



The full technology of application of powder-like materials with injecting of them through unit «Velco» at out-of-furnace processing of steel is described.

В. В. ПИВЦАЕВ, В. И. ДЬЯЧЕНКО, Е. А. ПРОСКУРИН, РУП «БМЗ»

УДК 669.

ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЖЕКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ «VELCO»

В связи с повышением производительности ДСП-1,2 увеличились скорости вытягивания заготовок на МНЛЗ до 2,8–3,2 м/мин, повысилась серийность разливаемых плавков через один промежуточный ковш до 17 ч. Для поддержания высокого темпа производства создается необходимость в сокращении продолжительности обработки металла в ковше как на установке доводки металла (УДМ), так и на установке «печь-ковш». В настоящее время продолжительность обработки, доводки плавков по химическому составу на УДМ составляет 15–40 мин, а на установке «печь-ковш» — от 15 до 50 мин.

В то же время ужесточение требований к непрерывнолитой заготовке по содержанию фосфора и серы, неметаллическим включениям обусловлено процессом разделения заготовки на 3–4 части. Поэтому при разделении заготовки в прокате слитинг-процессом внутренние дефекты в виде несплошностей и неметаллических включений, оцениваемых по общему содержанию оксидов и сульфидов, проявляются на поверхности арматуры и влияют на механические свойства готового сорта.

Свойства включений разнообразны, простые оксиды или комплексные оксидные или даже оксисульфидные фазы, которые зависят от состава раскисляемого металла и его способа раскисления, обработки под шлаком и условий кристаллизации.

Неблагоприятное влияние оказывает цепочное расположение неметаллических включений, когда по границам литого зерна располагается в виде цепочки ряд легкоплавких и легкодеформируемых включений. Такие включения ослабляют сцепление между отдельными зернами и резко понижают прочностные и пластические характеристики стали. Цепочки дают чаще сернистые и реже оксисульфидные включения [1].

Разделение непрерывнолитой заготовки на 3–4 нитки слитинг-процессом и наличие дефектов на поверхности готовой арматуры показано на рис. 1–4.

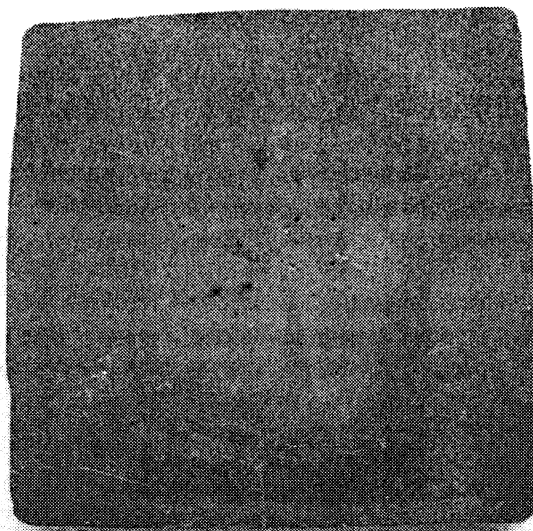


Рис. 1 НЛЗ сечением 125x125 мм

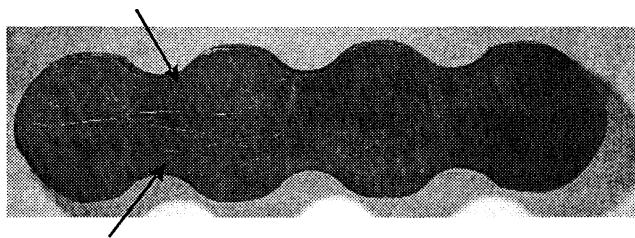


Рис. 2. Макроструктура подката перед разделительной коробкой (стрелками указаны места распределения грубых неметаллических включений)

Поэтому в условиях РУП «БМЗ» при производстве арматурной стали требуется получение низких значений содержания серы, а именно <0,025%. В 2005 г. была введена в эксплуатацию инжекционная установка «Velco», позволяющая увеличить скорость шлакообразования путем вдувания мелкодисперсных шлакообразующих материалов, что способствует раннему наведению высокоосновного шлака и естественно увеличивает скорость десульфурации.

