустима умеренная десульфурация чугуна от 0,05 до 0,015 %, а остальная десульфурация осуществляется в процессе необходимой десульфурации стали.

Этот процесс протекает иначе при производстве низкоуглеродистых, особонизкоуглеродистых марок стали и электротехнических сталей. Здесь применяется очень глубокая десульфурация чугуна, чтобы, с одной стороны, добиться требуемого низкого конечного содержания серы, а с другой — полностью исключить отрицательное влияние десульфурации

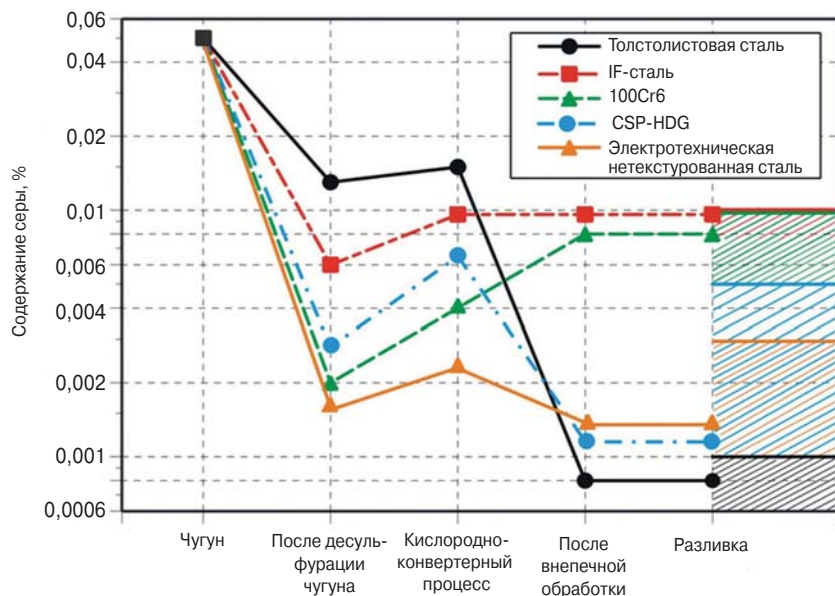


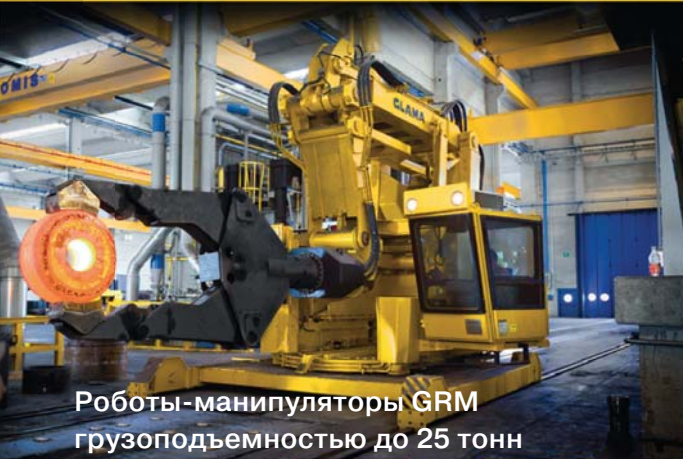
Рис. 3. Изменение содержания серы при обработке различных марок стали [4]



GLAMA

Рельсовые ковочные манипуляторы GSM
грузоподъемностью до 350 тонн

...новые измерения
для КОВКИ



Роботы-манипуляторы GRM
грузоподъемностью до 25 тонн



Мобильные ковочные манипуляторы GFM
грузоподъемностью до 150 тонн

GLAMA Maschinenbau GmbH

Hornstraße 19 D- 45964 Gladbeck / Germany

Fon + 49 (0) 2043 9738 0

Fax + 49 (0) 2043 9738 50

eMail: info@glama.de Web: www.glama.de

Metallurgy
Litmash



Металлургия-Литмаш
Международная выставка машин,
оборудования, технологий
и продукции металлургической
промышленности

Москва, Россия
25-28 июня 2013 г.

