

А.Ф. Шевченко, Б.В. Двоскин, Н.Т. Ткач

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА ГРАНУЛИРОВАННЫМ МАГНИЕМ

Изложена краткая история создания, этапы разработки и освоения технологии и оборудования комплексов внепечной десульфурации чугуна гранулированным магнием. Приведены основные характеристики и показатели работы созданных установок и отделений десульфурации чугуна гранулированным магнием.

Одним из основных сдерживающих факторов развития мирового уровня техники в середине прошлого столетия являлась значительная металлоемкость машин, металло–строительных конструкций из–за отсутствия массового производства высококачественной металлопродукции. Сложившаяся ситуация обусловила активизацию металлургов, особенно стран с высокоразвитой металлургией, в направлении усиления борьбы с вредными примесями в металле и в первую очередь с серой, разупрочняющей металл из–за распределения по границам зерен. Решение поставленной задачи усложнялось тем, что в этот период имели место структурные изменения в сталеплавильном производстве, а именно бурное развитие высокопроизводительного кислородно–конвертерного передела, не обеспечивающего выплавку низкосернистых и глубокообессеренных сталей непосредственно в конвертерах. Разрабатываемые технические решения и оборудование для внепечного рафинирования стали существенно повышали затратность сталеплавильного передела и в ряде случаев не обеспечивали конкурентоспособность стальной металлопродукции. Это потребовало борьбу за качество стали при её массовом производстве начать уже на стадии производства чугуна, тем более, что термодинамические и кинетические условия для удаления серы из чугуна более благоприятны.

Применяемые еще с 20–х годов прошлого столетия реагенты (сода, известь) и процессы внедоменной десульфурации чугуна обеспечивали в основном исправление брака чугуна по сере, а также повышение качества чугуна переводом его в категорию с более низким содержанием серы (0,020–0,035%).

Возросшие требования сталеплавильщиков к качеству чугуна для конвертерного передела поставили задачу уменьшения содержания серы до 0,005–0,010%, а в последние годы вплоть до 0,001–0,003%. Это потребовало для массовой десульфурации чугуна изыскать новые реагенты и разработать надежные способы и оборудование для ввода их в металл.

Металлурги зарубежных стран с начала 60–х годов прошлого столетия для десульфурации чугуна в промышленных масштабах начали кроме извести и соды применять молотый карбид кальция, обладающий высо-

ким химическим средством к сере, что позволило сократить удельные расходы реагента при глубокой десульфурации чугуна. Попытки повышения эффективности десульфурации чугуна немагниевыми реагентами за счет активирующих добавок, применения восстановительных газов, использования специальных мешалок и ряда других приемов позволили в некоторой степени увеличить глубину десульфурации, но это сопровождалось большими удельными расходами реагентов и усугублением недостатков, присущих этим десульфураторам, в первую очередь, большими потерями металла со шлаком и значительным снижением температуры чугуна [1].

На Украине в 1960–1970 гг. решением задач обеспечения конвертерного передела глубокообессеренным чугуном, а также получением рафинированного товарного чугуна, занялось одно из структурных подразделений Института черной металлургии – отдел технологии металлургического литья, которым был накоплен опыт повышения качества металлургического литья обработкой чугуна различными реагентами и лигатурами. Исследования по поиску новых реагентов для десульфурации чугуна показали перспективность использования магния, обладающего большими потенциальными термодинамическими возможностями, уникальной способностью растворяться в чугуне в больших количествах (0,4–0,08%) и имеющего весьма благоприятные кинетические предпосылки протекания тепло- и массообменных процессов. Эти достоинства магния были подтверждены на практике при обработке небольших масс чугуна в автоклавах, где были созданы благоприятные условия для растворения паров магния в расплаве. Однако предпринятые различными исследователями попытки разработать способы обработки больших масс чугуна в доменных ковшах слитковым магнием, кусковым магнием с огнеупорным покрытием, пассивирующими наполнителями, пропитанным магнием коксом, сплавов магния, брикетов магния с наполнителями, регулируемого ввода слитков показали, что процесс протекал очень бурно с большим пироэффектом, неуправляемо и неэффективно, и если некоторые из перечисленных способов ввода магния, обеспечивали в некоторой степени снижение бурности процесса, то эффективность усвоения магния оставалась значительно ниже теоретически возможной [2]. Было установлено, что высокоэффективное применение магниевых реагентов в условиях внедоменной обработки больших масс чугуна невозможно, во-первых, без обеспечения надежного, управляемого и контролируемого их ввода в жидкий расплав, во-вторых, технологический процесс обработки чугуна магнием должен обеспечивать создание благоприятных условий для растворения магния в чугуне и взаимодействие его с серой, в-третьих, используемые технологические приемы и технология в целом должны исключать протекание процессов ресульфурации.