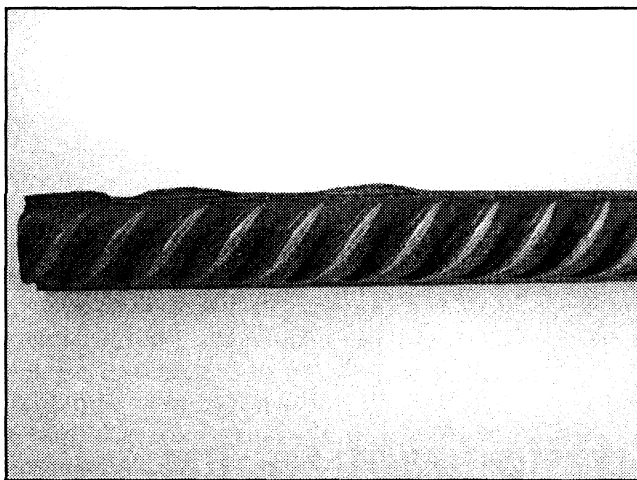


Рис. 3. Раскатанные загрязнения, вышедшие на поверхность в месте разделения

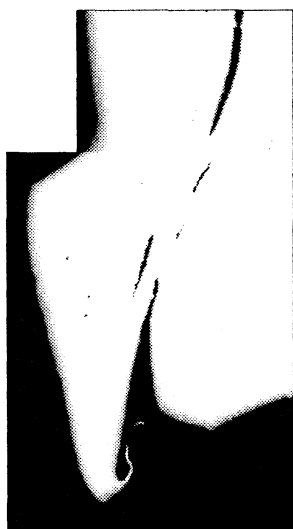


Рис. 4. Раскатанное загрязнение в нетравленном микрошлифе на продольном ребре арматуры №12

Эффективность использования в технологических процессах материалов, переведенных в тонкоизмельченное состояние, достигается за счет увеличения скорости химических процессов и повышения активности реагирующих веществ. С повышением степени дисперсности материалов возрастают их удельная поверхность, реакционная и адсорбционная способность, изменяются их физические и физико-химические свойства: плотность, температура плавления, растворимость и температуры фазовых превращений.

Применение высокодисперсных кальцийсодержащих материалов с большой удельной поверхностью дает возможность при вдувании в объем металла значительно ускорить проведение десульфурации на установках внепечной обработки стали. При этом основным фактором, определяющим эффективность проведения десульфурации, помимо химического состава используемой смеси, является ее фракционный состав, существенно влияющий на технологические параметры инъекции: скорость прогрева и плавления частиц материала определяет необходимую глубину струи, следовательно, и расходы порошкового материала и несущего газа.

Эффективность проведения десульфурации в ковше с применением ТШС на основе кусковой извести снижается с уменьшением исходного содержания серы. Поэтому данный метод обработки не приемлем при производстве стали с содержанием серы менее 0,010–0,015%. Проведение десульфурации путем инъекции высокодисперсных порошковых кальцийсодержащих материалов в раскисленную сталь совместно с применением ТШС на основе кусковой извести позволяет достичь содержания серы в металле на уровне 0,002–0,005% при степени десульфурации более 80%.

Следует отметить принципиальные моменты, характеризующие технологию внепечной обработки стали с использованием вдувания порошкообразных материалов для проведения десульфурации:

- ввод в металл дополнительных шлакообразующих в струе нейтрального газа требует соответствующего увеличения расхода электроэнергии на агрегате «печь-ковш» для компенсации тепловых потерь на нагрев и плавление материала;
- полная замена кусковой извести порошкообразными материалами нецелесообразна ввиду более высокой стоимости обработки;
- конечное содержание серы в металле определяется количеством (кратностью) и качеством (основностью и окисленностью) покровного шлака. Значительное снижение присадок кусковых шлакообразующих на плавках, обработанных порошкообразными материалами, может привести к ресульфурации из-за малой кратности шлака.

Таким образом, эффективное проведение десульфурации на УВОС возможно при сочетании инъекционной обработки металла с наведением шлака кусковой известью. В подборе оптимальных параметров и режимов продувки порошкообразными материалами, расходов шлакообразующих и раскислителей возможно решение двух задач: сокращения времени проведения десульфурации при обработке качественных и легированных марок сталей и (или) достижения высокой степени десульфурации. В условиях существующего в сталеплавильном производстве РУП «БМЗ» комплекса оборудования сокращение времени внепечной обработки способствует увеличению серийности плавков при производстве качественных марок стали с особо низким содержанием серы по схеме ДСП → УВОС → МНЛЗ.

ПРИНЦИП РАБОТЫ

Инжекционная установка «Velco» была вмонтирована в комплекс внепечной установки. Принципиальная схема, внешний вид и система управления показаны на рис. 5.

Установка оборудована системой из двух отдельных бункеров-силосов емкостью по 5 м³, материалы в них загружаются из биг-бэгов. Бункера оборудованы форсунками для разрыхления материала. Наличие материала в бункерах определяется датчиками уровня наполнения. При сигнализации уровня заполнения «min» следует снова загрузить бункер.