Посетите наш стенд 7-2A 08 в павильоне 7

Параметр	Изменение	% S	% K ₂ O
Содержание серы в коксе	+ 1 кг/т чугуна	+0,014	
Содержание серы в нефти/угле/ природном газе	+ 1 кг/т чугуна	+0,007	
K ₂ O в шихте	+ 1 кг/т чугуна	—	+0,210
Производительность	+ 0,1 т/м ³ × 24 ч	+0,001	-0,004
Основность (% CaO) / (% SiO ₂)	+ 0,1	-0,008	-0,127
Температура чугуна	+ 10 °C	-0,006	-0,005
Объем шлака	10 %	-0,002	-0,013
Шлак (% MgO)	1 %	-0,003	+0,022

Таблица 2. Основные факторы, влияющие на содержание серы в чугуне в ходе плавки в доменной печи [5–7]

на состав этих сталей в отношении содержания Si и S. Такой подход особенно важен для сталей класса IF, так как отрицательные побочные эффекты десульфурации всегда приводят в этих сталях к таким последствиям, как повышение содержания кремния (вследствие реакций шлак–металл и вдувания CaSi) или содержания углерода (вследствие вдувания CaC₂).

Оба этих эффекта нежелательны, так как в IF-сталях содержание углерода ограничено условиями предотвращения снижения прочности, а низкое содержание кремния обусловлено требованиями к высокому качеству покрытий, наносимых на поверхность стали. Исключением является подшипниковая сталь с повышенным контролируемым содержанием серы. Для такой стали стратегия заключается в глубокой десульфурации чугуна до заданного уровня и в повышении содержания серы на последующем этапе до требуемого спецификацией уровня путем контролируемо-

го добавления в плавку легирующего агента FeS.

Технологии десульфурации

Уровень десульфурации чугуна в доменной печи обычно составляет 85–90 % согласно данным, приведенным в табл. 1 [5–7]. Под воздействием некоторых важных факторов, приведенных в табл. 2, можно достигнуть и более высокой эффективности процесса десульфурации. Однако большинство таких мер влекут за собой повышение потребления кокса или даже снижение производительности доменной печи. Увеличение основности шлака может помочь в этом направлении, но одновременно окажет сильное негативное воздействие на щелочной баланс. Это является одной из самых серьезных проблем при работе доменных печей, так как может нарушиться весь тепловой баланс печи и даже произойти ее захлаживание. Основное различие между про-

цессами выплавки чугуна и стали в том, что проведение соответствующих мероприятий по десульфурации в доменной печи влияет на выход чугуна, а значит, — и на общую производительность печи. В отличие от этого, производство стали является периодическим процессом, при котором можно привести в соответствие принимаемые меры и предъявляемые стандартами требования в определенных пределах.

В металлургическом процессе производства стали возможны различные варианты проведения десульфурации (рис. 4). Такой показатель, как эффективность десульфурации (количество удаленной серы, отнесенное к ее исходному содержанию), может быть использован в качестве основы для сравнения различных вариантов десульфурации.

Десульфурация чугуна является одним из самых распространенных технологических процессов периодического характера, выполняемых на металлургических комбинатах. В этом случае чугун подвергается обработке в разливочном ковше с использованием различных десульфураторов и технологических процессов [8]. Обычными десульфураторами являются известь-пушонка, порошкообразный CaC₂ и гранулированный металлический магний. При этом чаще всего используются такие технологические приемы, как турбулентное перемешивание струи выпускаемого металла, механическое перемешивание и вдувание порошка.

Возможно также проведение десульфурации синтетическим жидким шлаком, но этот способ находит ограниченное применение из-за трудностей, связанных с расплавлением шлакообразующих добавок при низких температурах чугуна. Кроме того, в этом случае необходимо тщательно сканировать шлак из ковша с чугуном после проведения десульфурации, чтобы исключить его последующее попадание в кислородный конвертер и возможность ресульфурации. Поэтому объем шлака при десульфурации всегда должен быть небольшим. Ввод проволоки с наполнителем из CaSi или из CaC₂ не является эффективным, так как для расплавления проволоки при низкой температуре чугуна требуется длительное время.

