

УДК 669.162.267.6:669.721

**А.Ф. Шевченко¹, Б.В. Двоскин¹, И.А. Маначин¹, А.В. Остапенко¹,
А.М. Шевченко¹, С.А. Шевченко¹, Лю Дун Йе², Шью Рен Люи³,
А.М. Башмаков⁴, Э.А. Троценко⁵, Н.В. Морозов⁶**

1 – Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,

2 – СК «Десмаг», 3 – концерн CSC (Тайвань), 4 – Титанпроект,

5 – «Инфоком», 6 – Институт титана.

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА ВНЕДОМЕННОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА МАГНИЕМ И СКАЧИВАНИЯ ШЛАКА НА СТАЛЬЗАВОДЕ №2 КОРПОРАЦИИ CSC (ТАЙВАНЬ)

Целью работы является реализация возможности снижения затрат на производство стали с низким содержанием серы путем создания установок для внепечной десульфурации чугуна. Корпорация CSC приступила к модернизации и расширению производственных мощностей для внепечной десульфурации чугуна с использованием технологии Института черной металлургии НАН Украины. Представлены технические и технологические решения, а также результаты внедрения технологии десульфурации чугуна с вдуванием чистого магния на заводе №2 корпорации CSC (Тайвань). Разработанная технология обеспечивает конвертерный передел качественным глубокообессеренным чугуном, очищенным от шлака.

Ключевые слова: внепечная десульфурация чугуна, технология Института черной металлургии НАН Украины, технические и технологические решения,

В работе принимали участие: Вергун А.С.¹, Булахтин А.С.¹, Кисляков В.Г.¹, Курилова Л.П.¹, Ян Цзя Жуй², Маа Цзо Чжен², Ван Тен Цзян², Юань Жуй Дзян², Чжан Чи Пин³, Штепа С.А.⁵, Кичангин Н.В.⁵, Малёванный Д.А.⁵, Мосягина И.В.⁴

Введение. Корпорация China Steel Corporation (CSC), основанная в 1971 году, как предприятие, совмещающее частную (более 50% акций) и государственную собственности, является крупнейшим производителем стали на Тайване и при производстве 11 млн. тонн стали в год относится к 20 крупнейшим производителям стали в мире [1]. Компания в своем развитии прошла путь от производителя стали массового назначения до производства высококачественных сталей для широкой области применения. Расширению спектра качества металлопродукции концерна CSC способствовало оснащение производства установками вторичной металлургии.

Стальзавод №2, ориентированный на производство особо низкоуглеродистых сталей для автомобилестроения, а также на производство электротехнической стали, оборудован: тремя конверторами с садкой 300 т; двумя установками доводки стали –RH (VAGMETAL); тремя машинами непрерывной разливки плоской заготовки для производства низкоуглеродистого и особо низкоуглеродистого листа; установкой (два поста) для десульфурации чугуна в 160 и 190-тонных миксерных ковшах инжектированием извести с добавкой плавикового шпата (8%) и молотого кокса (5%) с участком подготовки реагента (введены в эксплуатацию в 1987 году); установкой (два поста) для де-

сульфурации чугуна порошковой и зернистой известью в 300-тонных зали-
вочных ковшах KR-процессом (введена в эксплуатацию в 1997 году).

«Узким местом» в условиях постоянно растущего спроса на металло-
продукцию сталываода №2 и необходимости снижения затрат на ее про-
изводство явились не только комплексы для внепечной обработки стали,
но и установок для внепечной десульфурации чугуна. Для решения этих
проблем корпорация CSC приступила к модернизации существующих
установок вторичной металлургии и расширению производственных
мощностей для внепечной десульфурации чугуна. Применение установок
десульфурации чугуна KR- процессом при значительной длительности
цикла операций, недостаточной стабильности достижения серы ниже
0,003% и ограниченной их производительности не решало проблемы. По-
этому для создания новых мощностей по десульфурации чугуна было ре-
шено использовать украинскую технологию вдуванием гранулированного
магния в 300-тонные заливочные ковши без кальцийсодержащих добавок
[2].

Целью работы является реализация возможности снижения затрат на
производство стали с низким содержанием серы путем создания устано-
вок для внепечной десульфурации чугуна.

**Требования к технологии и оборудованию комплекса десульфу-
рации чугуна (КДЧ).**

Новый комплекс десульфурации чугуна и скачивания шлака должен
обеспечивать производительность 6,5 млн. тонн низкосернистого чугуна в
год. При этом в 1,95 млн. тонн чугуна конечное содержание серы после
десульфурации должно быть не более 0,002%, а в остальных 4,55 млн.
тонн чугуна не более 0,005%. Цикл обработки чугуна не должен превы-
шать 26 минут (с момента постановки ковша на чугуновоз до его выдачи
для снятия с чугуновоза).

Примененные технология, оборудование, система автоматизации и
программное обеспечение должны соответствовать лучшим мировым об-
разцам и обеспечивать в 95% случаев достижения гарантийных показате-
лей, в том числе по требуемому конечному содержанию серы, удельным
расходам магния, снижению температуры чугуна при вдувании магния и
скачивании шлака, стойкости фурм и циклу обработки.

Основные условия применения технологии.

Проведенное на сталываоде №2 изучение фактических условий де-
сульфурации чугуна и скачивания шлака позволило уточнить исходные
данные для проектирования нового комплекса, в т.ч.:

- химический состав чугуна, %: [C]-4,4-5,1, [Si]-0,13-0,60, [Mn]-0,15-
0,18, [P]-0,10-0,13, [S]-0,010 – 0,061, [O]- 0,017- 0,048, [N] – 0,0037-0,0045;
- химический состав ковшевого шлака, %: (CaO)-9,3-10,8; (SiO₂) -12,2-
35,8; (MgO) -0,3-3,0; (Al₂O₃) -2,3-4,3; (MnO) -1,4-18,4; (FeO) -12,4-16,7; (S)
-0,09-0,12; остальное – углеродистая спель и Fe_{мет} (отмагниченное);
- основность ковшевого шлака – 0,3-0,7;

- количество шлака в ковшах перед десульфурацией – 0,3-3,9%;
- масса жидкого чугуна в ковше - 243-279 т;
- температура чугуна в ковшах перед десульфурацией – 1257-1411⁰С;
- параметры энергоносителей: давление аргона – 1,0-1,2 МПа; давление азота – 0,4-0,45 МПа; электроэнергия – 480V; 60Hz;
- парк заливочных ковшей включает три типа ковшей, имеющих следующие характеристики:

- внутренний диаметр ковша в верхней части - > 3,9 м;
- глубина ковша (от дна до верхней кромки) – 5,3 м;
- глубина расплава в ковше – 3,6 – 4,2 м;
- высота свободного пространства в ковше – 0,5 – 1,2 м;
- расстояние от дна ковша, установленного на чугуновозе, до отметки «0» - 2500-2750 мм.