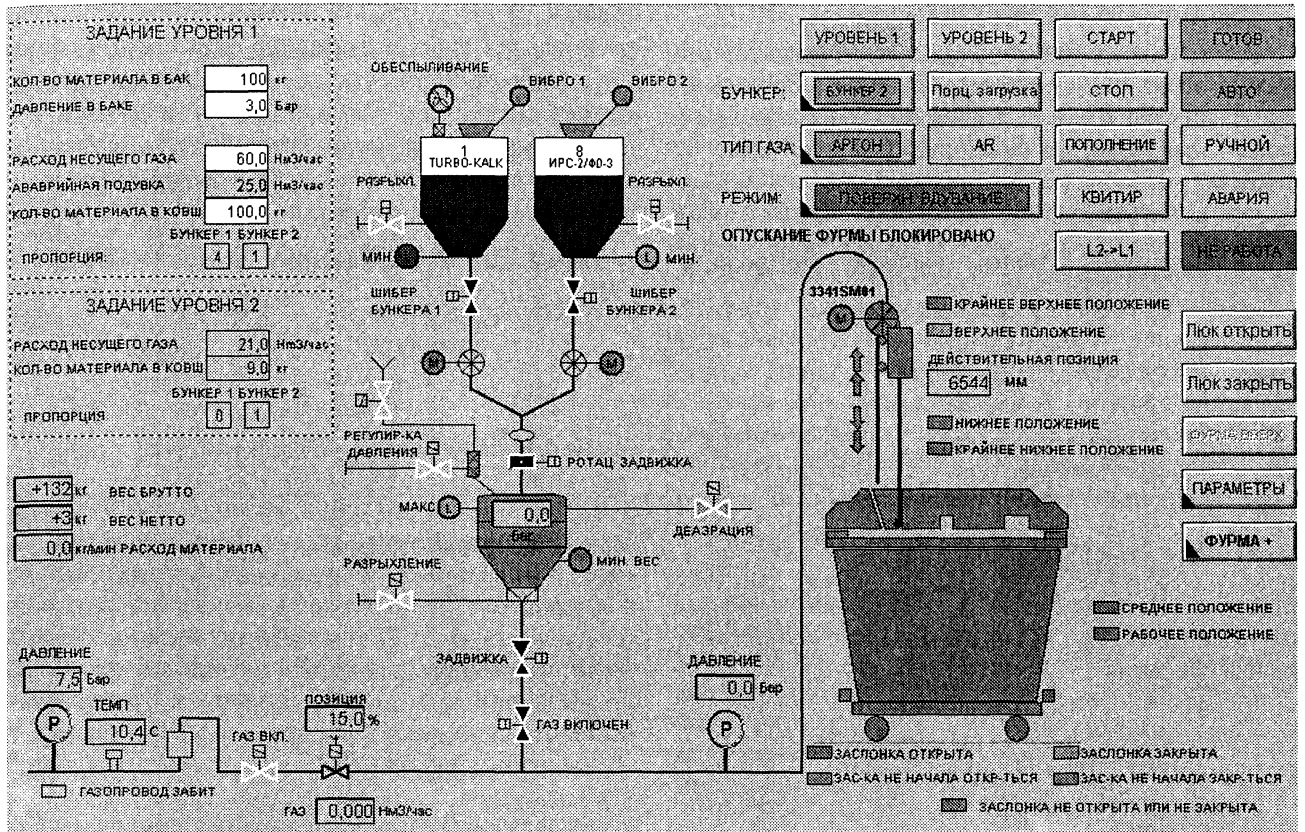


Рис. 5. Схема, общий вид и принцип управления установкой «Velco»

Инжекционная установка представляет собой аппарат, работающий по принципу пневмокамерного насоса. Сыпучий материал при помощи регулируемых транспортирующих шнеков поступает из бункеров и подается в нагнетательную камеру объемом 2 м³. Масса порошкообразной извести, поступающей в пневмокамеру, определяется с помощью системы взвешивания. После наполнения нагнетательная камера герметично закрывается поворотной заслонкой. Сыпучий материал разгружается из машины через находящуюся на газопроницаемом днище воронку. После выхода псевдооживленного материала из пневмокамеры он смешивается с транспортным газом и посредством пневмотрассы (материалопровода) поступает в расходную фурму (копье) диаметром 1¼". Расход материала регулируется верхним давлением.

Инжекционная установка рассчитана для работы с материалом зернистостью 0–4 мм. При этом допускается грубая фракция до 5 мм. Расход материала на материалопроводе можно изменять в диапазоне 30–70 кг/мин. В качестве несущего газа применяется сухой азот или аргон. Давление сжа-

того газа в сети должно достигать 6 атм, а диаметр подвода питания из сети должен составлять 40 мм.