Для решения поставленных задач украинскими учеными основными направлениями исследований и разработок были выбраны:

- ввод диспергированного магния вглубь расплава методом инжектирования, обеспечивающим дозированную подачу реагента и регулируемость процесса в широких пределах;
- использование для реагента в чугунах на гарантированную максимально возможную глубину фурм, в том числе и с испарительными камерами (при недостаточной глубине ванны), обеспечивающие благоприятные локальные условия для растворения магния в жидком чугуне;
- исключение расходования магния на взаимодействие с компонентами добавок и газоносителей, для чего предусмотреть ввод магния в жидкий чугун без кальцийсодержащих добавок и в струе нейтральных к магнию газоносителей;
- блокирование процессов ресульфурации для чего при необходимости корректировать состав ковшевых шлаков и газовую атмосферу над расплавом, а также предусматривать скачивание высокосернистого шлака после десульфурации, до слива чугуна в конвертера.

Комплекс технических решений, которые необходимо было разработать для реализации выбранных направлений работы при создании эффективного промышленного процесса десульфурации больших масс чугуна магнием был обозначен коллективом специалистов Института черной металлургии под руководством проф. Н.А.Вороновой и включал [1,2]:

- разработку научных основ и механизма процесса десульфурации чугуна диспергированным магнием;
- определение требований к реагенту и разработку методов получения диспергированного магниевого реагента;
- разработку технологического оборудования для регулируемого, дозируемого и надежного ввода диспергированного магния в чугун;
- разработку конструкции фурменных устройств для подачи реагента вглубь чугуна;
- разработку технологических приемов по созданию благоприятных шлаковых режимов и безокислительной газовой атмосферы над расплавом, а также требований к оборудованию для их реализации;
- разработку методик расчета и определение динамических нагрузок на элементы установок десульфурации чугуна и создание оборудования для их компенсации;
- разработку рациональных компоновочных решений установок десульфурации чугуна и мест их размещения;
- определение требований к аппаратурному оформлению технологического процесса и разработку решений по механизации, автоматизации и управлению процессом;
- определение состава и параметров пылегазовых выбросов для разработки систем аспирации и газоочистки;
- определение границ рентабельности применения разработанных технологических процессов;
- изучение качества чугуна рафинированного магнием;

– изучение влияния технологических факторов и параметров продувки на процесс десульфурации.

К началу 70-х годов прошлого столетия отечественными специалистами Института черной металлургии, Института титана, Днепропетровского национального университета, НПО «Энергосталь», меткомбинатов «Азовсталь», им. Ильича, «Запорожсталь», «Криворожсталь» и др. предприятий были разработаны технические решения в рамках вышеуказанного комплекса, позволившие создать на ряде комбинатов Украины и России промышленные мощности по десульфурации чугуна в доменных ковшах гранулированным магнием без добавок [1].

Достигнутые положительные результаты в области десульфурации чугуна гранулированным магнием на металлургических предприятиях Украины и России направили поиск исследователей США, Канады и Западной Европы [2,3] в направлении использования диспергированного магния. Уже к середине 80-х годов прошлого столетия в этих странах была создана индустрия по производству измельченного магния и широкое распространение получили установки десульфурации чугуна смесью порошков магния с кальцийсодержащими добавками [3].

