

**Э. Н. Шибаниц, А. А. Ларионов, Н. Ф. Анищенко*, А. В. Цюцюра, О. А. Горпинич,
Д. А. Галинков*, Ю. Г. Мороз***

ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», Группа Метинвест
*ЧАО «НПП «Техмет», Донецк

Разработка шлакообразующих смесей на основе плавленных флюсов для МНЛЗ № 1-2 ПАО «ММК им. Ильича»

Изложена методика определения физических свойств шлакообразующих смесей (ШОС) для непрерывной разливки стали. Представлены результаты работы по разработке химического состава ШОС для разливки непрерывнолитых слябов низколегированных сталей перитектического класса. Исследовано качество листового проката, произведенного из слябов, отлитых с применением ШОС на основе плавленных флюсов.

Ключевые слова: шлакообразующая смесь, вязкость, вискозиметр, машина непрерывной разливки стали (МНЛЗ), сляб, низколегированные марки стали

За последние 30 лет производства стали технология непрерывной разливки стала хорошо освоенной и стабильной. В настоящее время во всем мире 91 % произведенной стали разливают по этой технологии. Доля непрерывно разливаемой стали в промышленно развитых странах составляет более 95 % (Германия и США – 97, Япония – 98) [1]. Металлургические предприятия России и Украины также стремятся к этим показателям.

Постановка задачи ЧАО «НПП «Техмет» в конце 2007 г. была обусловлена необходимостью разработки составов смесей для защиты зеркала металла в кристаллизаторах МНЛЗ ММК им. Ильича и МК «Азовсталь», обеспечивающих сохранение служебных свойств при длительных сроках хранения, уменьшение отсортировки листового проката широкого марочного сортамента.

В ходе настоящей работы использовались смеси на основе плавленных флюсов ШОС-Т-2 (ТУ У 23431197.003-99 «Смеси шлакообразующие рафинировочные») различного состава, регуляторов скорости плавления (углеродсодержащих материалов – УСМ) и веществ, корректирующих скорость плавления и свойства жидкой шлаковой фазы в процессе ее остывания в зазоре между корочкой сляба и охлаждаемой стенкой кристаллизатора [2].

Исследование вязкостных характеристик расплавов ШОС проводили на усовершенствованном высокотемпературном вибрационном вискозиметре.

За основу взяли амплитудно-амплитудный вариант вибрационного метода измерения вязкости с выходом на максимальную амплитуду, что позволило использовать самую колеблющуюся систему для стабилизации частоты силы возбуждающей колебания; кроме того, не надо заботиться о подгонке резонансных параметров системы и беспокоиться об их строгом постоянстве. Таким образом, в амплитудно-амплитудном варианте вся погрешность измерения вязкости определяется погрешностью в определении амплитуды колебаний. Относительная погрешность в определении абсолютных значений динамической вязкости (η) составляет ± 3 %. Блок-схема высокотемпературного вискозиметра представлена на рис. 1 [3].

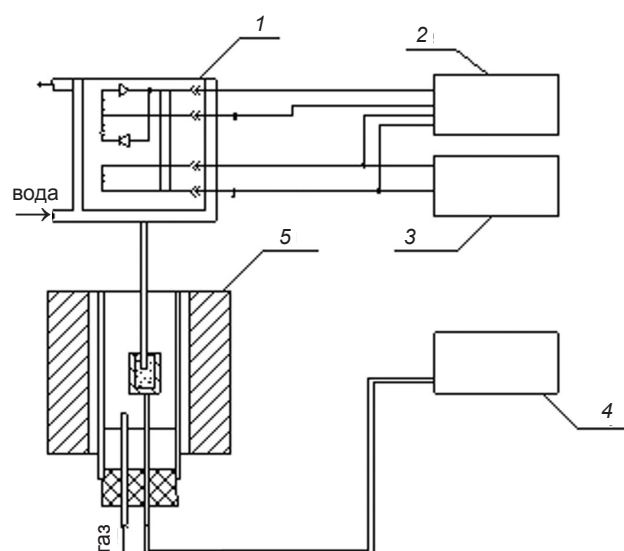


Рис. 1. Блок-схема высокотемпературного вискозиметра: 1 – вибратор; 2 – усилитель-ограничитель; 3 – милливольтметр В7-40/3; 4 – ПП-63; 5 – печь Таммана

Эффективная экранировка вибрационной системы позволяет измерять вязкость расплавов без включения нагревательной печи (то есть с необходимой скоростью изменения температуры). Термостатирование же позволяет сохранять постоянным как механические характеристики пружинной подвески, так и электромагнитные параметры вибратора и стабилизировать таким образом резонансную частоту всей вибрационной системы прибора.