Металлургическая смесь для обессеривания «TURBO-KALK»

Металлургическая смесь для обессеривания «TURBO-KALK» производства компании VGH представляет собой мелкодисперсный материал на основе порошкообразной извести. Характерной особенностью данного материала является высокая текучесть и устойчивость к гидратации, что позволяет использовать ее для инжекционной обработки металла; тонкодисперсность и пористость обеспечивают высокую реакционную способность и эффективное проведение десульфурации. Этот материал позволяет быстро и эффективно повысить основность рафинировочного шлака в случае необходимости.

К недостаткам материала относятся его высокая цена и слеживание в бункерах при длительном нахождении в них, особенно в зимний период.

Химический и фракционный составы материала приведены в табл. 1.

Таблица 1. Данные входного контроля и сертификата качества металлургической смеси «TURBO-KALK»

Наименование документа	Химический состав, %		Фракционный состав, %		
	CaO	W _p	<0,063 мм	0,063–2,8 мм	>2,8 мм
Входной контроль 1	91	0,2	91	8	0
Входной контроль 2	94	отс.	91	9	0
Сертификат качества	90	2,0	0,063–100 %		

Инжекционно-рафинирующая смесь ИРС-2

Данные входного контроля химического состава опытного материала приведены в табл. 2. Для инъекции поставляется смесь с фракцией не более 3 мм. Пылевидная фракция практически отсутствует.

Достоинством ИРС-2 является низкая температура плавления (1300–1350 °С). Поэтому при

раннем ее дувании она является подложкой для растворения кусковой извести. Входящие в состав материала компоненты CaF_2 , Al_2O_3 и щелочи служат хорошими разжижителями основных рафинировочных шлаков, что позволяет снизить расход плавикового шпата. Кроме того, щелочи – хорошие десульфураторы.

Таблица 2. Данные входного контроля и требования НД к химическому составу ИРС-2

Данные	Массовая доля компонентов, %										
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaF ₂	не более					
						C	S	P ₂ O ₅	FeO	MnO	K ₂ O+Na ₂ O
Входной контроль	49,0	17,0	10,0	2,6	17,0	0,6	0,2	0,7	1,2	0,1	отс.
Требования ТУ	30–80	1–20	10–40	1–12	6–30	3	1	1,5	3	2	10

Цена ИРС-2 значительно ниже, чем «TURBO-KALK». К недостаткам ИРС-2 следует отнести наличие оксида кремния и значительно меньшее по сравнению с «TURBO-KALK» содержание оксида кальция.

Исходя из этого, для повышения основности рафинировочного шлака по сравнению с «TURBO-KALK» расход ИРС-2 должен быть выше (для ввода одинакового количества оксида кальция без учета щелочей).

Положительное влияние ИРС-2 на процесс десульфурации стали проявляется в ускорении шлакообразования и разжижении рафинировочного шлака.

ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЭСПЦ-1 ДО ПУСКА УСТАНОВОК «VELCO»

Действующая технология внепечной десульфурации в ЭСПЦ-1,2 основана на использовании ТШС на основе кусковой извести и плавикового шпата фракцией 50–80 мм. В ряде случаев применяется шлакообразующая смесь марки ИРС-2 крупной фракции, отдача которой производится на дно сталеразливочного ковша перед выпуском металла из ДСП. Процесс десульфурации по времени и месту проведения можно разделить на две части.

1. Присадка шлакообразующих материалов «под струю» во время выпуска металла из ДСП с последующим интенсивным перемешиванием продувкой нейтральным газом в течение 5 мин. Преимущество данного метода состоит в использовании энергии струи металла для интенсивного перемешивания и растворения материалов. Интенсивному протеканию процесса десульфурации способствуют достаточно высокая температура металла и раскисление присадками чушкового алюминия. К недостаткам можно отнести вероятность попадания в ковш печного шлака и ограниченное количество материалов, присаживаемых на выпуск, как правило, не более 3–5 кг на 1 т

полупродукта. Кроме того, за время выпуска успеваает ошлаковаться только фракция извести размером до 20 мм. Степень десульфурации стали на выпуске из ДСП в ковше не превышает 30%.

2. Наведение «белого» шлака на установке «печь-ковш» присадками извести и плавикового шпата с суммарным расходом до 10 кг на 1 т. Раскисление шлака ШРС на основе алюминия или кремния.