Технологические и технические решения. Основные технологические и технические решения, принципиальная аппаратурно-технологическая схема нового комплекса, а также требования к оборудованию и автоматизированной системе управления технологическим процессом были разработаны на основе выполненного анализа исходных условий внепечной обработки чугуна на сталезаводе №2 и требований концерна CSC к сооружаемому комплексу десульфурации чугуна и скачивания шлака. Расчеты проектной производительности КДЧ показали, что при среднем наливе заливочных ковшей чугуном 260 тонн и требуемом цикле обработки не более 26 минут, для обеспечения обработки 6,5 млн. тонн чугуна в год комплекс должен состоять из двух постов десульфурации. Принципиальная аппаратурно-технологическая схема КДЧ представлена на рис.1. Для обеспечения работы комплекса в его состав включены: склад текущего запаса гранулированного магния, стенд для хранения и обслуживания фурм, бункер для хранения и подачи в ковши добавок, корректирующих состав ковшевого шлака, подвесной кран для обслуживания технологического оборудования, помещения управления, PLC и MCC. В состав каждого поста десульфурации входит продувочная камера, передвижная фурменная тележка с двумя фурменными устройствами, устройства измерения температуры и отбора проб чугуна, чугуновоз с кантователем ковша, тележка шлаковой чаши, машина скачивания шлака, баблер, модуль - дозатор, система аспирации.

При разработке основных технологических и технических решений в первую очередь исходили из необходимости выполнения требования концерна CSC по достижению достаточно жесткого цикла обработки - 26 мин. Для сокращения длительности основных технологических операций (в том числе перегрузки реагента из загрузочных модулей в модули-дозаторы, инжектирования реагента в жидкий чугун, подачи чугуна в камеру десульфурации, ввода в ковши добавок, корректирующих состав ковшевого шлака) в проектные решения было заложено их автоматизированное выполнение.

Пост десульфурisasi N1

Пост десульфурisasi N2

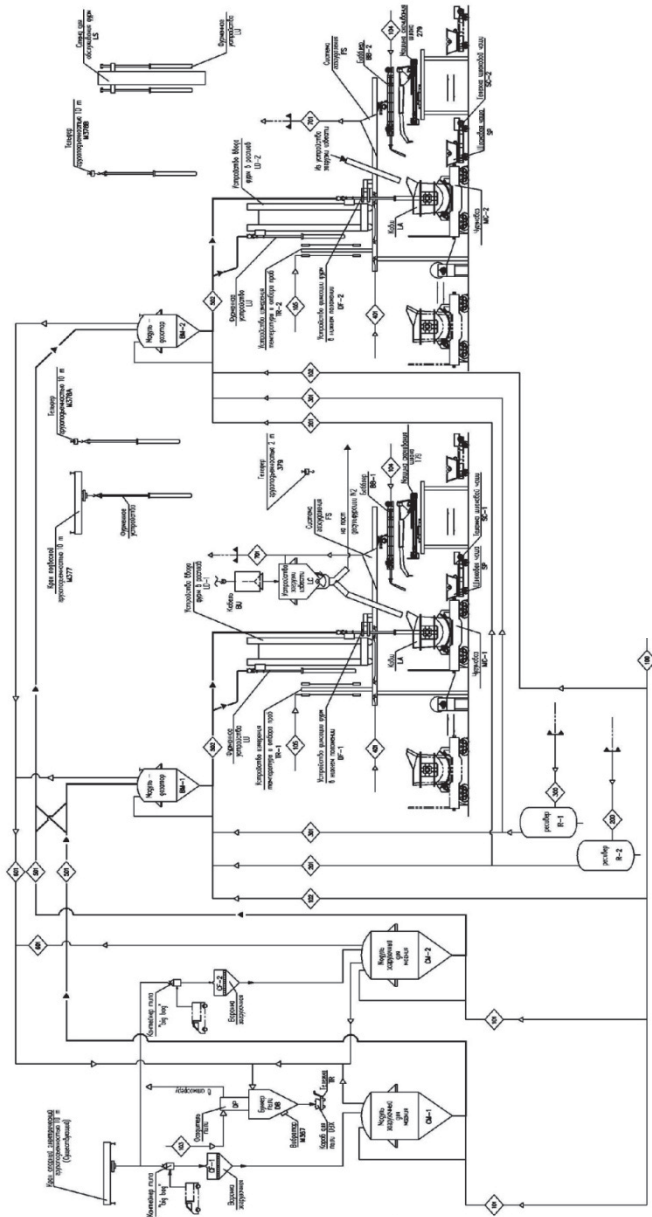


Рис. 1. Установка десульфурisasi чугуна вдуванием гранулированного магния. Аппаратурно-технологическая схема.

Для минимизации цикла вдувания магния в чугун было решено использовать двухсопловые фурмы (рис.2), которые обеспечивают более эффективное взаимодействие магния с расплавом, успокаивают процесс обработки чугуна в ковше, тем самым создавая более благоприятные условия для увеличения интенсивности вдувания магния в расплав по сравнению с односопловыми фурмами [3]. Последующие промышленные испытания это подтвердили.