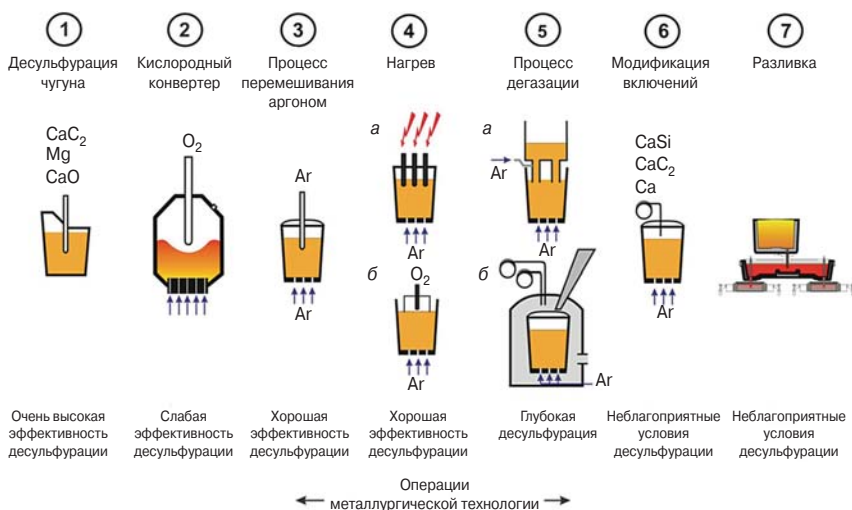


Рис. 4. Возможности десульфурации в ходе технологического процесса производства стали

Более 40 лет... на мировом рынке

Сделано в Германии



**Вакуумные
подъемники
для любых
грузов**

... для листов стали и нержавеющей металлов, гнутых и гофрированных листовых профилей, труб и много другого.

... массой до 50 т!

Реклама

D-48282 Emsdetten
T: +49(0)2572-9373-0
www.vaculift.de

VACU LIFT
Vacuum Transport Systems

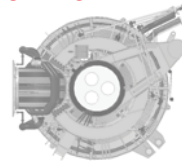
KOLL

INJECTION SYSTEMS

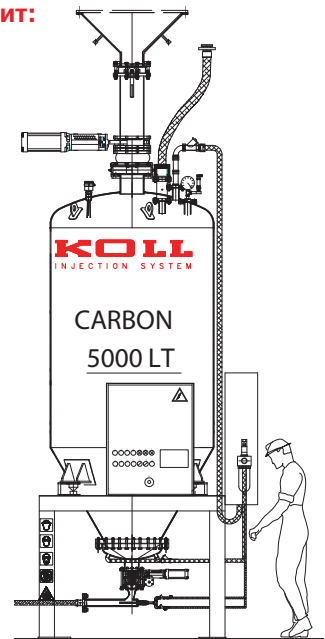
Фирма производит:

Углерод
Известь
Ферросилиций
Пыль...

пневматические
транспортные
системы для
электродуговых
печей, установок
печь-ковш...



KOLL ANLAGENBAU
GMBH & Co KG
Schachtstr. 21
59379 Selm
GERMANY



Tel. 0049 (0) 2592 978578 Fax. 0049 (0) 2592 978682
E-mail: koll @ eaf - carbon.de

Реклама

Пневматические конвейерные, дозировочные и инъекционные системы

- Индивидуальные и экономически эффективные технические решения и системы
- Развитие специальных производственных технологий по требованиям заказчиков
- Технология многоточечного вдувания MPI^{Pat.} для вспенивания шлака
- Технология вдувания сверху TIP^{Pat.} для установок печь-ковш и ковшей для науглероживания или легирования без использования огнеупорной фурмы
- Технология десульфурации для стали и чугуна
- Комплексные услуги от проектирования до ввода в эксплуатацию
- Длительный срок службы = меньшее техническое обслуживание = повышенная производительность, т. е. гибкая труба с огнеупорной футеровкой



