

УДК 621.746.27.003

С.А. Юдина, С.В. Юдин, О.А. Крюковская

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ ОАО ДМКД

Цель работы. Один из важнейших факторов, влияющий на стабильность процесса литья и качество заготовок, - это оптимальный температурно-скоростной режим разливки металла на МНЛЗ.

При исследованиях основной задачей разработки температурного режима непрерывной разливки стали являлось обеспечение минимального перегрева металла и стабильности температуры. Наиболее благоприятные результаты достигнуты при перегреве металла (попадающего в кристаллизатор), не превышающем 15⁰С. В процессе ряда промышленных экспериментов определены потери температуры металла от выплавки до разливки на МНЛЗ, характеризующиеся следующими факторами:

- среднее падение температуры металла в процессе выпуска из конвертера и транспортировки ковша на УЖДС составило 20⁰С;
- среднее падение температуры металла в процессе транспортировки сталеразливочного ковша от УЖДС до начала разливки – 5⁰С;
- среднее падение температуры металла при переливе металла из сталеразливочного в промежуточный ковш – 50⁰С;
- среднее падение температуры металла и в процессе разливки на МНЛЗ – 10⁰С.

Анализ результатов исследований разливки стали разных марок показал, что при установлении рабочей скорости разливки на МНЛЗ 0,6 м/мин температуру металла в сталеразливочном ковше после внепечной обработки и в промежуточном ковше рекомендуется соблюдать в пределах, приведенных в таблице 1.

Скорость разливки стали зависит от влияния таких факторов, как цикл конверторной плавки, конструкция МНЛЗ, необходимость обеспечения высокого качества поверхности и внутреннего строения слитка, безаварийная работа и высокая производительность. В условиях непрерывной разливки стали конверторного цеха ДМК

рабочая скорость при оптимальных температурах условлена в пределах 0,5...0,6 м/мин.

Таблица 1

Температура металла в сталеразливочном ковше после внепечной обработки и в промежуточном ковше по ходу разливки

Марка стали	Температура стали, °С	
	В сталеразливочном ковше после внепечной обработки	В промежуточном ковше по ходу разливки
10тр	1605...1615	1505±5
20тр	1595...1605	1540±5
45 тр	1585...1595	1530±5
Дтр	1585...1595	1530±5
09Г2С	1605...1615	1550±5

Разработка оптимального температурно-скоростного режима разливки в сочетании с внедренными мероприятиями (оптимизация режима вторичного охлаждения, защита жидкого металла в промежуточном ковше и кристаллизаторе теплоизолирующими смесями от вторичного окисления, стабилизация скорости разливки), обеспечили серийную разливку металла, что наряду с использованием рационального состава шлакообразующих смесей на основе тройной силикатной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ позволило осуществить технологию «горячего» посада заготовок в нагревательные печи трубозаготовочного стана без предварительного нагрева и сократило на 40% расход природного газа.

В начале освоения технологии непрерывной разливки стали для защиты зеркала металла в кристаллизаторе использовалась шлакообразующая смесь (ШОС), поставляемую с мариупольского комбината «Азовсталь», следующего химического состава: С–6...10%; SiO_2 –26,5%; CaO –30,25; Al_2O_3 –4,0%; CaF_2 –7%; S–0,4%. Результаты разливки стали на МНЛЗ показали, что указанная ШОС не обеспечивает нормального поведения шлака в кристаллизаторе, что приводит к зависанию слитка в кристаллизаторе и ухудшению качества поверхности непрерывнолитых заготовок. В связи с этим были исследованы физико-химические свойства шлакообразующих смесей, имеющие в своем основном составе оксиды CaO , SiO_2 , Al_2O_3 [1].