Проведенные с компанией «Россборо» (США) совместные испытания разработанного процесса десульфурации чугуна гранулированным магнием, вдуваемым природным газом через фурму с испарителем, подтвердили его надежность и высокое усвоение магния – в 1,5–2 раза выше, чем у ближайших зарубежных аналогов. Однако резервы для повышения эффективности использования магния и совершенствования технологического оборудования оставались.

Важный вклад в дальнейшее совершенствование технологии и оборудования десульфурации чугуна гранулированным магнием на базе проведенного комплексного исследования и анализа закономерностей процессов, протекающих в системе «металл–реагент–шлак–газовая фаза» выполнен специалистами ИЧМ под научным руководством докт.техн.наук Шевченко А.Ф.

Современная технология десульфурации чугуна магнием адаптирована к широкому спектру исходных условий и характеризуется:

– возможностью обработки чугуна в ковшах различного типа (заливочные, доменные, миксерные, литейные и др.) емкостью 0,3–420 т чугуна, имеющих свободное пространство над расплавом 0,25–0,50 м;

– снижением содержания серы в чугуне до требуемого уровня вплоть до 0,001–0,003%;

– применением первичного, вторичного магния и сплавов магния в диспергированном виде (гранулы, зерна с размером частиц 0,5–1,4 мм) без пассивирующих и разубоживающих добавок;

– применением различных типов газоносителей (природный газ, аргон) при концентрации магния в газе не менее 12 кг/м³;

- регулируемой интенсивностью ввода магниевого реагента в расплав с расходом газоносителя 30–40 нм³/ч (при использовании фурм с испарительными камерами);

- повышением при необходимости сульфидной емкости ковшевых шлаков корректирующей добавкой (около 200 кг/т шлака) фракционированной (2–10 мм) извести или отходов её производства;

- корректировкой состава газовой атмосферы в ковше со снижением в ней содержания кислорода ниже 10%;

- вводом магния в чугун на максимальную глубину фурмами с испарительными камерами или без них, но с обеспечением условий достаточно полного усвоения магния чугуном;

- использованием фурм с различными типами футеровок, обеспечивающих стойкость фурм в пределах 60–2000 обработок (в зависимости от условий эксплуатации и обслуживания);

- пневмоинжекционным комплексом, обеспечивающим плавное и регулируемое дозирование реагента с погрешностью менее 0,5% от подаваемой дозы и «мгновенной» интенсивностью вдувания, отличающейся от заданной величины не более чем на 2%;

- автоматизированной системой управления и контроля работой оборудования и ходом технологического процесса;

- степенью усвоения магния чугуном до 95%;

- потерями температуры чугуна – около 1⁰С/мин обработки;

- потерями чугуна с дополнительно образующимися шлаками около 0,5 кг/т.

С момента разработки отечественной технологии десульфурации чугуна и до настоящего времени с её использованием сооружено 16 отделений и установок (табл.1), ведется проектирование и строительство еще 11 установок и отделений (табл.2).

Технологические процессы, базирующиеся на вышеизложенных технических требованиях, прошли длительную промышленную проверку на ряде металлургических заводов Украины, в том числе на меткомбинате «Азовсталь» в 140–тонных чугуновозных ковшах вдуванием гранулированного магния в струе природного газа и в 350–тонных заливочных ковшах вдуванием гранулированного магния в струе аргона. Номограммы требуемых расходов магния при десульфурации чугуна в 140–тонных и 350–тонных ковшах в условиях меткомбината «Азовсталь» приведены на рис.1. Длительная промышленная эксплуатация отделения десульфурации чугуна в 140–тонных ковшах и установки обработки чугуна в 350–тонных ковшах с использованием разработанных технологий подтвердила достоверность номограмм. Технико–экономическое сопоставление технологии десульфурации чугуна «чистым» магнием с технологией десульфурации чугуна магниевыми смесями показало, что технология на «чистом» магнии обеспечивает увеличение степени усвоения магния в среднем с 54,5%

до 90%, отличается наименьшими удельными расходами реагента и надежной, глубокой десульфурацией чугуна в требуемых пределах.