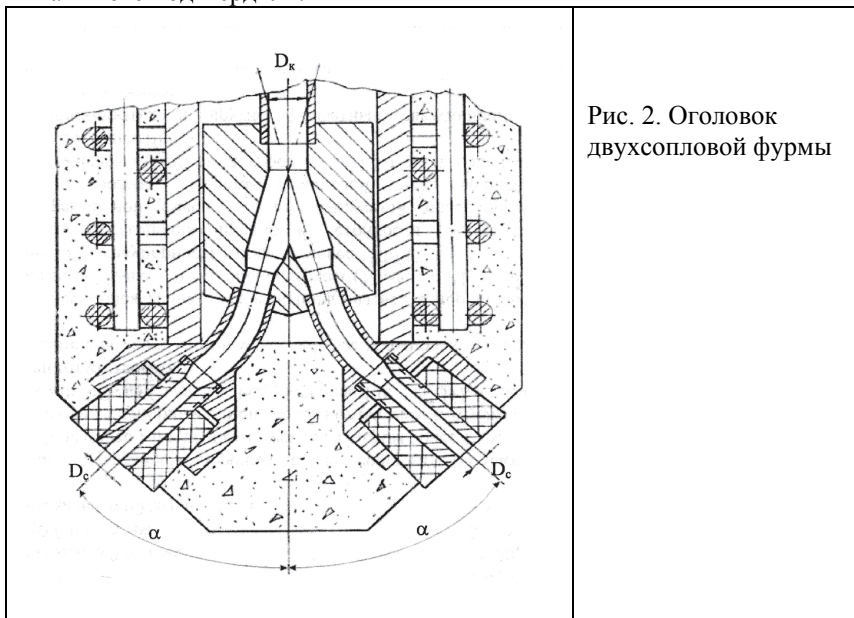


Рис. 2. Оголовок двухсопловой фурмы

Было установлено, что сочетание надежной системы дозирования магния роторными питателями специальной конструкции с высокой точностью дозирования (погрешность не более 2%), с рациональными параметрами газоносителя, подводящих магниепроводов и диаметрами сопел на выходе из фурмы, а также конструкцией оголовка фурмы, обеспечивающей четкое деление потока на два равноценных, позволили довести интенсивность вдувания магния в чугун до 16-25 кг/мин. При этом средняя длительность операции вдувания магния в чугун составила около 7 минут.

Для сокращения продолжительности операции скачивания шлака, которая также является одной из длительных технологических операций по обработке чугуна, было предложено применить бабблеры. Применение бабблеров позволяет за счет перемещения шлака к носку ковша в процессе его скачивания не только сократить длительность этой операции, но и повысить степень очистки чугуна от шлака. Учитывая, что ковшевые шлаки имеют низкую основность и не обладают достаточной серопогло-

тительной способностью (содержание серы в шлаке около 0,1%), было принято решение предусмотреть возможность (при необходимости) корректировки состава шлака добавками (например, зернистой известью, не утилизируемыми отходами огнеупорных и обжиговых производств). Для чего в составе КДЧ был предусмотрен бункер с дозирующим устройством для подачи в заливочные ковши корректирующих добавок.

Применение модуля-загрузочного обеспечивает быструю загрузку модулей-дозаторов магнием со скоростью до 150 кг/мин. Обычно применяют 1 модуль-загрузочный для всей установки [2]. На этом же комбинате по просьбе Заказчика для хранения текущего запаса реагента в состав комплекса были включены два загрузочных модуля, что позволяло проводить их дозагрузку не чаще, чем один раз в сутки.

Наличие на сталевом заводе №2 парка заливочных ковшей с различным расположением дна ковша относительно отметки «0» потребовало предусмотреть комплекс технических решений, обеспечивающих независимо от типа ковша установку фурм в нижнем рабочем положении на расстоянии ~200 мм от дна ковша (в т.ч. разработать и использовать две программы, учитывающие тип ковша).

Проектирование и строительство КДЧ.

Проектирование, сооружение и ввод в эксплуатацию нового комплекса десульфурации чугуна и сканирования шлака осуществлялись совместно генподрядчиком СК «ДЕСМАГ» и украинскими специалистами Института титана, Института черной металлургии, ООО «Инфоком», китайскими фирмами (Машиностроительный завод г. Дальян, Пекинский завод гидрооборудования «ЛИДЭ», Дальянская компания «ХАЙГУН», Дунбанский завод огнеупорных материалов), а также с привлечением Тайваньского проектного института «ФУТАЙ». Ответственность за работоспособность технологического оборудования и достижение гарантийных показателей возлагалась на СК «ДЕСМАГ» и украинскую сторону.

Особенностью проектирования КДЧ являлось требование концерна CSC обеспечить соответствие разрабатываемой проектной документации не только стандартам Украины, но и американским стандартам ANSI (в т.ч. на трубопроводы и емкости высокого давления), а также требованиям проектного стандарта концерна CSC по модернизации, реконструкции и вводу в эксплуатацию новых агрегатов. Все проектные решения по технологии, оборудованию и системе автоматизации должны были соответствовать лучшим мировым аналогам, а программное обеспечение должно было базироваться на самых современных версиях. Закладываемые в проект механо- и электрооборудование, гидроаппаратура должны быть выше или равны требованиям текущих стандартов Тайваня. С целью унификации используемое электрооборудование и оборудование системы автоматизации должно было быть в основном фирмы Siemens. С учетом изложенных требований были определены и согласованы с Заказчиком фирмы поставщики комплектующего оборудования и стандартного про-

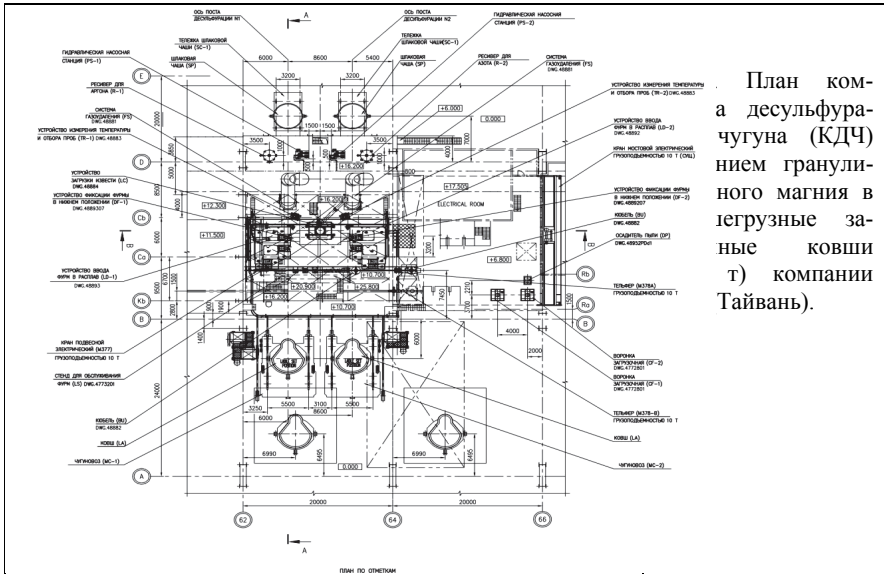
граммного обеспечения. Также Контрактом было оговорено, что все выполняемые работы должны соответствовать требованиям условий Спецификации № CSC-J4601 концерна CSC. Предпроектные и проектные работы, включая работы по адаптации проекта к условиям концерна CSC, были выполнены в соответствии с установленным графиком в течение пяти месяцев.