STEIN
INJECTION-TECHNOLOGY

STEIN Industrie-Anlagen
Hagener Straße 20 - 24
D-58285 Gevelsberg
Germany

Telefon: +49 / (0) 2332 / 9206-0
Telefax: +49 / (0) 2332 / 62015
E-Mail: stein@sit-2000.com
Internet: www.sit-2000.com



ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗ КОМПРОМИССА

Реклама

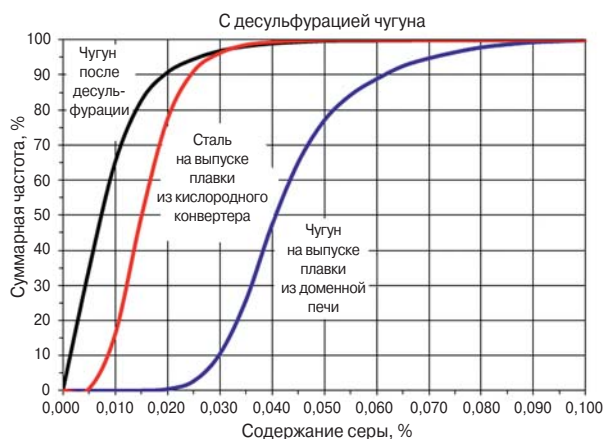


Рис. 5. Результаты десульфурации в кислородном конвертере после предшествующей десульфурации чугуна

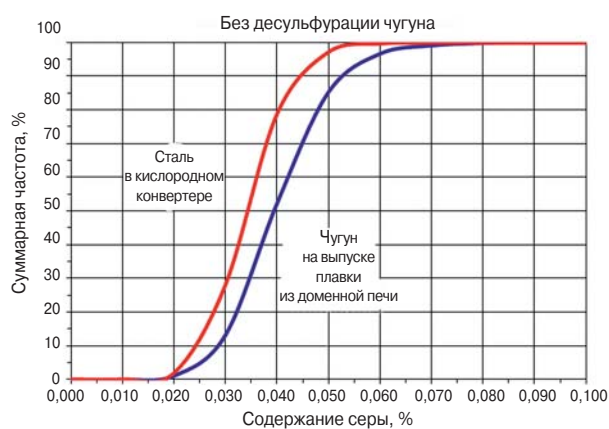


Рис. 6. Результаты десульфурации в кислородном конвертере без проведения предшествующей десульфурации чугуна

Диапазон типичных показателей эффективности десульфурации составляет 70–95 %. При стандартных рабочих режимах можно достигнуть конечного содержания серы на уровне 0,002 %, но его трудно сохранить в процессе выплавки стали в кислородном конвертере по причинам, указанным выше.

Десульфурация в кислородном конвертере, как упоминалось выше, мало эффективна из-за окислительного характера сталеплавильного процесса. Поэтому при применении чугуна, предварительно подвергнутого умеренной десульфурации или вообще не прошедшего десульфурацию, в конвертере удается достигнуть эффективности этой операции только в пределах 20–50 %. Как уже отмечалось ранее, в конвертере может произойти значительная ресульфурация, если перед этим проводилась глубокая десульфурация [9].

На рис. 5 показано распределение плотности вероятности (гистограмма) содержания серы для конвертерного цеха одного из европейских металлургических заводов. При среднем со-

держании серы в чугуне во время плавки в доменной печи на уровне 0,04 % благодаря десульфурации этот показатель снижается в среднем до 0,007 %. При выпуске плавки из конвертера содержание серы опять повышается до 0,015 %, что более чем вдвое выше содержания серы в чугуне. Если принять соотношение чугуна и скрапа при выплавке стали равным 830 кг чугуна/240 кг скрапа, то среднее содержание серы в скрапе составит, по подсчетам, примерно 0,035 %, что является очень высоким показателем даже для обратного металлолома. Этот приблизительный расчет указывает, что, помимо металлолома, имеется и другой источник серы, влияющий на конечные результаты. И этим источником может быть шлак, оставшийся после десульфурации чугуна.

