

**С. В. Шлемко, С. В. Шостак, М. В. Епишев, В. И. Поремский, А. А. Кинаш, В. В. Акулов*,
К. Е. Писмарев*, Г. Я. Довгалюк*, А. А. Табия*, А. В. Пашенко***

ООО «НПКП Солотвин», Донецк

*ОАО «Алчевский металлургический комбинат», Алчевск

Разливка стали на слябовых МНЛЗ с использованием смесей отечественного производства

В условиях ООО «НПКП Солотвин» разработаны шлакообразующие смеси для кристаллизатора слябовой МНЛЗ, промышленное опробование которых показало, что по технологическим параметрам (усилие вытягивания заготовки, работа трения, интенсивность и стабильность теплоотвода, удельный расход смеси), и качественным показателям (макроструктура, уровень брака заготовок и отсортровка листового проката) они не уступают зарубежным аналогам, а по некоторым, в частности уровню отсортровки листового проката и расходу погружных стаканов, даже превосходит их.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, шлакообразующая смесь, кристаллизатор, качество поверхности заготовки

В технологическом цикле непрерывной разливки стали на современных МНЛЗ теплоизолирующие и шлакообразующие смеси играют существенную роль в обеспечении их стабильной работы и получении качественных заготовок.

Как правило, при пуске новых МНЛЗ фирмы, поставляющие оборудование, рекомендуют и поставщиков смесей. Однако серийные смеси этих поставщиков не всегда соответствуют конкретным условиям разливки, а возможность оперативной корректировки состава смесей значительно осложнена.

Широкий сортамент производимых сталей в условиях конвертерного цеха ОАО «АМК» предполагает использование различных видов смесей. Особо жесткие требования предъявляются к смесям при разливке низко- и ультранизкоуглеродистой стали, так как смеси должны обеспечивать не только надежную защиту металла, но и исключать возможность его науглероживания в процессе разливки. Шлакообразующие смеси для кристаллизатора слябовых МНЛЗ должны выполнять комплекс следующих важных функций: защищать металл от контакта с атмосферой и минимизировать его теплопотери; ассимилировать неметаллические включения; обеспечивать смазку стенок кристаллизатора и снижать усилие вытягивания заготовки; регулировать и обеспечивать равномерный теплоотвод от кристаллизуемой оболочки заготовки.

Учитывая высокую стоимость погружных стаканов, смесь (шлак) также должна обладать минимальным агрессивным воздействием на материал стакана. Если смесь не обеспечивает хотя бы одну из этих функций, процесс разливки осложняется и качество отливаемых заготовок ухудшается.

Современные МНЛЗ оснащены автоматизированными системами контроля параметров разливки, по которым легко оценить степень соответствия шлакообразующей смеси условиям разливки, следовательно, имеется возможность оптимизации

технологических свойств смеси применительно к конкретным условиям.

Определяющими характеристиками при разработке смесей для кристаллизатора МНЛЗ являются химический состав, физические свойства (размер частиц, температура и скорость плавления) и природа исходных компонентов, которые и обеспечивают комплекс технологических свойств синтетических смесей.

Работа смеси в процессе разливки зависит, прежде всего, от условий образования и параметров шлакового гарнисажа (на поверхности формирующейся заготовки), который влияет на усилие вытягивания, а также интенсивность и равномерность отвода тепла от кристаллизуемой корочки заготовки к стенкам кристаллизатора, что в свою очередь оказывает влияние на качество поверхности заготовок [1, 2].

Существует более 200 марок шлакообразующих смесей, при разработке которых авторы основывались на практических результатах их применения в конкретных условиях марочного состава разливаемой стали и параметров оборудования [3].

Основу ШОС составляет композиция $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ с добавками флюсующих и углеродсодержащих материалов. Источники флюсующих добавок (флюорит, криолит, сода кальцинированная) ограничены. Эти материалы характеризуются стабильным составом и свойствами, поэтому различие свойств смесей определяется базовыми ингредиентами, в качестве которых производители смесей используют, как правило, местные материалы.

