

оптимизация усилий прижатия тянущих и правильных роликов имеют первостепенное значение для исключения как проскальзывания заготовок в ТПА, так и локального смятия или сдавливания профиля заготовки. Выполненные исследования позволили выбрать оптимальный (с точки зрения стабильности усилия прижатия и динамических характеристик) режим работы гидропривода прижатия роликов ТПА.

Для снижения отсортировки по геометрии профиля и длине заготовок, а также улучшения качества макроструктуры заготовок, необходимо иметь эффективное устройство центрирования заготовок перед ТПА. При этом размер сегментной проточки на роликах ТПА должен иметь оптимальный размер.

Наличие отклонений в работе вторичного охлаждения, приводящих к недостаточному охлаждению поверхности заготовок, а также избыточная деформация заготовок в ТПА, в том числе при смещении заготовок от оси сегментных проточек роликов, является причиной появления таких дефектов макроструктуры, как ликвационные полосы и трещины в осевой зоне.

С целью обеспечения стабильного производства круглой заготовки на существующей сортовой МНЛЗ, гарантированного выполнения растущих требований заказчиков по качеству макроструктуры, содержанию

неметаллических включений в заготовке, уровню механических свойств металлопродукции, а также требований технических условий и зарубежных стандартов, намечен и выполняется комплекс мероприятий по указанным направлениям, в том числе: оснащение всех ручьев устройствами центрирования заготовок по технологической оси с расположением перед ТПА; модернизация 2-4-го секторов ЗВО с установкой коллекторов с «шахматным» расположением форсунок и интегрированием 4-го сектора в существующую систему автоматического регулирования расходов воды на ВО; оптимизация режимов вторичного охлаждения; оптимизация режимов работы ТПА и др.

Эффективность проводимых мероприятий подтверждается снижением поверхностных трещин при производстве непрерывнолитой круглой заготовки с 5-10 (2001-2005 гг.) до уровня < 1,0 % (2007 г.).

Вывод

Таким образом, имеющаяся на ЗАО «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)»» производственная база, технологические возможности и накопленный опыт освоения и совершенствования технологии позволяют обеспечить стабильное производство качественной непрерывнолитой круглой заготовки для производства труб.

УДК 621.746

Б. П. Крикунов, Р. А. Аношин, Н. Н. Астахов, Д. В. Колесников (ЗАО «Донецксталь-МЗ»)

О причинах затягивания стаканов-дозаторов при разливке углеродистых марок стали на слябовой УНРС в условиях филиала «Металлургический комплекс» ЗАО «Донецксталь-МЗ»

Обработка металлического расплава на агрегате «печь-ковш» предусматривает ряд стандартных технологических операций: наведение рафинирующего шлака, десульфурация и доведение до требуемого химического состава, нагрев до заданной температуры, микролегирование стали и модифицирование неметаллических включений. Результатом технологически правильной обработки металла на агрегате «печь-ковш», является безаварийная разливка стали на установках непрерывной разливки стали и получение качественного слитка. На протяжении многих лет одной из важнейших проблем в непрерывной разливке стали на сортовых и слябовых МНЛЗ является борьба с отложениями неметаллических включений (затягивание) на стенках внутреннего канала стакана-дозатора, представленных тугоплавкими комплексными

На основании многочисленных исследований проанализированы причины затягивания стаканов-дозаторов при разливке углеродистых марок стали и предложены некоторые пути решения данной проблемы для условий филиала «Металлургический комплекс» ЗАО «Донецксталь-МЗ»

оксидами продуктов окисления элементов, растворимых в жидком металле.

В последнее время на ряде металлургических предприятий при разливке стали, раскисленной алюминием, сложилась тенденция, когда используемая технология модифицирования неметаллических включений не соответствует физико-химическому состоянию металла перед обработкой и не учитываются факторы, вызывающие изменение этого состояния. Впоследствии в этом случае ухудшается разливаемость стали.