Другая ситуация наблюдается при использовании чугуна, не прошедшего десульфурацию (рис. 6). В этом случае при среднем содержании серы в доменном чугуне 0,04 % на выпуске плавки из конвертера содержание

серы составляет 0,035 %. Если принять содержание серы в скрапе 0,02 %, то общий эффект десульфурации в конвертере составляет 0,005 % — разница между уровнем серы в чугуне и стали и 0,005 % — теоретическое поглощение серы из скрапа. Показатель эффективности десульфурации в данном примере оценивается в 22 %.

Десульфурация в процессах внепечной обработки металла широко распространена во всем мире. Технологические принципы процессов ковшовой металлургии основаны на реакциях, происходящих на поверхности раздела шлак–металл, на инжентировании порошкообразных реагентов и на вводе присадочной проволоки [10]. Для реализации этих принципов применяют глубокое перемешивание жидкого металла, вакуумную обработку, вдувание порошкообразных реагентов и подачу присадочной проволоки с наполнителем. В качестве реагентов используются жидкий шлак с высокой основностью, полученной в результате добавок известнякового флюса в ковш, а также порошкообразные CaSi или CaC₂ и проволока с наполнителем из CaSi. Эффективность этих процессов десульфурации так же высока, как и процесса десульфурации чугуна, и составляет 70–95 % (98 % при использовании вакуумной дегазации). Условием высокой эффективности в случае десульфурации стали является глубокое раскисление расплава, как уже упоминалось ранее. Основная реакция происходит в соответствии с приведенной выше формулой (1) с использованием известняка в качестве основного реагента. Очевидно, что такой принцип может быть реализован только для сталей, раскисленных алюминием, так как при использовании в качестве раскислителя кремния в процессе раскисления будет образовываться двуокись кремния и при этом уменьшаться количество известняка, необходимого для десульфурации. Кроме того, остаточное содержание кислорода в стали после раскисления кремнием оказывается намного выше.

Раскисленные кремнием стали обычно применяют для производства арматуры, профилей, свай и т. п., с умеренными требованиями по содержанию серы. В настоящее время наблюдается и другая тенденция, особенно

АНДРИТЦ Мэрц – специалист по печам для металлургической и медной промышленности



«АНДРИТЦ Мэрц» является одним из ведущих мировых поставщиков установок термообработки и вспомогательного оборудования под ключ. Линейка продукции компании включает в себя в секторе сталелитейной промышленности различного типа

печи как непрерывного, так и прерывного действия для использования в нагревательном, термообработывающем и кузнечном процессах. Для медной промышленности «АНДРИТЦ Мэрц» предлагает в первую очередь плавильные и рафинировочные печи для

первичного и вторичного производств, а также конвертерные печи для получения меди и драгметаллов. От проектирования установок вплоть до ПНР – все «из одних рук».

АНДРИТЦ Мэрц ГмбХ
Корнелиусштрассе 36, 40215 Дюссельдорф,
Германия
Тел.: +49 (211) 38425-0
Факс: +49 (211) 38425-20
welcome-maerz@andritz.com

www.andritz.com

в электросталеплавильном производстве. В связи с ухудшением качества скрапа в большинстве регионов мира возрастает поступление серы с шихтой электродуговых печей (из-за примесей к скрапу в виде резины, пластика и химикатов на основе этанола). Для достижения необходимого эффекта десульфурации и удовлетворения требо-

ваний к химическому составу готовой продукции металлурги применяют высокоосновные высокощелочные реагенты для разжижения шлака и повышения эффективности реакций на поверхности раздела шлак–металл.

Обработка порошкообразными реагентами или ввод проволоки с наполнителем является обычным способом десульфурации стали в агрегатах ковш–печь [11]. На рис. 7 представлена эффективность этой технологии по сравнению с рафинированием жидким шлаком. Но поскольку целью инжекционной технологии является достижение необходимого результата посредством реакции реагента с металлом без участия шлака, то проблематичным моментом является вымывание продукта реакции CaS. Кроме того, применение CaSi или CaC₂ всег-

да связано с повышением содержания кремния или углерода в стали, что может привести к негативным или даже критическим последствиям для некоторых марок стали.