Получению шлаков, удовлетворяющих требованиям непрерывной разливки стали, наиболее полно соответствует тройная силикатная система $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, позволяющая получать шлаковые расплавы с широким диапазоном температур плавления (1300–1500°С) и вязкости (0.1–0.6Па·с). Однако поскольку физико-

химические свойства шлаков определяются составом, то для этой системы изучено влияния основности шлака, содержания глинозема, плавикового шпата, углерода и оксидов щелочноземельных металлов на характеристики плавления и вязкости шлаков для непрерывной разливки стали. Вязкость шлаков исследована при 1500°C , что соответствует температуре контакта фаз металл – шлаковый расплав в кристаллизаторе МНЛЗ.

Результаты исследования. Решение задачи осуществлено методом планирования экспериментов. Для получения математической модели состав – свойство реализован полный факторный план. В качестве независимых переменных приняты: основность (CaO/SiO_2), содержание в смеси Al_2O_3 , C , R_2O и CaF_2 . За основной уровень принят состав смеси: 15 мас.% Al_2O_3 , 8 мас.% R_2O , 14 мас.% CaF_2 , $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,1$. Исследования выполнены на смесях, изготовленных с использованием химически чистых оксидов и химически чистого флюорита. Естественно, что физические свойства смесей, изготовленных из химически чистых материалов и из многокомпонентных минералов, содержащих целый ряд примесей, будут существенно различаться. В частности, сопоставление свойств смесей и расплавов, изготовленных из различных материалов и имеющих одинаковый состав по основным элементам (29 мас.% CaO , 26 мас.% SiO_2 , 8 мас.% F , 4 мас.% R_2O), приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физические свойства смесей, изготовленных из химически чистых материалов и природных минералов

Тип смеси	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Время плавления, с	Вязкость, Па*с (при 1500°C)
	размягчения	конца плавки		
Природные минералы	1140	1170	35	0,07
Химически чистые оксиды	1260	1440	70	0,17

Примеси в реальных шлакообразующих смесях (S , FeO , MnO и др.) способствуют снижению вязкости шлаков при температуре 1500°C более чем в 2 раза. При этом температуры размягчения и конца плавления реальных шлаков на 120 и 270°C ниже, чем синтетических. Установленные различия свойств позволяют перенести результаты лабораторных исследований синтетических шлаков на реальные смеси из природных материалов.

Приведенные расчеты, выполненные на основе экспериментальных данных, показали адекватность полученных регрессий опытным данным. Перерасчет на натуральные масштабы дают следующие уравнения

$$T_{разм} = 1182,8 + 5,6 Al_2O_3 + 226,4 CaO/SiO_2 + 27,7 R_2O - 6,7 CaF_2 - 5,9 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 - 7,4 CaO/SiO_2 * CaF_2 - 0,7 R_2O * CaF_2 + 0,6 CaO/SiO_2 * R_2O * CaF_2 \quad (1)$$

$$T_{кон.пл} = 1134 + 14,8 Al_2O_3 + 28,9 R_2O - 5,3 CaF_2 + 2,89 CaO/SiO_2 - 9,9 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 - 19,4 CaO/SiO_2 * R_2O - 7,2 CaO/SiO_2 * CaF_2 - Al_2O_3 * R_2O + 0,3 Al_2O_3 * CaF_2 - 0,7 R_2O * CaF_2 + 0,4 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 + 0,6 CaO/SiO_2 * R_2O * CaF_2 \quad (2)$$

$$T_{1500}^0 = 3,95 + 12 CaO/SiO_2 + 0,4 Al_2O_3 + 0,04 R_2O + 12 CaF_2 - 0,6 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 - 0,44 CaO/SiO_2 * CaF_2 - 0,01 Al_2O_3 * CaF_2 + 0,02 CaO/SiO_2 * R_2O * CaF_2 \quad (3)$$

Многие коэффициенты при парных и тройных взаимодействиях в уравнениях регрессии получились значимыми. Судить о степени влияния отдельных факторов на физические свойства шлаков по величине коэффициента в данном случае сложно. С этой целью удобно пользоваться номограммами, составленными на основе уравнений (1.)-(3.). На рис.1 и 2 представлены две подобные номограммы, показывающие влияние Al_2O_3 на температуру конца плавления и вязкость шлаков при различном содержании CaF_2 , R_2O и основности.