План, поперечный и продольный разрезы спроектированного комплекса десульфурации чугуна и скачивания шлака представлены на рис.3-5. При проектировании максимально использовалась инфраструктура завода, в т.ч. система аспирации и газоочистки, энергоносители, крановое оборудование, строительные конструкции. Строительство КДЧ было осуществлено на действующем заводе практически без снижения производительности задействованных мощностей и завершено в планируемые сроки по графику через 11 месяцев после вступления Контракта в силу. КДЧ был введен в эксплуатацию в 2012 году после проведения пусконаладочных работ, «холодных» и «горячих» испытаний. Спустя полгода (в соответствии с условиями Контракта) были проведены гарантийные испытания, подтвердившие достижение всех заложенных технологических показателей и КДЧ был передан в промышленную эксплуатацию.

Краткое описание работы комплекса.

Заливочный ковш после налива чугуном на станции перелива (из миксерных ковшей) устанавливает электромостовым краном на чугуновоз. Чугуновоз имеет привод для его перемещения и оборудован системой кантования ковша, что обеспечивает возможность выполнения на каждом посту всех операций, включая скачивание шлака. После установки заливочного ковша на чугуновоз он перемещается в позицию десульфурации и скачивания шлака.

Отбор пробы чугуна и замер температуры производятся автономными устройствами при помощи сменных одноразовых блоков производства Yi Sheng Enterprise Co LTD (Caoxing, Tajwan). Проба чугуна отправляется пневпочтой на экспресс-анализ. После получения результатов анализа производится ввод исходных данных (вручную или информация поступает по интерфейсной связи) в персональный компьютер, который по разработанной программе автоматически с учетом массы и температуры чугуна, начального и требуемого конечного содержания серы, состава магний-содержащего реагента и интенсивности его вдувания рассчитывает параметры процесса десульфурации, в т.ч. требуемый удельный расход магния, расход реагента на ковш, продолжительность обработки. При необходимости производится корректировка химсостава ковшевого шлака. Расчет требуемого расхода корректирующей добавки (в основном 1,5-2,0 кг/т чугуна) производится с учетом количества ковшевого шлака и его основности.



План комплекса десульфурации чугуна (КДЧ) с указанием оборудования и размеров. Основные элементы и размеры:

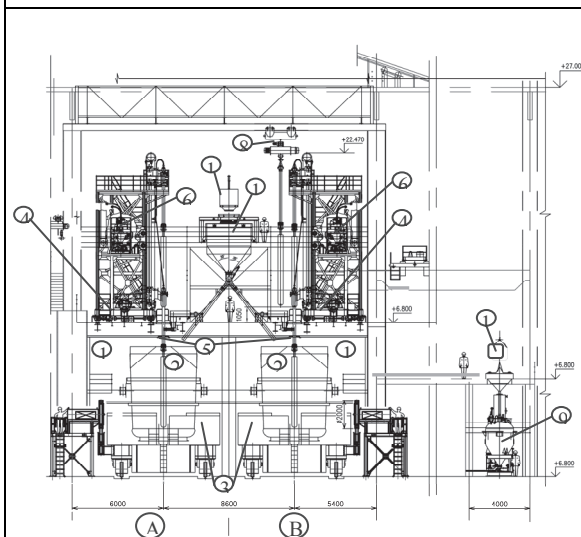


Рис.4. Комплекс десульфурации чугуна (КДЧ) вдуванием гранулированного магния в заливные ковши (290 т) компании CSC (поперечный разрез постов А и В). 1 – камера обработки чугуна; 2 – ковш с жидким чугуном; 3 – подвижный чугуновоз; 4 – устройства ввода фурм в расплав; 5 – фурмы для вдувания магния; 6 – модуль-дозатор зернистого магния; 8 – кран-балка для перемещения и смены фурм; 9 – загрузочный модуль магния; 10 – транспортный контейнер с магнием; 11 – силос сыпучих добавок в ковш (с дозатором); 16 – контейнер с корректирующими добавками.