Анализ публикаций связанных с решением проблемы затягивания показывает, что авторы, в

Таблица 1

Химический состав плавков в конце обработки на установке «печь-ковш»

№ плавки	Марка	Массовая доля элементов в последней пробе на установке «печь-ковш», %								
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Al	Ti	Ca
70785	BVA	0,13	0,59	0,23	0,027	0,013	0,06	0,013	0,010	0,0024
30735	PCA	0,14	0,59	0,25	0,023	0,010	0,09	0,013	0,009	0,0027
80670	BVA	0,14	0,63	0,25	0,034	0,008	0,05	0,013	0,011	0,0017
50722	PCA	0,14	0,61	0,21	0,035	0,009	0,06	0,014	0,009	0,0024
70786	BVA	0,16	0,61	0,22	0,023	0,014	0,09	0,012	0,010	0,0022

основном, предлагают решать данную проблему путем использования усовершенствованных огнеупорных изделий, приспособлений (уплотнительные прокладки, продувка аргоном и т. д.), снижающих вторичное окисление металла в месте стыковки огнеупора и т. п. Необходимо отметить, что при выплавке коррозионноустойчивых углеродистых низколегированных трубных сталей и сталей конструкционных марок, кроме использования современных огнеупоров, особое внимание [1-3] уделяется технологии внепечного рафинирования стали на агрегате «ковш-печь». Вместе с тем, на некоторых слябовых и блюмовых МНЛЗ [4] для снижения остроты проблемы с затягиванием стакана дозатора пошли по пути увеличения диаметра внутреннего канала до 50-60 мм.

Особенностью разливки стали на слябовой УНРС мартеновского цеха является то, что разливка выполняется в кристаллизаторы средней толщины сечением 150x1000 и 150x1200 мм через стаканы-дозаторы с диаметром внутреннего канала 34 мм, что является максимальным для данных условий.

Внедрение в мартеновском цехе ЗАО «Донецксталь-металлургический завод» агрегата «ковш-печь», при производстве для разливки на слябовой УНРС сталей марок: Ст3, А36/А36М, АВ, А, В, S235, S275, BVA, NVA, GLA позволило увеличить раскисленность стали и довести содержание алюминия и титана в ковшовой пробе от 0,005 до 0,009-0,010 %. Для повышения разливаемости стали на УНРС металл обрабатывается порошковой силикокальциевой проволокой.

Обработка металла на установке «печь-ковш» позволила снизить количества плавков с затягиванием стакана-дозатора с 19-20 до 10-15 % в месяц. Однако, несмотря на установленные стандартные условия, некоторые плавки разливаются на УНРС с затягиванием канала стакана-дозатора.

Для решения этого вопроса необходимо определить химический состав отложений, а также схему расположения и место зарождения отложений.

Технология внепечной обработки металлургических расплавов порошковыми проволоками отличается от других способов микролегирования и модифицирования. На металлургических предприятиях (в частности и в мартеновском цехе ЗАО «Донецксталь-МЗ») обработка

расплава на УВОС кальцием направлена, прежде всего, на решение задачи повышения разливки стали на УНРС. При этом должно устраняться отрицательное влияние глинозема в расплаве и готовой продукции, снижается содержание вредных примесей, что значительно уменьшает вероятность возникновения аварийных ситуаций при разливке стали на УНРС и повышает качество непрерывнолитой заготовки.

По окончании разливки на УНРС плавков (табл. 1) с затягиванием были отобраны отложения неметаллических включений с поверхности внутреннего канала стакана-дозатора.

Анализ размещения отложений неметаллических включений на внутренней поверхности канала стакана-дозатора показывает, что зарождение и рост отложений неметаллических включений начинается на «седловине» стакана-дозатора с дальнейшим проникновением во внутрь канала.

Ранее проведенные работы по определению содержания кальция при разливке стали на УНРС показали, что в условиях мартеновского цеха ЗАО «Донецксталь-МЗ» содержание кальция в металле на УНРС уменьшается в 1,5-2,0 раза по сравнению с содержанием его в последней пробе металла на установке «печь-ковш». Такое снижение содержания кальция обусловлено [4] тем, что происходит взаимодействие кальция с продуктами раскисления и модифицирования с последующим образованием алюминатов кальция, сульфидов кальция и их комплексов.

Необходимо отметить, что в процессе разливки плавки на УНРС в условиях ЗАО «Донецксталь-МЗ» содержание кальция в стали (в промежуточном ковше) изменяется в пределах $\pm 0,0002$ %.