Из анализа графиков 1, 2 следует, что на вязкость шлака изучаемые компоненты оказывают влияние следующим образом. Плавиковый шпат снижает вязкость шлаков в изученных пределах содержания CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , R_2O . Особенно сильно это проявляется для шлаков с высокой основностью или с низким содержанием Al_2O_3 . Для всех изученных шлаков требуемая вязкость (0,02 Па·с) достигается при содержании 10...18% плавикового шпата или 5...9% фтора.

Глинозем в изученных пределах (от 4 до 24%) снижает вязкость всех шлаков, за исключением шлаков с низкой основностью (в которых с увеличением содержания Al_2O_3 вязкость возрастает) и шлаков, содержащих 18% плавикового шпата (в которых изменение Al_2O_3 от 4 до 24% практически не влияет на его вязкость). Оптимальная вязкость (0,02 Па·с) обеспечивается в шлаках с основностью 1,1 и содержанием плавикового шпата 14...18% при изменении Al_2O_3 от 4 до 24%. При основности менее 1,1 оптимальная

вязкость обеспечивается при содержании шпата 10% и глинозема до 8%. Отсюда следует, что в шлакообразующих смесях с основностью 1,0...1,2 и содержанием плавикового шпата на оптимальном уровне 10...16% целесообразно иметь 5..8% Al_2O_3 и повышение его содержания до 24% практически не влияет на вязкость жидкого шлакового слоя.

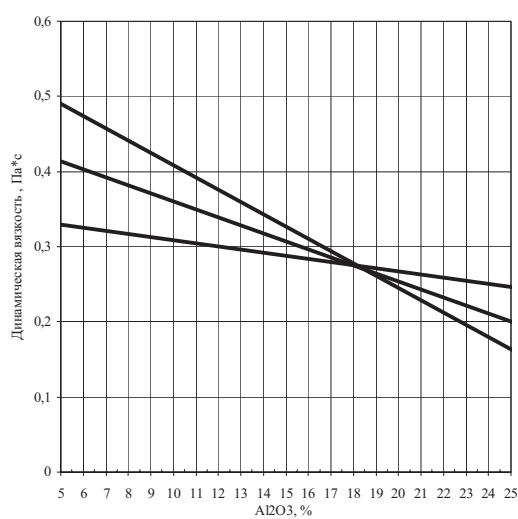
Изменение содержания щелочноземельных металлов R_2O (Na_2O , K_2O) не оказывает влияния на вязкость шлаков с содержанием остальных компонентов в изученных пределах. Следовательно, с точки зрения вязкости и температурных характеристик нецелесообразно вводить в шлакообразующие смеси оксиды типа R_2O в виде специальных материалов. Таким образом, оптимальной с точки зрения физических характеристик шлака является основность 1,0 в сочетании с повышенным содержанием шпата 14...18% и начальным содержанием Al_2O_3 в смеси около 4...8%. Полученные в результате исследований зависимости послужили теоретической основой для разработки оптимального состава теплоизолирующей смеси для непрерывной разливки стали.

На основании полученных физических характеристик шлакообразующих смесей разработана и внедрена ШОС следующего состава: 17...20% С, 22...30% CaO, 22...30% SiO_2 , 4...8% Al_2O_3 и 10...18% CaF_2 , которая обеспечила гарантированное качество поверхности непрерывнолитых заготовок. Результаты оценки качества поверхности трубных заготовок (таблица 3) показали снижение складчатости заготовок на 30%, угловых трещин – на 9...17%, поперечных трещин – на 40%.