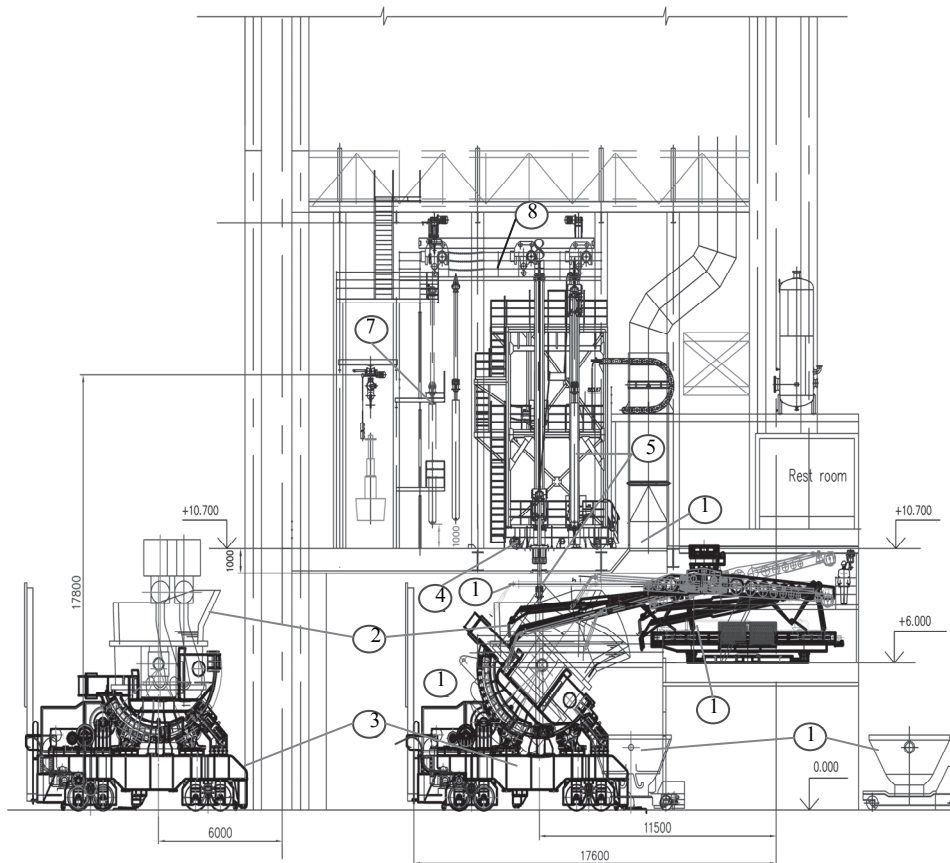


Рис.5. Комплекс десульфурации чугуна (КДЧ) вдуванием гранулированного магния в большегрузные заливочные ковши (290 т) компании CSC (продольный разрез по одному из постов. 1 – камера обработки чугуна; 2 – ковш с чугуном; 3 – чугуновоз; 4 – устройства ввода фурм в расплав; 5 – фурмы для вдувания магния; 7 – стенд резервных фурм; 8 – кран-балка для перемещения и смены фурм; 12 – машина скачивания; 13 – шлаковая чаша на тележке; 14 – баблер; 15 – газоход отходящего дыма.

Вдувание магния в чугун осуществляется с использованием фурм, установленных на фурменной тележке. Ввод требуемой порции магния производится только одной фурмой. Вторая фурма на каждой из фурменных тележек предназначена для обработки следующего ковша. Технологическая компоновка каждого из постов двумя фурмами позволяет при наименьших капитальных затратах обеспечить высокую пропускную способность поста десульфурации в условиях глубокой и особо глубокой десульфурации чугуна. Дозируемый и регулируемый ввод магния в жидкий

чугун (по магнитопроводу и фурменному устройству) обеспечивается полностью автоматизированным комплексом в виде модуля-дозатора специальной конструкции, который располагается на фурменной тележке каждого из постов.

Все операции по инжектированию магния в чугун осуществляются в автоматическом режиме. После ввода в чугун заданного количества реагента фурма поднимается в верхнее положение и все оборудование системы инжектирования переводится поэтапно в исходное положение. По окончании процесса десульфурации производится замер температуры и отбор пробы чугуна, которая отправляется на экспресс-анализ.

Для скачивания шлака ковш на чугуновозе наклоняется механизмом кантования и машиной скачивания шлака скребкового типа осуществляется удаление шлака с поверхности чугуна в шлаковую чашу. Когда толщина остаточного шлака в ковше не превышает 40-60 мм вводится в работу бабблер.

Запыленный дым, выделяющийся из ковшей при десульфурации и скачивании шлака, отводится в систему аспирации и подается в одну из газоочисток завода.

После завершения всех технологических операций по обработке чугуна чугуновоз с ковшом перемещают в исходную позицию для съема ковшей электромостовым краном и передачи его в конвертерное отделение.

Управление всеми технологическими операциями, включая скачивание шлака, осуществляются с главного пульта управления с помощью персонального компьютера, PLC и промышленного телевидения.

Вся информация о проведенной обработке чугуна архивируется и передается на внешние уровни систем управления завода.

Технологические параметры и показатели работы КДЧ. В период подготовки к пуску и в процессе ввода в эксплуатацию КДЧ было проведено шесть серий контрольных обработок. Технологические параметры и показатели, характеризующие работу нового комплекса десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния без добавок в 300-тонные ковши корпорации CSC, представлены в табл.1. При проведении контрольных обработок содержание серы в чугуне определяли в экспресс-лаборатории на спектрометре типа ARL 3460. В обработках II-ой и III-ей серий исходное содержание серы в чугуне определялось по пробам, отобранным не на КДЧ, а на желобах доменных печей. Сопоставление результатов анализа проб, отобранных на доменных печах и на КДЧ, показало, что в пробах, отобранных на КДЧ, содержание серы было выше, отклонение колебалось в пределах +0,007 - +0,020% и в среднем составило +0,008%. Поэтому можно заключить, что в этих сериях обработок фактические показатели работы КДЧ были лучше приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Технологические параметры и показатели, характеризующие работу нового комплекса десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния без добавок в 300-тонные ковши корпорации CSC

№№ пп	Показатель	Наименование серии обработок					
		I горячие испытания	II промыш- ленный массив	III с повы- шенной интенсив- ностью	IV предга- рант. гор. испыта- ния	V предга- рантий- ная про- верка	VI гарантий- ные испы- тания
1	Количество обработок, шт.	24	73	13	4	1	52
2	Масса чугуна в ковшах, т	$\frac{258-275}{261}$	$\frac{243-275}{258}$	$\frac{249-275}{259,9}$	$\frac{247-275}{263,4}$	$\frac{250-271}{263,7}$	$\frac{246-270}{253,0}$
3	Температура чугуна, °C:						
	- исходная	$\frac{1262-1411}{1322}$	-	-	$\frac{1287-1406}{1323}$	$\frac{1269-1385}{1332,6}$	$\frac{1263-1394}{1329,0}$
	- конечная (после десульфурации)	$\frac{1260-1379}{1312}$	$\frac{1232-1385}{1335}$	$\frac{1257-1372}{1324}$	-	$\frac{1251-1373}{1321,9}$	$\frac{1257-1388}{1320,0}$
	- время между замерами, мин.	$\frac{9-37}{19}$	-	-	-	$\frac{14-27}{19}$	$\frac{9-35}{15}$
	- скорость снижения температуры, °C/мин.	0,52	-	-	-	0,56	0,6
4	Расход гранулированного магния, кг/ковш	$\frac{43-179}{94}$	$\frac{102-250}{146,2}$	$\frac{82-195}{113,9}$	$\frac{94-193}{158,5}$	$\frac{73-168}{131,0}$	$\frac{79-175}{118,7}$
5	Удельный расход магния, кг/т	$\frac{0,17-0,68}{0,36}$	$\frac{0,40-0,89}{0,522}$	$\frac{0,27-0,68}{0,38}$	$\frac{0,28-0,66}{0,52}$	$\frac{0,32-0,61}{0,45}$	$\frac{0,28-0,69}{0,413}$
6	Содержание магния в реагенте, %	85 – 92					
7	Интенсивность вдувания магния, кг/мин	12 – 15	12-15	16-25	16	16	16