В целом реакция на поверхности раздела шлак–металл связана с теми же проблемами. Из-за избыточной подачи алюминия, требуемого для глубокого раскисления, шлак в ковше частично восстанавливается. Это вызывает также возврат в сталь из шлака кремния и фосфора, хрома и титана. Благодаря сильному воздействию перемешивания, необходимого для развития реакции шлак–металл, углерод из огнеупоров растворяется в расплаве, что может оказаться проблемой, в частности для особонизкоуглеродистых марок стали.

Возможны и другие побочные эффекты при десульфурации стали. Во-первых, десульфурация ниже определенного уровня при смешивании металла и шлака значительно повышает чистоту стали. В этом случае желательно, чтобы предельное содержание серы составляло не более 60 ppm ($\times 10^{-4}$ %). С другой стороны, очень важно остановить реакцию десульфурации при подаче ковша со сталью к разливочной машине. Это объясняется образованием в процессе десульфурации мелкодисперсного оксида алюминия, который не вымывается из расплава и может привести к образованию пробок при непрерывной разливке.

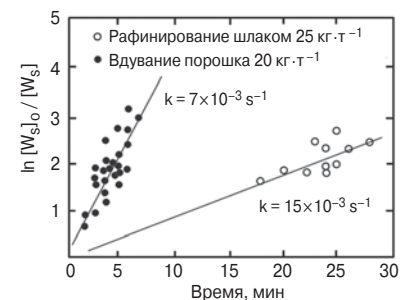


Рис. 7. Эффективность различных технологий десульфурации стали [11]

Статья расходов	Десульфурация чугуна, долл/т	Внепечная десульфурация чугуна, долл/т	Десульфурация стали, долл/т
Флюсы	+0,48		0
Топливо	+1,01		
Гранулированный шлак	-0,05		
Десульфураторы реагенты		0,048	
Расходуемые материалы		0,070	
Техническое обслуживание		0,070	
Расходуемые материалы		0,070	
Техническое обслуживание		0,070	
Транспорт		0,066	
Шлак и потери производительности		0,129	
Перемешивание аргоном			0,48
Расход алюминия			0,12
Итого	1,44	0,82	0,60

Таблица 3. Сравнительный анализ расходов на десульфурацию, в ходе которой содержание серы снижается на 0,01 %

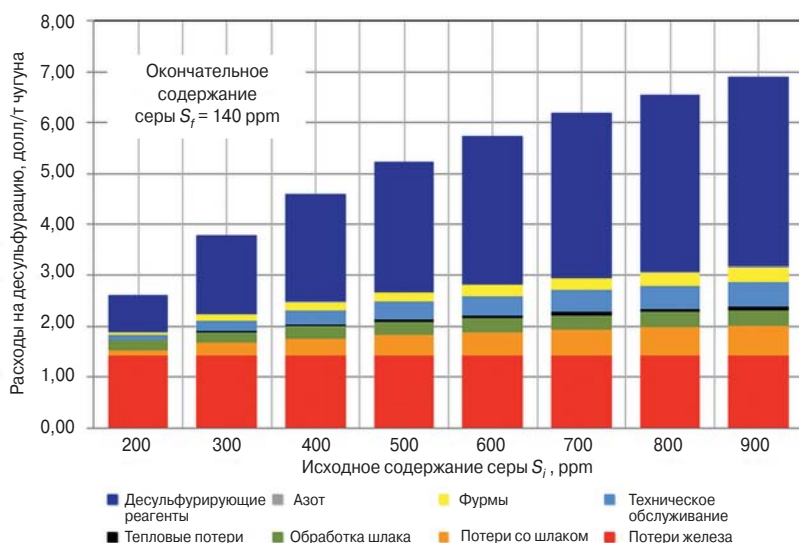


Рис. 8. Структура производственных расходов на десульфурацию чугуна [12]

Затраты на десульфурацию

Расчеты затрат на десульфурацию многократно проводились по отдельным операциям. На рис. 8 представлен пример расчета затрат на десульфурацию чугуна. Обычно расходы тем выше, чем выше исходное содержание серы в чугуне. Это связано в основном с большим расходом десульфураторов и с ростом других статей расхода, например расходов на техническое обслуживание, на фурмы и азот. Можно предположить, что тепловые потери, потери со шлаком (% Fe) и потери на обработку шлака также возрастут. Только потери железа со скачиваемым шлаком останутся постоянными, так как они больше зависят от эффективности шлакоудаления, чем от содержания серы в чугуне [12].