Для эффективного проведения десульфурации необходимо наводить ковшевой шлак с основностью 2,5–3,5 ед., окисленностью (FeO+MnO) не более 1,5% и кратностью $M_{\text{шл}}/M_{\text{МЕ}}$ 1,0–1,5%. Для улучшения условий массообмена между фазами металл – шлак используют перемешивание с помощью донной продувки нейтральным газом или катушек ЭМП. При соблюдении этих требований степень десульфурации за время ковшевой обработки составляет 40–60%. Особенностью технологии десульфурации в ЭСПЦ-1 является ограничение содержания алюминия (не более 0,005% в разливаемой стали) из-за опасности затягивания стаканов-дозаторов. При содержании алюминия менее 0,005% активность кислорода в металле составляет от 20 до 40 ppm, что препятствует проведению глубокой десульфурации стали. Ввод дополнительного количества кусковой ТШС не полностью решает проблему, так как при росте основности шлака $B >> 3,5$ ед. процесс десульфурации существенно тормозится. Оптимальное количество шлака при обработке стали на агрегате «печь-ковш» должно обеспечивать толщину слоя шлака на 20–25% больше длины дуги, что при плотности шлака 2800 кг/м³ для условий ПК-1,2 РУП «БМЗ» ($L_{\text{д}}=60$ мм, $D_{\text{к}}=2700$ мм) составляет около 1,3 т. При толщине слоя шлака менее 2/3 от длины дуги происходит науглероживание и азотирование стали; при увеличении толщины слоя шлака более 1,6–1,8 длины дуги возможны следующие негативные явления: зональный перегрев шлака до температуры более 1800–1900 °С и выход из строя свода, перерасход электроэнергии.

В результате на базовом сорimente ЭСПЦ-1 средняя степень внепечной десульфурации составляет от 30 до 40%. Конечное содержание серы в металле порядка 0,030–0,040 % удовлетворяет требованиям НД, но отрицательно сказывается на уровне брака, связанного с образованием и развитием горячих трещин, особенно при раскате заготовок в 3–4 нитки.

ТЕХНОЛОГИЯ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ НА ПК-1,2 С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ВДУВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ФИРМЫ «VELCO»

Порядок проведения работ

Отработка технологии десульфурации посредством совместного использования вдувания порошкообразных шлакообразующих материалов и наведения шлака кусковыми известью и плавиковым шпатом осуществлялась на ПК-1 при производстве всех марок стали за исключением плавок кордового сортамента.

Для инъекции на УВОС использовали порошкообразные материалы «TURBO-KALK» и ИРС-2, вдуваемые в среде инертного газа на поверхность или в объем металла посредством системы «Velco».

По прибытии сталеразливочного ковша с плавкой на агрегат «печь-ковш» посредством электрической дуги осуществляли нагрев плавки для получения жидкоподвижного шлака и набора, необходимой для эффективного протекания процесса десульфурации, температуры с учетом потери тепла при последующей продувке плавки порошкообразными материалами. На части плавок опытный материал вдували перед присадкой кусковых шлакообразующих или совмещали процесс продувки и наведения шлака, на остальных опытных плавках перед продувкой осуществляли присадку первой порции шлакообразующих согласно действующей НД. Перед стартом инъекции порошкообразных материалов с пульта управления установкой «Velco» проводили предварительный набор массы вводимого в камеру-питатель материала, задавали требуемые расходы материала и газа-носителя и рабочее давление в камере-питателе. После набора температуры отключали дуги и включали установку «Velco». При работе установки в автоматическом режиме после набора рабочего давления в камере-питателе включалась подача транспортирующего газа-носителя и фурма опускалась от исходной позиции (крайняя верхняя точка) до рабочей позиции. После достижения рабочей позиции происходил поиск зеркала металла (с пониженной скоростью движения фурмы) и погружение фурмы на ранее заданную глубину. По достижении фурмой заданной глубины погружения осуществлялось вдувание материала в ранее заданном количестве. При работе в «ручном» режиме ход манипулятора и глубину погружения фурмы устанавливали по визуальной оценке путем нажатия клавиш «Фурма вверх» и «Фурма вниз». После отдачи материала фурма поднималась в рабочую позицию, после чего

отключалась подача газа-носителя и происходил сброс давления в камере-питателе.

Система управления установки «Velco» ЭСПЦ-1 интегрирована с сервером печь-ковша. Ход манипулятора фурмы вычисляли системой управления по положению фурмы относительно верхнего концевого выключателя и уровню металла в ковше, определяемому при автоматическом замере температуры металла. При проведении продувки глубину погружения фурмы задавали вводом с пульта управления предварительно измеренной ее длины либо регулировали по визуальной оценке клавишами «Фурма вверх» и «Фурма вниз» выносного пульта управления манипулятора. В случае необходимости производили повторную загрузку пневмокамеры и вдувание материала. Дальнейшую внепечную обработку опытных плавок проводили согласно действующей НД.