8	Продолжительность вдувания магния (τ_{Mg}), мин	$\frac{3,5-12,0}{6,9}$	$\frac{6,5-15,6}{9,7}$	$\frac{3,5-12}{5,9}$	$\frac{6,0-12,2}{10,1}$	$\frac{4,8-10,5}{8,0}$	$\frac{4,9-11,3}{7,4}$
9	Полный цикл обработки ковша, мин.	$\frac{16-37}{29}$	$\frac{16-30}{26}$	$\frac{16-32}{24,1}$	$\frac{16-30}{26}$	$\frac{16-34}{26,3}$	$\frac{21-36}{27,0}$
10	Содержание серы в чугуна, %:						
	исходное	$\frac{0,015-0,056}{0,024}$	$\frac{0,009-0,045}{0,0242^*}$	$\frac{0,012-0,061}{0,023^{**}}$	$\frac{0,017-0,031}{0,022}$	$\frac{0,017-0,034}{0,024}$	$\frac{0,015-0,061}{0,0287}$
	после десульфурации	$\frac{0,0007-0,0128}{0,0044}$	$\frac{0,0006-0,0094}{0,0027}$	$\frac{0,0009-0,0044}{0,0026}$	$\frac{0,0002-0,008}{0,0019}$	$\frac{0,0009-0,004}{0,0025}$	$\frac{0,0011-0,006}{0,0029}$
11	Степень десульфурации (Ст.Д) чугуна, %	$\frac{53-96}{82}$	$\frac{66-99}{87,9}$	$\frac{77-95}{88,7}$	$\frac{72-95}{91,3}$	$\frac{84-94}{89,6}$	$\frac{78,9-97,3}{88,7}$
12	Удельная степень десульфурации чугуна – D_q (на каждые 0,1 кг магния на 1 т чугуна), % /кг/т	$\frac{14-29}{23}$	$\frac{11-22}{16,8}$	$\frac{9,0-33}{23,3}$	$\frac{14-20}{17,5}$	$\frac{15-30}{19,9}$	$\frac{15,1-29,4}{21,5}$
13	Приведенная скорость степени десульфурации – D_τ (Ст.Д/τ), % /мин	$\frac{8-15}{11,9}$	$\frac{7-12}{9,1}$	$\frac{9,0-33}{15}$	$\frac{7,4-18,9}{9,0}$	$\frac{8-20}{11,2}$	$\frac{7,9-28,7}{11,6}$
14	Расход магния на серу удаленную (В), кг/кг	$\frac{1,1-3,7}{1,83}$	$\frac{1,5-4,8}{2,64}$	$\frac{1,2-2,2}{1,86}$	$\frac{1,3-2,9}{2,6}$	$\frac{1,3-3,1}{2,09}$	$\frac{1,3-2,8}{1,6}$
15	Степень усвоения магния на серу (K_{Mg}^S), %	$\frac{21-68}{42,2}$	$\frac{20-49}{31,3}$	$\frac{35-65}{40,9}$	$\frac{26-57}{29,2}$	$\frac{24-53}{36,0}$	$\frac{20-69}{47,1}$

* числитель - пределы значений, знаменатель средние значения;

** значения по пробам, отобраным на доменной печи.

Для десульфурации чугуна использовались следующие магниевые реагенты:

- зернистый магний с солевой оболочкой производства магниевого завода г. Дашицяо ;
- фрезерованный магний с покрытием производства Хунаньского магниевого завода.

Все магниевые реагенты, которые использовались при проведении характеризующих серий контрольных обработок, имели просроченный срок хранения. Проверочный анализ отобранных проб магниевых реагентов показал, что содержание магния металлического в реагентах находится в пределах 85 - 92%. Для вдувания магния в чугун использовались двухсопловые фурмы производства Дунбанского завода огнеупорных материалов и Тайваньской фирмы ТУК.

Инжекционное вдувание магния в расплав проводилось при следующих технологических параметрах:

- давление аргона:
 - в подводящей трассе - 1,08-1,22 МПа;
 - перед началом погружения - 0,9 МПа;
 - при выдаче реагента - 0,63-0,83 МПа;
- расход аргона на фурму:
 - при погружении фурмы - 140-160 $\text{нм}^3/\text{ч}$;
 - при выдаче магния - 130 -160 $\text{нм}^3/\text{ч}$;
 - при подъеме фурмы - 140 $\text{нм}^3/\text{ч}$;
- интенсивность подачи магния - 12-25 кг/мин.

Все контрольные обработки были проведены с соблюдением требований разработанной технологической и технической документации и инструкций.

Инжекционное вдувание магния в чугун в пределах заданных параметров протекало устойчиво. Во всех обработках в чугун было введено требуемое количество реагента. Обработки протекали спокойно, технологично, без выплесков чугуна. Технологическое оборудование и АСУ ТП при вдувании магния работали в штатных режимах и отвечали технологическим требованиям. Фурмы обеспечивали вдувание реагента в пределах параметров технологии десульфурации. Футеровка фурм практически не требовала ремонта.

Следует отметить, что результаты I-ой серии обработок показали высокую эффективность примененного процесса десульфурации. В этой серии «горячих» обработок технологический процесс обеспечил при среднем исходном содержании серы в чугуне - 0,024% глубокую десульфурацию до 0,0007-0,0128% (среднее 0,0044%) при небольшом среднем удельном расходе реагента - 0,360 кг/т.

Обессеренный чугун, очищенный от шлака, полученный в процессе проведения II-ой серии обработок использовался для выплавки в конвер-

терах различных низкоуглеродистых марок стали. КДЧ за этот период стабильно обеспечивал текущее производство чугуном с требуемым содержанием серы. За анализируемый период было выплавлено около 25 тыс. т стали с использованием чугуна со средним конечным содержанием серы - 0,0033%. При этом на повалке в конвертере была получена сталь со средним содержанием серы 0,0047%, т.е. приход серы в конвертере составил всего 0,0015%.