Для калибровки прибора в качестве калибровочной жидкости использовали растворы глицерина в дистиллированной воде. Температуру калибровочных растворов задавали термостатом.

Измерение вязкости ШОС производились в молибденовом тигле, помещенном в изотермическую зону печи Таммана с помощью вольфрамового штока (диаметром 1,2 мм и длиной 250 мм) в атмосфере аргона. После изотермической выдержки расплавленного шлака при 1580 °С в течение 30 мин замеры вязкости проводились в режиме охлаждения со скоростью 4 °С/мин до полного затвердевания шлака с фиксацией соответствующей температуры.

Важно отметить, что измерение вязкости расплавов из смеси, содержащей свободный углерод, представляет значительную трудность. При расплавлении смеси в инертной атмосфере углерод всплывает и скапливается на поверхности шлака, искажая истинное значение вязкости.

Так как в кристаллизаторе углерод выгорает и на зеркале металла находится жидкая шлаковая прослойка с минимальным содержанием углерода, исходные смеси перед проведением измерений отжигались в окислительной среде при 600 °С в течение 4 ч, что позволило снизить содержание углерода к минимуму (<0,5 %).

Для проверки работы установки и правильности выбранной методики были испытаны смеси импортного производства с декларируемыми производителем химическим составом и вязкостью.

Новизна работы состоит в выборе и отработке метода подхода к разработке конкретных ШОС. Исходя из условий работы ШОС (тип кристаллизатора, скорость разлива, сортамент разливаемой стали и т. д.) моделируется шлакообразующая смесь с определенным комплексом физико-химических свойств, которые варьируются подбором флюсов, углеродсодержащих материалов, активных разжижителей и «минерализаторов» с целью оптимизации смазочных свойств и обеспечения стабильности тепловода от корочки сляба в первом (высокотемпературном) интервале остывания металла.

На основании ранее проведенных исследований для определения коэффициентов вязкости были выбраны базовый флюс ШОС-Т-2 с основностью 0,85 (химический состав молотого флюса ШОС-Т-2 приведен в табл. 1) и модельные смеси ШОС-Т-4-2, некоторые из которых приведены в табл. 2.

Кривые вязкости шлаковых расплавов вышеперечисленных смесей показаны на рис. 2.

На основании проведенных физико-химических исследований предварительно была выбрана смесь марки ШОС-Т-4-2-аз-3, в дальнейшем именуемая ШОС-Т-4-2(3).

Шлакообразующая смесь ШОС-Т-4-2(3) представляет собой смесь с улучшенными физико-химическими характеристиками шлакового расплава смеси за счет увеличения основности смеси, ввода специальных добавок: минерализаторов и плавней, позволяющих расширить температурный интервал стеклования шлаков. Данные мероприятия способствовали стабилизации процессов плавления засыпки исходной смеси, более равномерному характеру формирования жидкой шлаковой фазы и особенно изменения ее физических свойств в процессе остывания шлакового расплава в зоне низких температур – 1300 °С и менее.

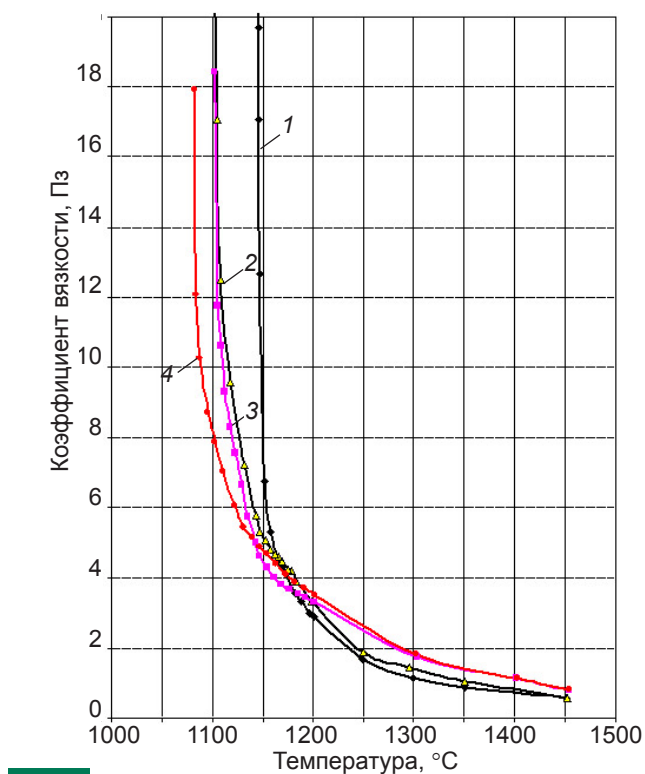


Рис. 2. Политермы вязкости расплавов некоторых вариантов ШОС-Т-4-2: 1 – ШОС-Т-4-2-аз-3; 2 – ШОС-Т-4-2-аз-32; 3 – ШОС-Т-4-2-аз-33; 4 – ШОС-Т-4-2-аз-35

Необходимо отметить, что смесь производится на новой линии по производству шлакообразующих смесей, имеющей высокую гибкость технологии изготовления (с контролем химического состава после каждого этапа изготовления смеси), которая позволяет достаточно точно получать заданный химический состав шлакообразующей смеси.