Таблица 1. Перечень сооруженных установок и отделений десульфурации чугуна гранулированным магнием без добавок

№№ пп	Установка (отделение), завод	Год создания/пуска в эксплуатацию	Проектная мощность, млн.т/год
1	Установка № 1, МК «Азовсталь»	1970	0,5
2	Установка, МК им.Ильича	1971	1,2
3	Установка, МК «Запорожсталь»	1972	1,0
4	Установка № 4, МК «Криворожсталь»	1974	0,6
5	Отделение десульфурации, МК «Азовсталь»	1977	4,5
6	Отделение десульфурации,НЛМК	1979	4,0
7	Установка, Раахесский метзавод	1980	1,7
8	Установка, завод «Свободный Сокол» (Липецк)	1982	0,5
9	Установка, Лутугинский завод	1985	0,3
10	Отделение, стальзавод № 1 Уханьского меткомбината	2001	2,4
11	Установка, Пекинский меткомбинат	2002	1,4
12	Отделение, Тайюаньский меткомбинат	2003	2,9
13	Установка, Сяньтаньский меткомбинат	2003	1,2
14	Установка, Ханьданьский меткомбинат	2003	1,0
15	Отделение стальзавода № 1, Циндаоский меткомбинат	2003	1,0
16	Отделение стальзавода № 1, Тангшаньский меткомбинат	2003	3,0

Таблица 2. Перечень проектируемых и сооружаемых установок и отделений десульфурации чугуна гранулированным магнием

№№ пп	Установка (отделение), завод	Проектная мощность, млн.т/год
1	Установка, Тяньзиньский меткомбинат	0,8
2	Отделение, Тонгхуанский меткомбинат	1,44
3	Отделение, Цяньняньский меткомбинат	2,8
4	Отделение, стальзавод № 2 Циндаоского меткомбината	1,0
5	Отделение, стальзавод № 2 Сяньтаньского меткомбината	1,2
6	Отделение, стальзавод № 3 Сяньтаньского меткомбината	2,4
7	Отделение, стальзавод № 3 Уханьского меткомбината	3,8
8	Установка, Саньминьский меткомбинат	1,0
9	Отделение, Люджоуский меткомбинат	2,3
10	Отделение, Линьюаньский меткомбинат	1,0
11	Отделение конвертерного цеха МК «Азовсталь»	1,5

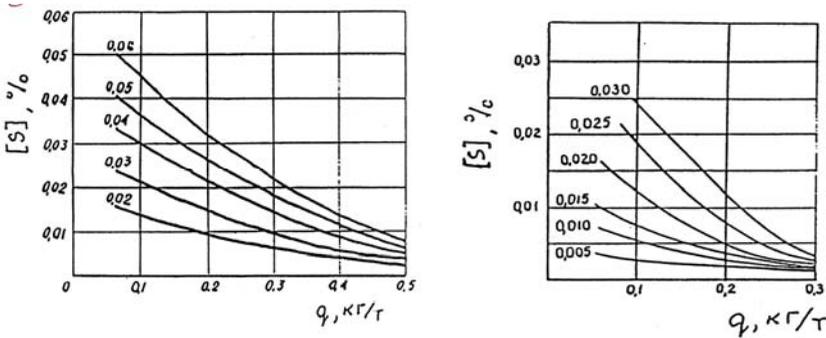


Рис.1. Номограммы требуемых удельных расходов гранулированного магния для заданного снижения содержания серы в чугуна при десульфурации 90–100 тонн чугуна в доменных ковшах (а) и 300 тонн чугуна в заливочных ковшах (б) комбината «Азовсталь». Цифры у кривых – начальное содержание серы в чугуна