Таким образом, проведенная промышленная проверка подтвердила надежность работы нового КДЧ и показала, что он выполняет поставленные задачи по обеспечению выплавки низкосернистых марок стали качественным глубокообессеренным чугуном, очищенным от шлака.

В объеме проведенных контрольных обработок особый интерес представляет III-я серия обработок, в которых вдувание магниевого реагента в расплав осуществлялась с высокой интенсивностью. Во всех 13 контрольных обработках, проведенных с интенсивностью подачи реагента 18 – 25 кг/мин, было достигнуто конечное содержание серы в чугуне ниже заданного. Причем обработки проводились в производственных режимах, когда удельные расходы магния назначались по исходной сере, полученной по пробе, отобранной на летке доменной печи, т.е. фактическое исходное содержание серы в чугуне было выше, вводимой для расчета расхода магния в программу. Несмотря на назначение расхода реагента по пробе чугуна, отобранной не из заливочного ковша, достигалось конечное содержание серы в чугуне даже ниже требуемого.

Полученные данные позволяют заключить, что и при высокой интенсивности вдувания реагента процесс десульфурации чугуна магниевыми реагентами без кальцийсодержащих добавок сохраняет высокую эффективность усвоения магния и технология имеет существенные резервы для сокращения цикла обработки и снижения заложенных в программу удельных расходов магния.

В задачи IV-ой и V-ой серий обработок входило выполнение комплекса подготовительных работ к проведению зачетных гарантийных испытаний в объеме требований Контракта. Обработки VI-ой серии были проведены в процессе зачетных гарантийных испытаний.

Характеризуя массив зачетных гарантийных обработок (52 обработки) необходимо отметить, что при исходном содержании серы в чугуне 0,015-0,061% (среднее 0,0287%) достигнутое конечное содержание серы находилось в пределах 0,0011-0,0048% (среднее 0,0029%). Таким образом, в 86,5% гарантийных обработок достигнутое конечное содержание серы в чугуне было ниже заданного, а в 9,6% случаев находилась на заданном уровне. Вероятность достижения заданного или ниже заданного конечного содержания серы составила ~96,15% (рис. 6). Следует отметить, что столь высокие показатели по стабильности процесса были достигнуты, несмотря на ряд неблагоприятных условий. Количество исходного шлака в ковшах было более 1% от массы чугуна, его основность не превышала

0,3, но по требованию Заказчика корректировка химсостава шлака не производилась. Кроме того, в чугунах имелось высокое содержание кислорода - $>0,017\%$.

О высокой эффективности внедренного процесса десульфурации чугуна магнием без добавок также свидетельствуют приведенные зависимости степени десульфурации чугуна от удельного расхода магния (рис.7), расхода магния на удаленную серу (рис.8) и степени использования магния на серу (рис.9) от исходного содержания серы в чугуне.

Снижение температуры чугуна за период обработок в среднем составило 7°C (со средней скоростью $0,6^{\circ}\text{C}/\text{мин}$).

Благодаря высокой интенсивности вдувания реагента (16-25 кг/мин) цикл всех операций обработки чугуна не превышал 26 минут (после завершения периода обучения персонала), а в целом ряде обработок составлял 16-17 минут. Таким образом, и в плане пропускной способности КДЧ также имеет существенные резервы.

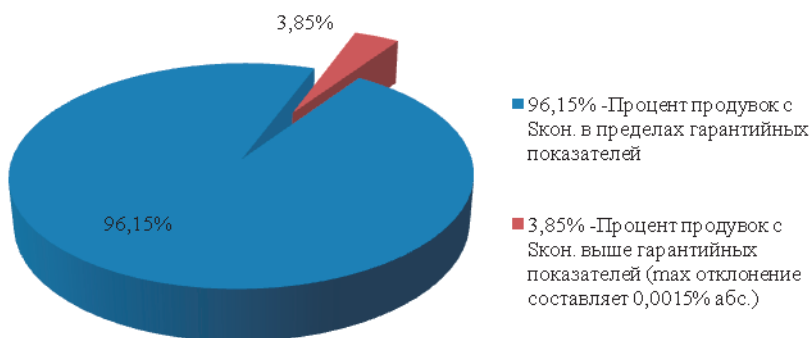


Рис.6. Вероятность соответствия конечного содержания серы в чугунах $[S]_{\text{кон.}}$ его заданному значению $[S]_{\text{зад.}}$ по результатам обработки данных 52 гарантийных продувок.

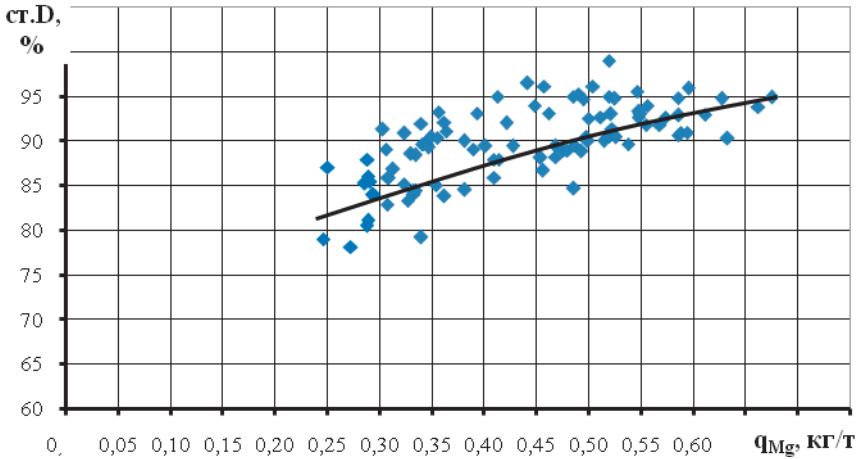


Рис.7. Зависимость степени десульфурации чугуна (Ст.Д) от удельного расхода магния (q_{Mg}) при вдувании через двухсолоповые фурмы в заливочные ковши сталъ-завода №2 концерна CSC (Тайвань).