Постоянство химического состава изготавливаемых шлакообразующих смесей гарантирует постоянство их физических свойств – вязкости и температуры плавления.

Таблица 1

Химический состав флюса ШОС-Т-2

CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe _{общ}	Na ₂ O + K ₂ O	S	F	Основность
35,60	42,00	3,20	2,90	0,67	8,70	0,32	6,54	0,85

Таблица 2

Химический состав модельных смесей

Смесь	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	F	Na ₂ O + K ₂ O	C	Основность
ШОС-Т-4-2-3	35,63	32,60	3,07	2,95	7,69	7,25	9,75	1,09
ШОС-Т-4-2-32	35,16	33,43	3,14	3,03	7,36	7,44	9,13	1,05
ШОС-Т-4-2-33	34,08	33,95	3,19	3,07	7,42	7,53	10,43	1,00
ШОС-Т-4-2-35	33,61	34,77	3,26	3,15	7,09	7,73	10,31	0,97

Химический состав смеси ШОС-Т-4-2(3) представлен в табл. 3.

Целью проведенных исследований было опробование технологии применения шлакообразующей смеси для разливки металла широкого марочного сортамента, в том числе с содержанием углерода 0,09-0,13 % для уменьшения сброса металла на зачистку и уменьшения трещинообразования.

Необходимо отметить, что в 2008-2009 гг. на МНЛЗ № 3-5 ККЦ ММК «Азовсталь» проводили оценочные испытания шлакообразующих смесей различных производителей (на первом этапе):

– Alsiflux GS-C7, Alsiflux GS-MC2, Alsiflux GS 813/P, Alsiflux GS 613/P-LK производства фирмы Alsical Hüttenwerkstechnik GmbH (Германия);

– Accutherm ST-SP/220-A, Accutherm ST-SP/234-SC1 производства фирмы Stollberg GmbH (Германия);

– ШОС-Т-4-2(3) производства ЧАО «НПП «Техмет» (Донецк, Украина).

Наилучшие результаты получены при использовании шлакообразующих смесей ШОС-Т-4-2(3) и Alsiflux GS 613/P-LK.

На втором этапе разливку плавков широкого марочного сортамента, в т. ч. при разливке легированных, перитектических, а также низкремнистых марок стали на МНЛЗ № 3-5 производили с применением шлакообразующих смесей марок ШОС-Т-4-2(3) и Alsiflux GS 613/P-LK. В объеме проводимых исследований с применением ШОС-Т-4-2(3) было разлито 1157 плавков различного марочного сортамента, в т. ч. разливались марки стали с пониженным содержанием кремния.

Общий уровень отсортровки листового проката из металла плавков, разлитых с применением смеси ШОС-Т-4-2(3), на 0,47 % абс. ниже, чем из метал-

ла, плавков, разлитых с применением смеси Alsiflux GS 613/P-LK.

На МНЛЗ № 1, 2 ККЦ ММК им. Ильича в 2010-2011 гг. были проведены испытания шлакообразующей смеси ШОС-Т-4-2(3).

Всего было отлито 19 плавков стали марки S355(N); 9 плавков стали марок А32, А36, Е36; 7 плавков стали марки Асуд и 11 плавков стали марки СтЗСП. Замечаний по работе шлакообразующей смеси (шнурования, комков и т. д.) не было. Средний удельный расход смесей составил 0,65-0,70 кг/т стали.

В качестве сравнительных взят массив плавков (всего 51 плавка) этих же марок стали, отлитых в тот же период под серийной смесью ШОС-Т4К (также производства ЧАО «НПП «Техмет»). Средний удельный расход также составил 0,65-0,70 кг/т стали.

Отсортровка металла, отлитого под ШОС-Т-4-2(3) и ШОС-Т4К приведена в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что отсортровка металла S355(N), отлитого под смесь ШОС-Т-4-2(3), составила 0,50 %: плена – 0,12, газовый пузырь – 0,38. Необходимо отметить, что отсортровка металла была только на плавке № 204542, на которой производился химический подогрев и при производстве которой отмечено много замечаний, что могло повлиять на качество металла. На остальных плавках отсортровка металла отсутствовала.