Общие затраты на десульфурацию чугуна, к примеру, с уровня 0,06 %



J

JASPER

Setting The Standards For Highest Efficiency In Thermal Processing

JASPER
 Gesellschaft für Energiewirtschaft und Kybernetik mbH
 D-59590 Geseke / Germany / www.jasper-gmbh.de
 Tel.: +49 2942 9747 0 / info@jasper-gmbh.de

EcoMelter®, производительность 105 т/сут,
 емкость 35 т, регенератор PulsReg® Medusa

Реклама





CAN-ENG FURNACES

Системы непрерывного действия для термообработки труб, прутков и листов

ЗАКАЛКА И ОТПУСК,
 ОТЖИГ / НОРМАЛИЗАЦИЯ
 ДЛЯ ТРУБ, ПРУТКОВ И ЛИСТОВ

Свяжитесь с нами, чтобы узнать, почему многие из крупнейших в мире производителей стали выбирают **CAN-ENG FURNACES INTERNATIONAL LIMITED**.

Чтобы узнать больше о техническом проектировании, разработках и производственных возможностях, посетите www.can-eng.com или направьте электронное письмо Майклу Клауку на mklauck@can-eng.com

ПОСЕТИТЕ CAN-ENG FURNACES НА ВЫСТАВКЕ МЕТАЛЛУРГИЯ-ЛИТМАШ 25-28 ИЮНЯ 2013 г. В МОСКВЕ, СТЕНД 7-2 А18

ул. Монтроз, 6800
 Ниагара-Фоллс, Онтарио
 Канада L2E 6V5
www.can-eng.com
 Т : + 1 905 356 1327
 Ф : + 1 905 356 1817




Реклама

(в доменной печи) до 0,014 % равны примерно 6 долл. США/т чугуна, из которых 50 % составляют расходы на десульфураторы, 25 % связаны с потерями металла при скачивании шлака и 25 % — прочие статьи расходов. Кроме этого, следует дополнительно учесть примерно 2,5 долл. США/т чугуна, расходуемые на оплату труда, обслуживание, коммерческие и административные расходы, а также связанные с амортизацией основных средств. В табл. 3 приведен сравнительный анализ расходов на десульфурацию в доменной печи, при внепечной обработке чугуна и десульфурацию стали, в ходе которой содержание серы в чугуне или стали снижается на 0,01 %.

При проведении десульфурации в доменной печи содержание серы снижается благодаря повышению основности и выхода шлака в результате подачи агломерата с шихтой. Вследствие большего объема шлака также возрастает удельный расход коксовой мелочи при производстве агломерата и расход кокса в доменной печи. В целом затраты на дополнительное понижение содержания серы на 0,01 % составляют 1,44 долл/т чугуна.

При проведении внепечной десульфурации чугуна в плавку необходимо инжектировать большее количество реагентов, что приводит к изменению эксплуатационных расходов на 0,82 долл/т чугуна (см. табл. 3). При этом допускается, что потери при скачивании шлака остаются постоянными.

При десульфурации стали допускается, что дополнительные операции можно осуществлять без добавления флюса, а только за счет более длительной продувки через фурму и повышения расхода алюминия. Одна минута продувки через фурму стоит 0,21 долл., что включает расходы на фурменные огнеупоры и аргон. При расчете общих затрат на десульфурацию стали это означает повышение расходов на 0,6 долл/т чугуна.

Таким образом, в рассмотренных условиях десульфурация стали является самым дешевым способом снижения содержания серы. Но в сталеплавильном производстве важным фактором является правильное использование времени после выпуска плавки в ковш. Сложная логистика последовательных разливок, особенно в цехах, где установлено более одной УНПС, требу-

ет строгого соблюдения графика процесса во времени. Поэтому десульфурация чугуна перед подачей в конвертер является наилучшим из возможных компромиссных решений, поскольку этот вариант не связан с дополнительными потерями при скачивании шлака. Контроль потерь при скачивании — одна из важнейших проблем этого технологического процесса.