Для реализации технологических преимуществ отечественного процесса десульфурации чугуна гранулированным магнием без добавок потребовалось создать надежное оборудование для инжестирования реагента, фурменные устройства и фурмы для ввода их вглубь расплава, системы хранения и перегрузки реагента, а также системы автоматизированного управления и контроля за работой оборудования и ходом технологического процесса [4]. На рис.2 показан модуль–дозатор второго поколения для инжестирования магниевых реагентов в жидкий расплав, спроектированный по технологическому заданию ИЧМ НАНУ Институтом титана.

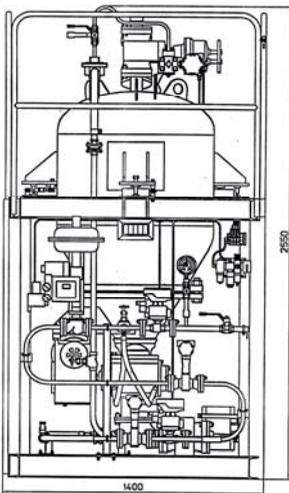


Рис.2. Общий вид модуля–дозатора магния с запорно–регулирующей аппаратурой, весоизмерительным устройством и системой регулируемого дозирования магния.

Современная системы автоматизированного управления процессом десульфурации чугуна «чистым» магнием разработана и внедрена НПО «Инфоком» по техническому заданию ИЧМ и ИТ. Система обеспечивает визуализацию на мониторах состояния основных механизмов установки, блокировок и запрещающих сигналов, представляет на экране необходимую технологическую информацию для управления процессом. На рис.3

приведена структурная схема управления аппаратным комплексом для вдувания магния в жидкий чугун.

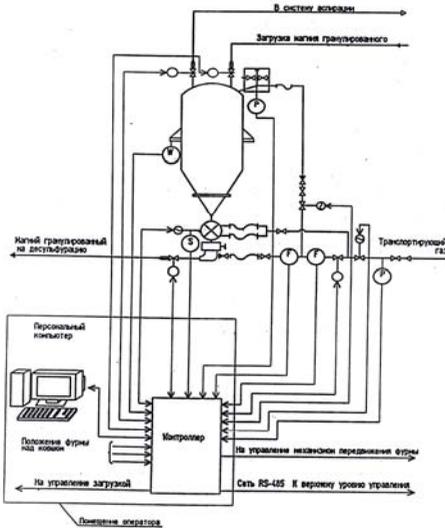


Рис.3. Структурная схема управления аппаратным комплексом для вдувания магния в жидкий чугун.

Технологические процессы, базирующиеся на вышеизложенных технических требованиях, были освоены на ряде металлургических заводов Украины.

В 2000-м году, началось применение украинской технологии десульфурации чугуна «чистым» (без добавок) магнием на металлургических комбинатах Китая (взамен технологии вдувания смесей магния с добавками и другими процессами де-

сульфурации чугуна) [5].

В табл.3 приведены технологические характеристики современных аппаратно-технологических комплексов десульфурации чугуна, созданных в КНР для ковшей различной емкости и типа, в т.ч. 100-тонных заливочных ковшей УхМК, 200-тонных заливочных ковшей ПекМК, 150-тонных заливочных ковшей Тангшаньского МК и 50-тонных доменных ковшей Циндаоского МК.

Из табл.3 следует, что на всех охарактеризованных комплексах десульфурации чугуна имели место отклонения от технологических рекомендаций. Применение в качестве газоносителя вместо аргона и природного газа азота, способного взаимодействовать с магнием в условиях жидкого чугуна, приводило к определенным издержкам и снижению степени усвоения магния чугуном. При этом на УДЧ ПекМК и Тангшаньского комбината ситуация усугублялась тем, что на ПекМК имело место нестабильное давление азота, подаваемого на установку десульфурации, а на ТангМК на установку подавался недостаточно осушенный азот, периодически содержащий капельную влагу. Это потребовало завышения расходов газоносителя (110–170 $\text{нм}^3/\text{ч}$) при вдувании магния, и, соответственно, понизилась концентрация магния в среде вдуваемого азота, что также вело к дополнительному снижению эффективности процесса.