Процесс проникновения шлака непосредственно в зазор между заготовкой и кристаллизатором и формирования в нем шлаковой прослойки является наиболее ответственным в работе ШОС, так как этим процессом фактически определяется возможность образования поверхностных и подповерхностных дефектов заготовки, а также вероятность прорыва

металла. На этом этапе существенную роль играют вязкость и температура затвердевания шлака (температура «излома»), поверхностное натяжение на границах шлак – твердый металл и шлак – кристаллизатор, величина теплового потока от заготовки к кристаллизатору, а также стабильность поступления жидкого шлака с поверхности расплавленного металла через участок мениска [4].

При разработке ШОС для кристаллизатора МНЛЗ ОАО «Алчевский металлургический комбинат» была поставлена задача замены импортных смесей смесями отечественного производства при безусловном сохранении качественных показателей отливаемых заготовок и технологических показателей разливки.

Различные виды ШОС для кристаллизатора МНЛЗ прошли опытное опробование и применяются в условиях ОАО «АМК». Химический состав основных из них приведен в табл. 1.

Исследования вязкости шлаков, образующихся при плавлении указанных в табл. 1 смесей, а также характера их затвердевания (температура «излома») выполнены в условиях ДонНТУ на усовершенствованном электроротационном вискозиметре. Температуру плавления ШОС (размягчение, плавление, растекание) определяли на высокотемпературном микроскопе МНО-2, а степень кристалличности шлаков – по специальной методике, имитирующей условия кристаллизации шлака между стенкой кристаллизатора и поверхностью заготовки.

Результаты исследования основных физических свойств шлакообразующих смесей приведены в табл. 2.

При заметном отличии химического состава исследованных смесей их вязкость отличается несущественно (за исключением смеси марки SC-30T Dalmond, которая показала несоответствие условиям разливки), а температура «излома» (начала затвердевания) расплава этих смесей

разная, что говорит о различном характере кристаллизации шлаков.

На рисунке приведена зависимость вязкости шлаков основных от температуры ШОС, применяющихся при разливке низко- (смесь марки ST-C89/DP) и среднеуглеродистой стали (смесь GS-813/P) и опытной смеси 4KM-12, которая показывает, что по технологическим свойствам смесь марки 4KM-12 может применяться при разливке как низко- (< 0,06 % C), так и среднеуглеродистой стали (< 0,30 % C), что и было подтверждено на практике.

В 2009 г. в ККЦ ОАО «АМК» было проведено опытно-промышленное опробование (первый этап – апрель) и промышленные испытания (второй этап – август-октябрь) ШОС для кристаллизатора МНЛЗ отечественного производства – 4KM-12 (ООО «НПКП Солотвин», Донецк) и ШОС-7.2 (ООО «МД-Групп», Запорожье).

В качестве сравнительных смесей на первом этапе применялись смеси марок PS-5AT (Prosimet) и GS-813/P (Alsikal), на втором – PS-5AT, а затем, при разливке низкоуглеродистых сталей, – ST-C 89/DP (Stollberg). Разливка металла осуществлялась в штатном режиме на существующем сортаменте в слябы сечением (200-250) × (1150-1600) мм. Все смеси при вводе в кристаллизатор хорошо растекались по поверхности металла, закрывая его ровным плотным слоем. При подаче в кристаллизатор смеси марки ШОС-7.2 наблюдалось интенсивное горение ее с появлением пламени по всей поверхности, смесь марки 4KM-12 вела себя аналогично смесям марок GS-813/P и PS-5AT. Прорывов на опытных плавках и брака заготовок не было. Скорость разливки составляла 1,1-1,4 м/мин. Для объективной оценки плавки разливались поручейно (со сменной смеси на ручьях в процессе разливки одной серии) и по сериям (на обоих ручьях применялась одна смесь).