По ходу процесса внепечной обработки стали контролировали следующие технологические параметры: расход и скорость отдачи инжектируемого материала, химический состав конечного ковшевого шлака, температуру и химический состав металла; на ряде плавок измеряли активность кислорода датчиками прибора «Multi-Lab Celox».

В ходе проведения испытаний определяли основные параметры работы установок и особенности протекания процесса десульфурации при использовании разных по фракции и химическому составу порошкообразных материалов. Установка «Velco» в работе при инъекционном вдувании порошковых материалов приведена на рис. 6.

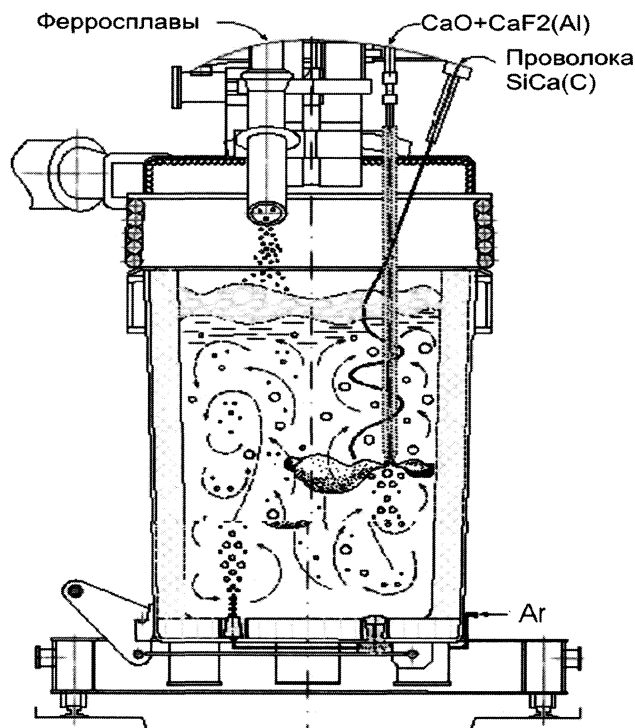


Рис. 6. Установка «Velco» в работе при инъекционном вдувании порошковых материалов

ВЫБОР СОСТАВА ШЛАКА

Получение шлака требуемого состава является одной из главных трудностей в процессе десульфурации. Как будет показано ниже, свойства шлака ухудшаются, когда он становится гетерогенным и содержит твердые частицы в виде взвеси, где скорости диффузионных процессов между металлом и шлаком резко уменьшаются. Следовательно, нужные составы должны быть в непосредственной близости от области насыщения по извести. По мнению авторов [2], при 1625 °С они должны удовлетворять следующим условиям: $\%CaO + \%MgO = 61\%$, при этом предпочтительное содержание MgO составляет $< 8\%$; $\%SiO_2 < 15\%$ — при раскислении металла алюминием; $\%SiO_2 < 10\%$ — для металла, раскисленного только кремнием.

Для каждой установки результат десульфурации зависит от тщательного выбора оптимального состава шлака и изменяется от гарантированной точности содержания $(CaO + MgO)$. При этом L_s колеблется от 500–1000 при точности $\pm 2\%$ до 200 при изменении точности до $\pm 4\%$.

Данные работы [3] показывают, что коэффициент распределения серы для насыщенного CaO шлака \approx в 100 раз больше, чем насыщенного алюминатом шлака.

Рекомендуемые компоненты шлака, используемые для десульфурации, не всегда одинаковы, но расхождения в составе относительно небольшие. R.Fuehan [4] считает оптимальным следующий состав шлака: $CaO - 60-70\%$, $Al_2O_3 - 20-30$, $SiO_2 - 5-10\%$, имея 0,03% Al в стали, L_s составляет 500–700 при 1600 °С. Кремнезем может быть частично заменен CaF_2 для обеспечения гомогенности (жидкого) шлака. Также он считает допустимым наличие 5–8% MgO в шлаке системы $60\%CaO - 25\%Al_2O_3 - 10\%SiO_2 - 5\%MgO$, имея 0,03% Al в стали, L_s составляет 500–600; такой шлак достаточно эффективен и меньше разъедает огнеупоры.

Учитывая, что содержание глинозема во время рафинирования увеличивается за счет реакции взаимодействия Al с кремнеземом в шлаке, В.Озтурк и Е.Туркдоган [4] полагают, что в предварительно сплавленный алюминат кальция, обычно содержащий $50\%CaO - 50\%Al_2O_3$, необходимо добавлять известь, чтобы обеспечить насыщенный известью шлак с отношением $\%CaO/\%Al_2O_3 > 1,5$. При завершении процесса десульфурации шлак имеет обычно следующий состав: $CaO - 52\%$,

$Al_2O_3 - 28$, $SiO_2 - 5$, $MgO - 4$, $CaF_2 - 8\%$, который и был получен при десульфурации на установке «печь-ковш» ЭСПЦ-1. Данный вид шлака показан на рис. 7.