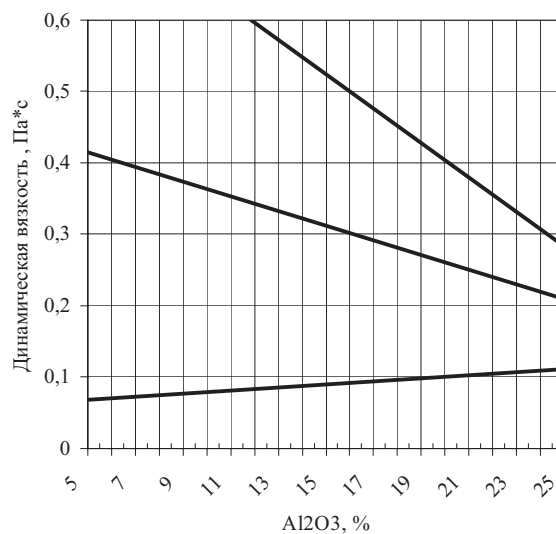
Таблица 3

Качество поверхности трубных заготовок

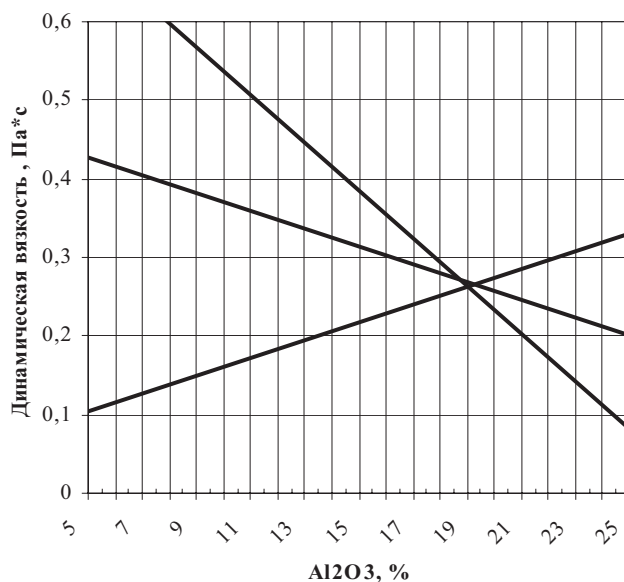
Марка стали	Кол-во осмотренных заготовок	Снижение дефектов поверхности трубных заготовок на величину, %			
		Трещины (глубиной до 3 мм)		Шлаковые включения	Складки на поверхности
		угловые	поперечные		
09ГС	33	17	30	28	25
Ст20	80	11	40	20	29
Ст45	50	9	35	26	30



а)



б)



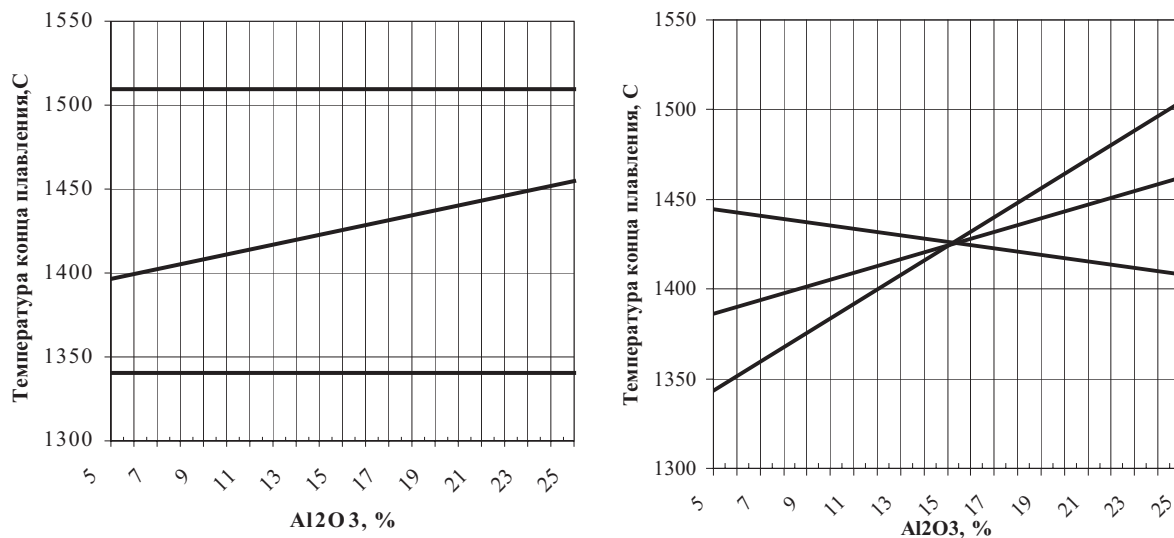
в)