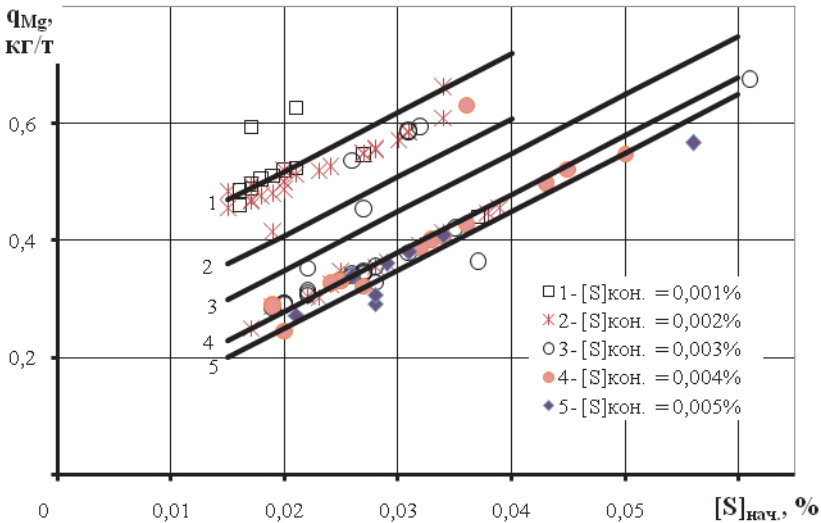


Рис.8. Зависимость удельного расхода магния (q_{Mg}) от исходного содержания серы в чугуне ($[S]_{нач.}$) при вдувании через двухсолоповые фурмы в заливочные ковши сталъзавода №2 концерна CSC (Тайвань).

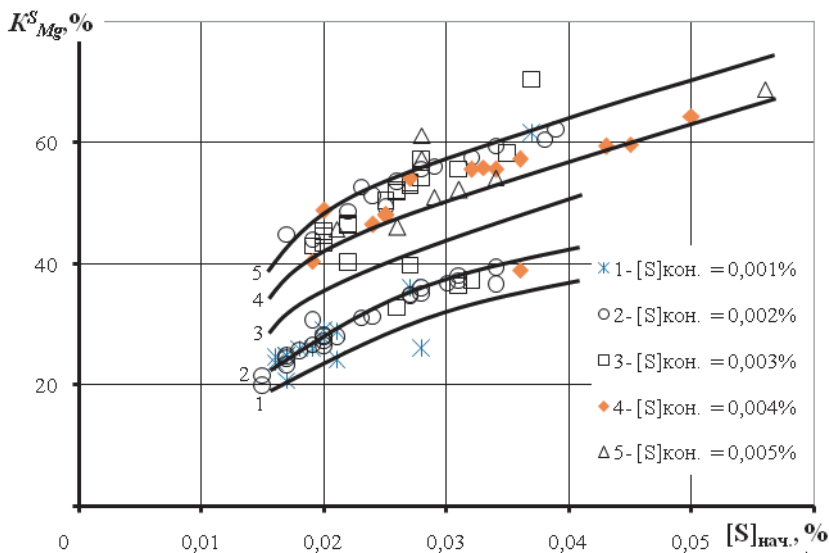


Рис.9. Зависимость степени усвоения магния на серу (K_{Mg}^S) от исходного содержания серы в чугуна ($[S]_{нач.}$) при вдувании через двухсопловые фурмы в заливочные ковши сталзавода №2 концерна CSC (Тайвань).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Сооруженный и введенный в промышленную эксплуатацию в 2012 году на сталзаводе №2 корпорации CSC комплекс десульфурации чугуна проектной мощностью 6,5 млн. тонн в год вдуванием в 300-тонные заливочные ковши гранулированного или зернистого магния (без добавок) через двухсопловые фурмы обеспечивает конвертерный передел качественным глубокообессеренным чугуном, очищенным от шлака. Отработанные технологические параметры и регламенты позволяют устойчиво и надежно вводить магний в расплав и эффективно его использовать. Технология обеспечивает снижение содержания серы до 0,001-0,002%, вплоть до 0,0002%. Технологический процесс полностью отвечает гарантийным требованиям и характеризуется высокой стабильностью. Вероятность достижения заданного или ниже заданного содержания серы в чугуна составляет более 95%.

Полный цикл по обработке чугуна не превышает 26 минут, что обеспечивается высокой интенсивностью вдувания реагента (до 25 кг/мин).

Конвертерный передел полученного глубокообессеренного чугуна очищенного от шлака с требуемым средним конечным содержанием серы 0,0033% сопровождается незначительным приходом серы в конвертер, который составлял всего 0,0015%.

1. *Установки вторичной металлургии компании CSC. Успех через качество / Хонг-Чи Се, Т. Айхерт, Д. Темберген и др. // Черные металлы.-2008.-№9.- С. 26-31.*
2. *Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах.// «Наукова думка». Киев. -2011. – 207 с.*
3. *Патент № 95876, Украина, С21С 1/02. Фурма для десульфурации чугуна зернистым магнием / В.И.Большаков, А.В. Остапенко, А.Ф. Шевченко и др.*

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук А.С.Вергуном*

***А.Ф.Шевченко, Б.В.Двоскін, І.А.Маначін, О.В.Остапенко,
А.М.Шевченко, С.О.Шевченко, Лю Дун Йе, Шью Рен Люї,
О.М.Башмаков, Е.А.Троценко, Н.В.Морозов***

Створення комплексу позадоменної десульфуратії чавуну магнієм і скачування шлаку на стальзаводі № 2 корпорації CSC (Тайвань)

Метою роботи є реалізація можливості зниження витрат на виробництво сталі з низьким вмістом сірки шляхом створення установок для позапічної десульфуратії чавуну. Для вирішення цих проблем корпорація CSC приступила до модернізації і розширення виробничих потужностей для позапічної десульфуратії чавуну з використанням технології Інституту чорної металургії НАН України . Представлено технічні та технологічні рішення, а також результати впровадження технології десульфуратії чавуну з вдуванням чистого магнію на заводі № 2 корпорації CSC (Тайвань). Розроблена технологія забезпечує конвертерний переділ якісним знесі- реним чавуном, очищеним від шлаку.