Выводы

Сера представляет собой одну из самых вредных примесей стали, которая отрицательно влияет на ее свойства. Основными источниками поступления серы в металл являются первичные топливные материалы органического происхождения, такие, как уголь, нефть и газ, которые широко применяются в технологических процессах производства чугуна и стали. Так как поступление серы в металл — это неизбежное явление, то одной из важнейших операций технологического процесса становится десульфурация. Агрегаты, в которых происходит первичное восстановление и плавка металла (доменная печь, кислородный конвертер и электродуговая печь) могут обеспечить только частичное решение этой проблемы. Кроме того, активное применение этих печей для десульфурации приводит к снижению их производительности, а значит, — и к повышению производственных расходов.

За прошедшие годы и десятилетия разработаны специальные технологии десульфурации, которые адаптированы к химическим и термодинамическим ограничениям процесса десульфурации, предназначены для агрегатов с периодическим режимом работы и обеспечивают удовлетворение требований к содержанию серы в конечном продукте. Для разных марок стали разработаны различные технологические маршруты. Применяются такие методы, как инжектирование порошкообразных реагентов или ввод проволоки с порошковым наполнителем, а также реакции на поверхности раздела шлак–металл на разных стадиях металлургического производства. В качестве десульфураторов успешно используют известь, CaC_2 , CaSi и металлический магний. Расходы на десульфурацию связаны в основном с потребляемыми реагентами. Особое внимание

следует уделять скачиванию шлака, так как потери железа при скачивании должны быть сведены к минимуму. С другой стороны, следует тщательно контролировать операцию скачивания шлака для предотвращения ресульфурации, особенно при десульфурации чугуна перед подачей в кислородный конвертер. ■

Библиографический список

- [1] Mannesmannröhren-Werke, Company brochure, Düsseldorf, 2000.
- [2] Altland, R., Beckmann, B., Stricker, K.-P.: Verfahrensoptimierung am Hochofen durch kontrollierte Alkaliund Schlackenbedingungen. Stahl & Eisen 119 (1999) No. 11.
- [3] The Making Shaping and Treating of Steel. AISI Steel Foundation, Pittsburgh, PA, 11th edition, 1998.
- [4] Bannenber, N.: Recent developments in Steelmaking and Casting. STAHL 2000 conference, Düsseldorf.
- [5] Yamagata, C; Kajiwara, Y.; Suyama, S.: Mass Transfer Model for Desulphurization in the Lower Part of the Blast Furnace. Transaction ISIJ, Vol. 28 (1988).
- [6] Ivanov, O.: Metallurgische Grundlagen zur Optimierung von Hochofenschlacken mit Bezug auf die Alkalikapazität. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, November 2002.
- [7] Kurunov, I., Titov, V., Arsamascsev, A., Basov, V., Tikhonov, D.: Analysis of alkali removal influenced by blast furnace operating conditions, 13th session. Metec InSteelCon, Düsseldorf/Germany, 2011.
- [8] Iwamasa, P. K., Fruehan, R. J.: Effect of FeO in the Slag and Silicon in Metal on the Desulphurization of Hot Metal, Metallurgical and Materials Transactions. Volume 28B, February 1997.
- [9] Kalla, U., Kreutzer, H. W., Reichenstein, E.: Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Einstellung definierter Schwefelgehalte im Stahl. Stahl und Eisen 97 (1977), Nr. 8
- [10] Bannenber, N., Bernsmann, G., Delhey, H.M., Florin, W., Hees, E., Hausen, P., Küppersbusch, H.: Schlackenführung und -optimierung von der Roheisenschwefelung bis zum Konverterabstich. Stahl und Eisen 111(1991), Nr. 1, Seite 119 – 124.
- [11] Ghosh, A.: Secondary Steelmaking — Principles and Applications. CRC Press, 2001.
- [12] Treatment of Hot Metal, Steel, and Slag. Küttner Company Brochure.