Рис. 7. Основной шлак с высокой сульфидной емкостью (содержание серы в шлаке составляет более 1%). Желтый цвет указывает на протекание процесса десульфурации

Следует отметить, что не только шлаки указанных составов могут считаться эффективными. Состав шлака можно изменять, но обязательно обеспечивая основные требования:

- 1) металл должен быть глубоко раскислен и содержать достаточные концентрации элементов раскислителей;
- 2) шлак должен быть до конца рафинирования высокоосновным, насыщенным CaO;
- 3) шлак должен быть жидким, т.е. иметь низкие значения суммы компонентов $FeO + MnO < 1,5\%$.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ И ВНЕДРЯЕМОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ СТАЛИ

В ЭСПЦ-1 отработку технологии проводили при внепечной обработке рядовой и легированной сталей марок А500С, А500НВ, 460В, Ст1сп, Ст2сп, Ст3сп и 25Г2С [5].

Установка для инжекционной обработки стали в сталеразливочном ковше «Velco» агрегата «печь-ковш» ЭСПЦ-1 в январе–августе 2005 г. работала в режиме «Поверхностная продувка», в ноябре–декабре 2005 г. проведен ряд плавов в режиме «Углубленная продувка» с заглублением фурмы под поверхность металла.

Полученные при работе установки в разных режимах основные параметры внепечной обработ-

ки приведены в табл. 3, удельные расходы шлакообразующих материалов – в табл. 4, параметры процесса десульфурации – в табл. 5. В качестве сравнительных

выбирали массивы данных по плавкам аналогичного сортамента, обработанным на ПК-1 в периоды, соответствующие времени проведения испытаний.

Таблица 3. Основные параметры внепечной обработки стали на УВОС-1

Режим продувки	Удельный расход, ед. на 1 т годного		Длительность внепечной обработки, мин		
	аргона, м ³	электроэнергии, кВт·ч	общая	на ПК-1	скорость десульфурации* d[S]/dt, ppm/мин
Поверхностная «TURBO-KALK»	0,102	39,53	61	24	$\frac{4,2}{3,9}$
Сравнительные (без продувки)	0,106	34,54	57,4	21	$\frac{3,4}{4,1}$
Поверхностная ИРС-2	0,170	40,8	53,8	24,4	$\frac{4,5}{3,9}$
Сравнительные (без продувки)	0,126	40,9	50,5	24,4	$\frac{3,5}{3,9}$
Углубленная ИРС-2	0,161	43,86	57	24	$\frac{5,5}{5,1}$
Сравнительные (без продувки)	0,109	39,92	53,4	22,8	$\frac{3,8}{3,8}$

* Числитель – средняя на ПК-1, знаменатель – средняя за время внепечной обработки.

Таблица 4. Удельный расход шлакообразующих материалов на ПК-1 при разных режимах обработки стали

Режим продувки	Период обработки	Удельный расход материалов, кг/т годного					
		ИРС-2	«TURBO-KALK»	известь	ФК-75	ШПС	всего шлакообразующих
Поверхностная «TURBO-KALK»	21.03.–05.05.05	—	1,95	4,84	1,70	0,17	8,66
Сравнительные (без продувки)	24.04–25.05.05	—	—	4,83	1,42	0,39	6,32
Поверхностная ИРС-2	16.08–29.08.05	0,86	—	5,72	0,89	0,49	7,95
Сравнительные (без продувки)	01.08–31.08.05	—	—	5,06	1,69	0,39	7,13
Углубленная ИРС-2	04.11–01.12.05	0,85	—	6,06	1,46	0,26	8,63
Сравнительные (без продувки)	01.11–30.11.05	—	—	5,51	1,39	0,41	7,31

Таблица 5. Параметры десульфурации стали на УВОС-1

Режим продувки	Среднее содержание серы в пробе, мас. %					Степень десульфурации, %			
	11	51	31	32	92	11–51	51–32	32–92	11–92*
Поверхностная «TURBO-KALK»	0,0525	0,0473	0,0453	0,0256	0,0163	6,4	21,1	29,1	59,3
Поверхностная ИРС-2	0,0524	0,0495	0,0455	0,0387	0,0254	5,5	21,8	19,6	51,9
Углубленная ИРС-2	0,0530	0,0473	0,0431	0,0341	0,0238	10,6	28,0	30,1	55,0
Сравнительные (без продувки)*	0,0493	0,0450	0,0421	0,0364	0,0297	8,4	18,6	19,2	40,2

* В качестве сравнительных использован массив из 500 плавков.