Таблица 3. Технологические характеристики установок десульфурации чугуна УхМК, ПекМК, ТангМК и ЦинМК

Параметр	Рекомендуемый	Реализованный на комбинате			
		УхМК	ПекМК	ТангМК	ЦинМК
1. Масса чугуна в ковше, т	0,5–350	100	200	150	50
2. Глубина расплава в ковше, м	Условия заказчика	2,2–2,3	3,2	2,8–3,0	1,5–1,8
3. Высота свободного пространства в ковше над расплавом, м	≥0,4–0,6	0,6–0,8	0,3–0,5	0,25–0,43	0,4–0,6
4. Глубина погружения фурмы в расплав, м	0,2 м от дна ковша	0,2	0,16	0,2	0,25
5. Тип фурмы	Погружаемая	С испарительной камерой на выходе	Прямоточная, без испарителя	Прямоточная, без испарителя	С испарительной камерой на выходе
6. Обессеривающий реагент.	Гранулированный магний с содержанием Mg _{мет.} >80%	Гранулированный магний первичный, Mg _{мет.} –92–99%	Гранулированный магний первичный, Mg _{мет.} – 92–95%	Гранулированный магний первичный, Mg _{мет.} – 92–94%	Гранулированный магний первичный, Mg _{мет.} – 92–95%
7. Инжектирующий газ	Ar, CH ₄	N ₂ осушен.	N ₂ осушен.	N ₂ не достаточно осушенный	N ₂ осушен.
8. Интенсивность вдувания магния, кг/мин	6–14	6,5	6,5–9,0	4,5–7,5	4,5–7,5
9. Расход газа–носителя, нм ³ /час	30–50 и 100–110	40–45	110–170	110–145	30–35
10. Давление в подводящем трубопроводе	Стабильное при вдувании магния, без пульсаций	Нестабильное, с пульсациями и колебаниями в пределах 0,4–0,6 МПа.	Нестабильное, с пульсациями и колебаниями в пределах 0,8–1,2 МПа.	Стабильное при вдувании магния, без пульсаций 0,89–0,91 МПа	Стабильное при вдуве магния, без пульсаций 0,54–0,56 МПа
11. Режим управления процессом	АСУ ТП и ручное	АСУ ТП и ручное	АСУ ТП и ручное	АСУ ТП и ручное	АСУ ТП и ручное

Однако, как следует из табл.4, где приведены основные показатели промышленных обработок чугуна гранулированным магнезием для последующего передела его в конвертерах, несмотря на имевшиеся на УхМК, ПекМК, ТангМК и ЦинМК отклонения от рекомендуемых наиболее рациональных условий обработки, на всех комбинатах обеспечена заданная десульфурация чугуна со снижением серы вплоть до 0,001–0,002%.

Таблица 4. Показатели промышленной работы установок десульфурации чугуна гранулированным магнезием на Уханьском (УхМК) и Пекинском (ПекМК) металлургических комбинатах