Рисунок 1 - Влияние содержания Al₂O₃ на вязкость шлаков, имеющих различное количество R₂O, CaF₂ и различную основность В:

а – для условий В=1.1 и CaF₂=14% ;

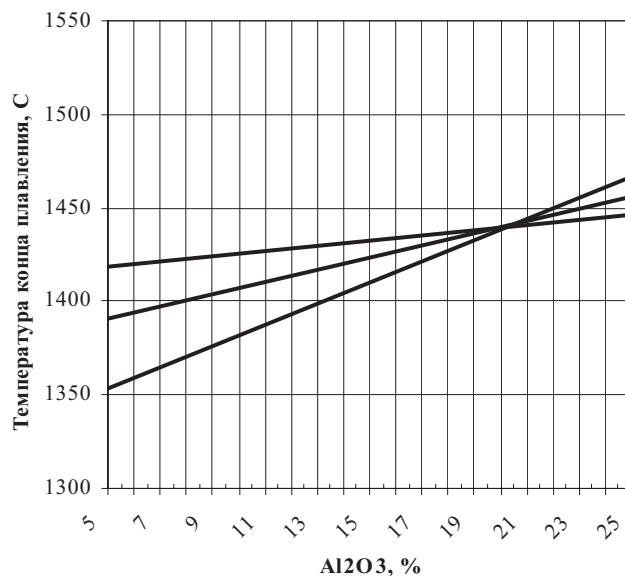
б – для условий В=1.1 и R₂O=8% ;

в – для условий CaF₂ =14% и R₂O=8%



а)

б)



в)

Рисунок 2 - Влияние содержания Al_2O_3 на температуру конца плавления шлаков, имеющих различное количество R_2O , CaF_2 и различную основность B :

a – для условий $B=1.1$ и $R_2O=8\%$;

б – для условий $Ca F_2 =14\%$ и $R_2O=8\%$;

в – для условий $B=1.1$ и $Ca F_2 =14\%$

Глубина залегания дефектов не превысила 3 мм. Все дефекты легко удаляются огневой зачисткой. Анализ данных по разбраковке трубных заготовок показал снижение брака трубных заготовок из непрерывнолитого металла по мере совершенствования технологии разлива с 0,45% до 0,30%.

Качество трубной заготовки, произведенной в условиях ОАО ДМКД, согласно данным таблицы 3, требует разработки дополнительных рекомендаций по технологии производства стали.

Выводы. Анализ оптимального температурно-скоростного режима разлива металла на МНЛЗ позволяет определить основные проблемы разлива стали. С этой целью разработаны и рекомендуются для дальнейшей производственной эксплуатации ШОС оптимального состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.С.Бродский Новые технологические процессы и оборудование многоручьевых сортовых МНЛЗ. – МН.: Беларуская наука, 1998. – 128 с.
2. Влияние добавок углеродосодержащих материалов на вспенивание конверторного шлака / В.Б. Охотский, А.Д. Зражевский, Л.М.Учитель и др.// Металлург. и горноруд. пром-сть, 1989. №2, с.14-15.

Получено 26.07.2007 г.