Для анализа химического состава отложения были отобраны пробы отложений из канала стакана-дозатора, после одной и четырех плавков (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что основными элементами отложений являются глинозем (Al_2O_3), который находится в пределах 46,8-50,5 %; оксиды кремния (SiO), магния (MgO) и железа (FeO , Fe_2O_3).

При проведении работ по определению причин образования неметаллических включений (НВ) был установлен [5, 6] химический состав НВ (табл. 3) для стали марки 20К, химический состав которой идентичен сталям марок: Ст3, А36/А36М, АВ, А, В, S235, S275, BVA, NVA, GLA.

В табл. 3 представлен анализ химического состава оболочки и средней части НВ в зависимости от размеров последних.

Из табл. 3 видно, что содержание (в том числе и среднее) химических

Таблица 2

Химический состав отложений

Отбор отложений после:	Массовое содержание элементов, %									
	SiO	CaO	MgO	MnO	Fe _{общ}	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	S
1-ой плавки	8,8	11,3	7,6	0,44	11,2	5,1	5,1	46,8	3,4	0,045
4-х плавков	4,0	8,0	4,2	0,40	17,6	20,4	2,6	50,5	3,06	0,023

Таблица 3
Состав неметаллических включений

Химический элемент	Среднее содержание химического элемента в неметаллах, %								
	Размеры НВ, мкм								
	2,0-3,4			4,7-5,5			10,0-11,8		
	Средняя часть	Оболочка	Среднее значение	Средняя часть	Оболочка	Среднее значение	Средняя часть	Оболочка	Среднее значение
O	39,18	28,95	34,07	48,07	36,12	42,10	47,59	41,38	44,485
Al	23,07	19,76	21,42	33,29	21,97	27,63	32,16	19,88	26,02
Fe	11,85	30,02	20,94	2,10	18,54	10,32	1,1	6,8	3,95
Ca	8,94	7,77	8,355	3,21	9,47	6,34	2,4	24,4	13,4
Mg	5,91	7,77	6,84	11,03	9,47	10,25	16,47	3,48	9,975
S	5,29	5,39	5,34	0,59	6,56	3,58	0	0,88	0,44
Mn	3,03	4,03	3,53	0,82	3,24	2,03	0	0	0
Si	2,63	1,93	2,28	0,79	2,32	1,56	0,28	3,09	1,685
Ti	0	2,07	1,035	0,10	1,68	0,89	0	0,11	0,055
Al/Ca	2,581	11,99	13,06	10,37	2,32	4,36	13,4	0,8148	1,9418

элементов, имеющих высокую плотность (железа, марганца, титана, кремния), уменьшается при увеличении размера НВ, а содержание менее плотных элементов (кислорода, кальция, магния, серы) – увеличивается.

Анализируя состав НВ по их размерам и общему содержанию химических элементов (табл. 3) можно сделать вывод, что с увеличением размеров НВ:

- изменяется соотношение химических элементов;
- уменьшается их плотность за счет увеличения химических элементов (и их соединений) с меньшей плотностью, что влияет на всплытие их в расплаве;
- изменяется состав НВ в части образования таких соединений как: CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , MnO и $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{CaO}$.

Анализируя данные и характер образования отложений на внутренней поверхности стакана-дозатора, технологию раскисления и модифицирования стали порошковой проволокой на плавках, разлитых на УНРС с затягиванием и без, можно сказать, что существуют «определенные» условия обработки металла на установке «печь-ковш» мартеновского цеха ЗАО «Донецксталь-МЗ», при которых кальций не является модификатором неметаллических включений или его реакционная способность снижается. Введение в сталь (раскисленную алюминием) кальция, и его окисление до CaO в пропорциональных величинах приводит к образованию алюминатов кальция эвтектического состава, которые имеют низкую температуру плавления (порядка 1400 °С) при температуре жидкой стали и находятся в глобулярном виде [7], за счет чего выполняются условия для безаварийной разливки стали на УНРС.