Как видно из табл. 3, расход аргона на опытных плавках несколько превышает соответствующий расход на сравнительных, что объясняется большей продолжительностью внепечной обработки. Расход электроэнергии на опытных плавках при вдувании смеси «TURBO-KALK» увеличивается на 5,01 кВт·ч/т, или на 14,5%; при вдувании смеси ИРС-2 – на 3,94 кВт·ч/т, или на 9,8% по отношению к расходу электроэнергии на сравнительных плавках. Это связано с компенсацией потерь тепла на нагрев и плавление дополнительного коли-

чества шлакообразующих материалов, а также на нагрев газа-носителя и потери тепла при оголении зеркала металла.

Средняя общая продолжительность внепечной обработки плавков с применением инъекционной обработки на 3,3–3,6 мин, или на 6,3–6,7% больше, чем сравнительных, что объясняется дополнительными затратами времени при проведении подготовительных операций перед вдуванием порошкообразных материалов в ходе наладки оборудования. Показательно, что при большей длительности обработки достигнутая скорость

десульфурации стали на опытных плавках во всех случаях выше, чем на сравнительных и составила: при поверхностном вдувании смеси «TURBO-KALK» — 4,2 ррт/мин (прирост 0,8 ррт/мин, или 23,5%); при поверхностном вдувании смеси ИРС-2 — 4,5 ррт/мин (прирост 1 ррт/мин, или 28,6%); при углубленном вдувании смеси ИРС-2—5,5 ррт/мин (прирост 1,7 ррт/мин, или 44,7%). Приведенные данные подтверждают, что наиболее эффективной является углубленная продувка порошкообразными материалами; наименьшая скорость десульфурации получена при вдувании смеси «TURBO-KALK», так как значительная часть материала при поверхностном вдувании удалялась системой ПГУ ПК-1.

Как видно из табл. 4, средний суммарный удельный расход (в кг на 1 т годного) шлакообразующих материалов на опытных плавках составил: при поверхностном вдувании смеси «TURBO-KALK» — 8,66 кг/т (прирост 2,34 кг/т, или 27%); при поверхностном вдувании смеси ИРС-2 — 7,95 кг/т (прирост 0,82 кг/т, или 11,5%); при углубленном вдувании смеси ИРС-2 — 8,63 кг/т (прирост 1,32 кг/т, или 18,1%).

Увеличение суммарного расхода шлакообразующих объясняется его приростом за счет вдувания порошкообразных материалов и в меньшей степени извести. В то же время при использовании смеси ИРС-2 наблюдается снижение расхода плавикового шпата: при поверхностной продувке расход плавикового шпата составил 0,89 кг/т, или 13,5% от расхода шлакообразующих (известь + ИРС-2); при углубленной продувке — 1,46 кг/т, или 21,1% от расхода шлакообразующих. На срав-

нительных плавках расход плавикового шпата составил соответственно 1,69 кг/т (33,4%) и 1,39 кг/т (25,2%). Разница в относительных расходах плавикового шпата на опытных и сравнительных плавках свидетельствует о достаточно эффективном разжижении шлака при использовании смеси ИРС-2.

Выводы

1. Описана полная технология применения порошкообразных материалов с инжестированием их через установку «Velco» при внепечной обработке стали.

2. Применение порошкообразных материалов в сравнении со стандартной технологией создает условия для лучшей десульфурации стали в ковше. Удельный расход порошкообразного материала в количестве 1,95 кг/т повысил степень десульфурации на 32,2%.

3. Применение инжестционной технологии рекомендуется после наведения высокоосновного шлака ($B=3,0-3,5$ ед.) с конечным этапом ввода SiCa проволоки.

4. Для производства высококачественной стали рекомендуется использование глубинной продувки, но при этом уровень свободного борта до налива металла должен составлять 0,6–1,0 м.

Литература

1. Ойкс Г.Н., Иоффе Х.М. Производство стали. М.: Металлургия, 1969.
2. Жуков Л.А., Попель С.И. Физико-химические исследования металлургических процессов. Свердловск, 1982. №10. С. 20–24.
3. Тутчак Я.И., Крым Н.М. и др. Материалы 6-й Всесоюз. конф. Свердловск, 1986. Ч. 2. С. 159–160.
4. Ozturk B., Turkdogan E., Fruehan R. // Итоги науки и техники. Сер. Теория металлургических процессов. М., 1987. Т. 6. С. 93.