Показатель	УхМК	ПекМК	ТангМК	ЦинМК
1. Содержание серы в чугуне, %:				
- исходное	<u>0,013–0,059</u>	<u>0,014–0,058</u>	<u>0,023–0,099</u>	<u>0,017–0,160</u>
-	0,027	0,027	0,041	0,061
- после десульфурации	<u>0 – 0,025</u>	<u>0,001–0,027</u>	<u>0,002–0,044</u>	<u>0,003–0,043</u>
	0,011	0,009	0,010	0,014
2. Расход гранулированного магнезия:				
- кг/ковш	<u>15,4–74,4</u>	<u>33,7–90,1</u>	<u>36,0–110,0</u>	<u>14,0–109,5</u>
	24,3	53,7	60,2	39,9
- кг/т чугуна	<u>0,15–0,73</u>	<u>0,176–0,452</u>	<u>0,240–0,760</u>	<u>0,300–2,423</u>
	0,24	0,276	0,401	0,788
3. Температура чугуна, °С:				
- до обработки	<u>1211–1393</u>	<u>1283–1396</u>	<u>1246–1370</u>	<u>1207–1359</u>
	1294	1347	1320	1311
- после обработки	<u>1194–1388</u>	<u>1279–1380</u>	<u>1238–1346</u>	<u>1202–1353</u>
	1284	1335	1300	1289
- снижение температуры за весь цикл обработки (включая скачивание шлака, отбор проб и др.)	10	12	20	22
4. Расход магнезия на удаленную серу (показатель β), кг/кг	1,38	1,41	1,26	1,94
5. Степень десульфурации, %:				
- итоговая	<u>20–100</u>	<u>50–90</u>	<u>43,6–95,0</u>	<u>35–98</u>
	59,2	66,7	74,6	73,0
- удельная (на 0,1 кг/т чугуна введенного магнезия)	<u>20,5–49</u>	<u>20–34,1</u>	<u>9,47–31,97</u>	<u>8,2–22,3</u>
	26,8	26,3	21,3	11,09
6. Продолжительность вдувания гранулированного магнезия, мин.	<u>2,3–12,4</u>	<u>4,3–10,0</u>	<u>4,8–15,7</u>	<u>2,2–11,5</u>
	4,2	6,4	9,5	7,4
7. Степень усвоения магнезия, %				
- на снижение серы;	55,1	54,1	62,4	44,9
- суммарная (с учетом Mg остаточного в чугуне).	92	90,1	84,3	н/д

Примечание: Числитель – предельные значения, знаменатель – средние значения

При этом степень использования магния на удаляемую серу находилась для этих комбинатов на достаточно высоком уровне в пределах 44,9–62,4%, а суммарная степень усвоения магния 84,3–92,0%. Следует отметить, что высокая эффективность использования магния была достигнута и на ЦинМК, где обработка чугуна производилась в ковшах относительно небольшой емкости, а глубина погружения фурмы в расплав составляла 1,2–1,6 м. Достигнутое высокое усвоение магния чугуном позволило обеспечить низкие удельные расходы реагента на десульфурацию (0,24–0,788 кг/т). Средний расход магния на удаленную серу составил 1,26–1,94 кг/кг. Снижение температуры чугуна за весь цикл операций, связанных с десульфурацией и скачиванием шлака находился в пределах 10–22⁰С.

Анализ показателей технологии десульфурации чугуна вдуванием «чистого» (без пассивирующих добавок) гранулированного магния, приведенных в табл.4, позволяет заключить, что освоенные технологические процессы имеют еще резервы для повышения использования магния на десульфурацию за счет устранения имевших место вышеотмеченных отклонений от требований технологии и рекомендуемых параметров.

Приведенные на рис.4 зависимости степени использования магния на серу (K_{Mg}^S) от исходного содержания серы по различным технологиям для ряда металлургических комбинатов подтверждают более высокую эффективность отечественной технологии десульфурации по сравнению с технологиями десульфурации чугуна зернистым магнием с кальцийсодержащими добавками (СаО, СаС₂). Даже при десульфурации чугуна гранулированным магнием в относительно не больших 50–тонных доменных ковшах на Циндаоском меткомбинате, достигнутая степень использования магния на серу (K_{Mg}^S ср. = 45,7% при $S_{исх.ср.} = 0,055\%$ и $S_{кон.} = 0,005–0,007\%$) находится на уровне близком к результатам, получаемым при десульфурации чугуна в 160 – 270–тонных заливочных ковшах при их обработке смесями магния с известью.