Возвращаясь к «определенным» условиям, можно предположить реакционную последовательность, при которой кальций работает, в первую очередь, как раскислитель и десульфуратор (с образованием оксидов и сульфидов кальция), а затем оставшийся кальций работает как модификатор неметаллических включений.

При обработке кальцием расплава, раскисленного алюминием, увеличение концентрации общего алюминия создает предпосылки для выделения сульфидов кальция CaS , которые, имея высокую температуру плавления, ухудшают жидкотекучесть так же, как и глинозем. Если при одном и том же содержании исходного кислорода

провести раскисление Al-Ca , то при большем расходе алюминия окисные включения переходят в Al_2O_3 с дальнейшим образованием CaS .

Как говорилось ранее, механизм модифицирования неметаллических включений кальцием предусматривает трансформацию глиноземных включений в алюминаты кальция, остающиеся жидкими при температурах разливки. Для условий обработки стали на УВОС и разливки стали на УНРС мартеновского цеха ЗАО «Донецксталь-МЗ», алюминаты становятся жидкими, когда доля CaO в соединениях составляет 40-60 %, что соответствует составу $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. При содержании CaO в пределах 45-55 %, температура плавления соединений приближается к 1400 °С.

Сопоставляя диаграмму состояния системы $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и результаты химического состава отложений из канала стакана-дозатора (табл. 2), можно сделать вывод, что при установленной технологии обработки стали силикокальциевой проволокой на УВОС мартеновского цеха ЗАО «Донецксталь-МЗ» содержание CaO после модифицирования силикокальциевой проволокой находится на уровне 40 %, что является граничной точкой, при которой кальций (в зависимости от температуры) уже может находиться в инерционной форме и не образует жидких алюминатов.

Анализ литературных источников показал, что при существующей технологии обработки стали кальцийсодержащими реагентами мало обращают внимание на такие факторы как:

- использование оптимального соотношения $[\text{Ca}] / [\text{Al}]_{\text{общ}}$ (в том числе учитывая долю $[\text{Al}]_{\text{окс}}$);
- вторичное окисление в огнеупорных проволках.

Для определения содержания алюминия (растворимого и нерастворимого) при разливке плавки на слябовой УНРС мартеновского цеха в условиях ЗАО «Донецксталь-МЗ» из промежуточного ковша были отобраны пробы металла на плавках, разлитых с затягиванием (и без затягивания) канала стакана-дозатора, анализ которых показал, что содержание алюминия как кислоторастворимого, так и нерастворимого в кислотах выше на плавках, разлитых с затягиванием канала стакана-дозатора, чем на плавках, разлитых без затягивания.

Необходимо отметить, что общий алюминий состоит, как известно, из растворимого и нерастворимого в кислоте алюминия. Нерастворимый алюминий состоит почти полностью из алюминия во включениях глинозема.

Для непрерывной разливки на слябовой УНРС мартеновского цеха ЗАО «Донецксталь-МЗ» соотношение $[\text{Ca}] / [\text{Al}]_{\text{окс}}$ составляет 0,60-0,75 для сталей марок: Ст3, А36/А36М, АВ, А, В, S235, S275, BVA, NVA, GLA.

Установлено, что крупные первичные включения продуктов раскисления (табл. 3) из-за большого наличия в них химических элементов с низкой плотностью удаляются из жидкого металла в первые 2-3 мин, вынося с собой до 80 % кислорода.

Вместе с тем, повышенное содержание алюминия в стали остаточного затормаживает развитие реакции трансформации алюминатных включений, увеличивает концентрацию алюминия в алюминатах кальция, создает предпосылки для усиления процессов повторного окисления в процессе разлива, а также для образования глинозема при снижении температуры стали конца обработки на «печи-ковше» (1595-1610 °С) до температуры разлива на УНРС (1540-1565 °С).

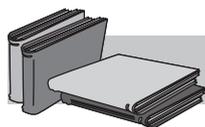
Содержание глинозема в продуктах раскисления зависит от соотношения концентрации алюминия и кислорода в расплаве. При соотношении концентрации алюминий-кислород, равном 25, образуются только включения глинозема (α -корунд) [16].