Отсортровки на сравнительных плавках различных марок стали составила 0-0,60 %.

По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что смесь ШОС-Т-4-2(3) не уступает серийно применяемой смеси ШОС-Т4К и рекомендуется к промышленному применению, как альтернативная ШОС для разливки стали на МНЛЗ № 1, 2 ККЦ ММК им. Ильича.

Таблица 3

Химический состав шлакообразующей смеси ШОС-Т-4-2(3)

CaO _{общ}	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Fe _{общ}	F	CaF ₂	C	R ₂ O	Основность
35,70	33,30	3,60	1,27	0,06	0,60	7,41	15,20	8,80	6,20	1,07

Таблица 4

Отсортровка металла, отлитого под ШОС-Т-4-2(3) и ШОС-Т4К

Марка смеси	Марка стали	Количество плавков, шт.	Индекс отсортровки, %				
			плена	трещина	УЗК	газовый пузырь	всего
ШОС-Т-4-2(3)	А32(АН32) А36(АН32) Е36(ЕН36)	9	–	–	–	–	–
ШОС-Т-4К		24	0,08	–	0,29	0,23	0,60
ШОС-Т-4-2(3)	S355(N)	19	0,12	–	–	0,38	0,50
ШОС-Т-4-2(3)*		18	–	–	–	–	
ШОС-Т-4К		9	0,23	–	–	–	0,23
ШОС-Т-4-2(3)	Асуд	7	–	–	–	–	–
ШОС-Т-4К		7	–	–	–	–	–
ШОС-Т-4-2(3)	СтЗСП	11	–	–	–	–	–
ШОС-Т-4К		11	–	–	–	–	–

*без плавки № 204542

Выводы

ШОС-Т-4-2(3) имеет стабильный химический состав. Постоянство химического состава изготавливаемых шлакообразующих смесей гарантирует постоянство их физических свойств – вязкости и температуры плавления.

Уровень отсортировки металла, отлитого под ШОС-Т-4-2(3) меньше уровня отсортировки металла, отлитого с применением смеси ШОС-Т-4К.

Шлакообразующая смесь ШОС-Т-4-2(3) рекомендуется к промышленному применению как альтернативная ШОС для разливки стали на МНЛЗ № 1, 2 ККЦ «ММК им. Ильича».



ЛИТЕРАТУРА

1. IISI: Steel Statistical Yearbook 2005, [Hrsg.:] Intern. Iron and Steel Inst., Committee on Economic Studies. – Brüssel, 2005. – P. 15-16.
2. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка и освоение технологии комплексной защиты зеркала металла в промежуточных ковшах и кристаллизаторах МНЛЗ с использованием теплоизолирующих, шлакообразующих и рафинировочных смесей с оптимизацией их рафинировочных свойств».
3. *Лидефельт Х., Хассельстром П.* Характеристики рабочих свойств шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали. Материалы международного конгресса. – М.: Металлургия, 1987. – 224 с.

Анотація

Шебаниць Е. М., Ларіонов О. О., Аніщенко М. Ф., Цюцюра А. В., Горпініч О. А., Галінков Д. А., Мороз Ю. Г.

Розробка шлакоутворювальних сумішей на основі плавлених флюсів для МНЛЗ № 1 і 2 ПАТ «ММК ім. Ілліча»

Викладено методику визначення фізичних властивостей шлакоутворювальних сумішей (ШТС) для безперервного розливання сталі. Подано результати роботи по розробці хімічного складу ШТС для розливання безперервнолитих слябів низьколегованих сталей перитектичного класу. Досліджено якість листового прокату, зробленого зі слябів, відлитих із застосуванням ШТС на основі плавлених флюсів.

Ключові слова

шлакоутворювальна суміш, в'язкість, віскозіметр, машина безперервного розливання заготовок (МБРЗ), сляб, низьколеговані марки сталі

Summary

Shebanits E., Larionov A., Anishchenko N., Tsyutsyura A., Gorpinich O., Galinkov D., Moroz Yu.

Development of fused flux based casting powder for casters № 1-2 of «Ilyich Iron and Steel Works» PJSC

The technology of measurement the casting powders physical properties for continuous steel casting is expounded. The results of development of casting powders chemical composition for casting slabs of peritectic low-alloyed steel are presented. The quality of rolled plates produced from slabs casted with the usage of casting powders on the basis of fused fluxes has been studied.

Keywords

casting powder, viscosity, viscometer, caster, slab, low-alloyed steels