Сравнение затрат при десульфурации чугуна вдуванием «чистого» (без разубоживающих добавок) магния со всеми другими промышленными технологиями обессеривания гарантированно обеспечивает уменьшение затрат не менее чем на 1 долл/т чугуна при использовании гранулированного магния.

Выполненные разработки по комплексу десульфурации чугуна гранулированным магнием высоко оценены, их авторы награждены Государственной премией Украины, золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР, Международной премией им. Н.А.Вороновой. Разработчики технологии приглашаются и принимают участие в международных симпозиумах и конференциях по вопросам внепечной обработки чугуна, производства гранулированного магния и его использования.

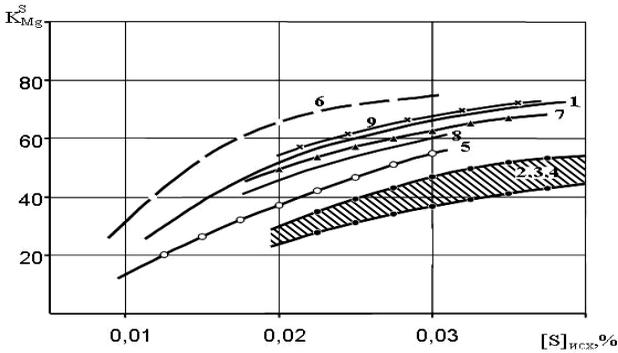


Рис. 4. Изменение степени использования магния на серу (K_{Mg}^S) при десульфурации чугуна в ковшах по различным технологиям на ряде металлургических комбинатов (конечная сера в чугуне

0,005–0,007%).

1 – Процесс на концерне «Шоуган» (КНР); вдувание гранулированного магния азотом; $T=1350^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 195 т. 2,3,4 – Процессы вдувания смеси $\text{CaO}+\text{Mg}$ азотом; $T=1300\text{--}1400^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 160–270 т. 5 – Процесс ESM (США) на комбинате «Baosteel» (КНР); вдувание смеси CaC_2+Mg ; $T=1350^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 280 т. 6 – Процесс на комбинате «Азовсталь»; вдувание гранулированного магния (без добавок) аргоном; $T=1300^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 250–300 т. 7 – Процесс на Уханьском меткомбинате (КНР); вдувание гранулированного магния азотом; $T=1300^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 100 т. 8 – Обработка гранулированного магния на Сянтаньском меткомбинате (КНР); $T_{\text{cp}}=1300^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 80 т. 9 – Обработка гранулированного магния на Тангшаньском меткомбинате (КНР); $T_{\text{cp}}=1320^{\circ}\text{C}$; масса чугуна 154 т.

Заключение. На основе научных разработок Института черной металлургии НАН Украины созданы высокоэффективная технология глубокой десульфурации чугуна магнием и комплекс оборудования для ее реализации, оснащенный системой автоматизированного контроля и управления. Внедрение разработок подтвердило высокий научно-технический уровень и экономическую эффективность разработок.

1. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. /М.: Металлургия, 1980, 239 с.
2. Шевченко А.Ф. Разработка и развитие теории и технологии процессов внепечной десульфурации чугуна в ковшах вдуванием диспергированных реагентов: Автореферат докт. диссертации. 05.126.02 – Днепропетровск, 1997. – 42 с.
3. Zebrowski G.R. A love affair with sulfur. IMA, The international Desulfurization Seminar Prague. 21 october 1999. P. 4–21.
4. Технология и оборудование для десульфурации чугуна магнием. / А.Ф. Шевченко, В.И. Большаков, В.А. Александров и др. // Фундам. и прикл. проблемы металлургии. Вып.5. – К.: Наукова думка, 2002. – С.113–121.
5. Сталь / А.Ф.Шевченко, Б.В.Двоскин, А.С.Вергун и др.// 2002. № 4. – С.46–48.

Статья рекомендована к печати д.т.н. Д.Н.Тогобицкой