Если учесть, что в мартеновском цехе ЗАО «Донецксталь-МЗ» для сталей марок: Ст3, А36/А36М, АВ, А, В, S235, S275, BVA, NVA, GLA такие условия как раскисление и модифицирования стали на установке «печь-ковш» в части расхода алюминия и силикокальциевой проволоки одинаковы и температурно-скоростные режимы разлива стали на слябовой УНРС также одинаковы, то образование глинозема в промежуточном ковше и отложение его на «седловине» стакана-дозатора и на конусе («носике») стопора-моноблока способствуют

относительно низкому остаточному содержанию кальция в металле, необходимого для модифицирования глинозема в алюминаты кальция; повышению содержания кислорода в металле промковша за счет развития вторичного окисления в результате подсоса кислорода через огнеупорную проводку (стальковш-промковш) и/или на поверхности металла из-за понижения уровня металла в промежуточном ковше.

Вывод

С учетом вышеизложенного, для снижения количества плавок, разливаемых с затягиванием стакана-дозатора на УНРС мартеновского цеха, был скорректирован расход силикокальциевой проволоки (с 0,31 до 0,44 кг/т) в конце обработки стали на установке «ковш-печь». В результате данной корректировки снизилось количество плавок (марки стали: Ст3, А36/А36М, АВ, А, В, S235, S275, BVA, NVA, GLA), разливаемых на слябовой УНРС с устойчивым затягиванием стакана-дозатора до 2-3 % в месяц. Необходимо сказать, что при увеличении расхода силикокальциевой проволоки до 0,44 кг/т было достигнуто оптимальное соотношение CaO / Al при температурах разлива стали на слябовой УНРС мартеновского цеха ЗАО «Донецксталь-МЗ».



ЛИТЕРАТУРА

1. Родионова И. Г., Бакланова О. Н. и др. О методах оценки коррозионной стойкости углеродистых и низколегированных трубных сталей в условиях эксплуатации нефтепромысловых трубопроводов // *Металлы*. – 2005. – № 5. – С. 44-50.
2. Головова Е. Н., Котельников Г. И. и др. Анализ процессов рафинирования стали от коррозионно-активных неметаллических включений применительно к условиям ОАО «Тагмет» // *Металлург*. – 2005. – № 5. – С. 51-54.
3. Сарычев А. В., Николаев О. А. и др. Опыт подготовки металла для разлива на сортовых МНЛЗ // *Сталь*. – 2007. – № 2. – С. 44-45.
4. Дюдкин Д. А., Бать С. Ю. и др. Производство стали на агрегате ковш-печь / Под ред. Дюдкина Д. А. – Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2003. – 300 с.
5. Алексеенко А. А., Байбекова Е. В., Кузнецов С. Н. и др. Влияние некоторых технологических факторов на разливу раскисленной алюминием стали на сортовой МНЛЗ // *Электрометаллургия*. – 2007. – № 2 – С. 2-7.
6. Клачков А. А., Печерица А. А. и др. Неметаллические включения в непрерывной заготовке котельной стали 20К при модифицировании кальцием // *Электрометаллургия*. – 2007. – № 2 – С. 7-10.
7. Дюдкин Д. А., Бать С. Ю. и др. Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками / Под ред. Дюдкина Д. А. – Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2002. – 296 с.

УДК 669.01

А. Н. Смирнов (Донецкий национальный технический университет), **С. Л. Макуров** (Приазовский государственный технический университет)

Химическая неоднородность и пути подавления внецентренной и зональной ликвации в крупных кузнечных слитках

Существенным недостатком крупного стального слитка является химическая неоднородность металла. В крупных слитках степень ликвации углерода колеблется от 50 до 150 % и может достигать такой величины, что металл донной и головной частей слитка будет соответствовать разным маркам стали [1]. Помимо углерода значительно

экспериментальным путем установлены пути подавления внецентренной и зональной ликвации в крупных кузнечных слитках, обеспечив низкое содержание серы, фосфора и цветных металлов (< 0,01 % их общей концентрации), а также кремния (< 0,05 %), применяя вакуумно-углеродное раскисление и доливку слитков

ликвируют сера и фосфор. В работе [2] показано, что на развитие ликвации влияет размер и форма слитка, температура металла, технология и скорость разлива,