Таблица 1

Химический состав исследованных ШОС для кристаллизатора МНЛЗ

Марка смеси, фирма	Массовая доля компонентов, %								В CaO/SiO ₂	Вид смеси
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	F	Na ₂ O + K ₂ O	C _{общ}	W _{105°С}		
ST-C 89/DP, Stollberg	30,1	33,1	1,46	1,15	6,98	7,92	5,9	0,44	0,91	порошок
PS-5AT, Prosimet	38,5	30,2	1,99	0,23	6,83	5,6	7,7	0,54	1,27	гранул.
GS-813/P, Alsikal	35,9	28,9	3,44	0,37	5,95	3,8	9,7	0,57	1,24	гранул.
SC-30T, Dalmond	35,2	28,5	2,49	1,09	7,8	6,3	5,9	0,53	1,24	гранул.
SGCS-30E, Dalmond	29,4	32,0	2,41	1,83	8,98	5,9	6,7	0,53	0,92	гранул.
4KM-12, Solotvin	34,1	25,6	7,62	3,17	8,34	5,85	8,2	0,43	1,33	порошок

Таблица 2

Результаты исследования физических свойств ШОС для кристаллизатора

Марка ШОС, фирма	Вязкость, Па·с			Температура «излома», °С
	1400 °С	1300 °С	1200 °С	
ST-C 89/DP, Stollberg	0,18	0,26	0,40	1160
PS-5AT, Prosimet	0,15	0,21	–	1230
GS-813/P, Alsikal	0,16	0,20	–	1220
SC-30T, Dalmond	0,11	0,13	0,19	1195
SGCS-30E, Dalmond	0,18	0,26	0,46	1175
4KM-12, Solotvin	0,16	0,19	0,30	1150

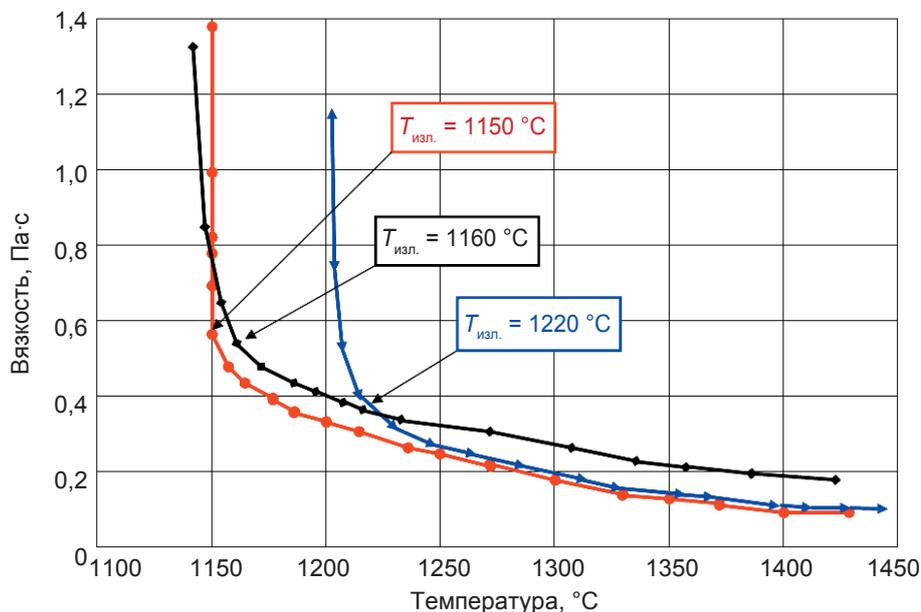


Рис. Зависимость вязкости некоторых марок ШОС от температуры:
 ● — 4KM-12; ◐ — ST-C 89/DP; ◑ — GS-813/P

Технологические показатели работы МНЛЗ на первом этапе испытания опытных смесей приведены в табл. 3.

Таблица 3
Технологические показатели работы МНЛЗ на различных шлакообразующих смесях

Марка смеси	Технологические показатели		
	Расход, кг/т	Усиление вытягивания, кН/м ²	Работа трения, Дж
4KM-12	0,41	13,9	287,4
ШОС-7.2	0,52	11,1	208,0
PS-5AT	0,42	12,5	272,0
GS-813/P	0,44	12,6	264,0

При этом отмечено, что стабильность работы под опытной смесью марки 4KM-12 была значительно выше, чем ШОС-7.2 и сопоставима с работой под импортными смесями, которая оценивалась по количеству аварийных ситуаций, фиксируемых системой «Mold Expert». Отмечен также повышенный расход погружных стаканов при работе на смеси марки ШОС-7.2 (повышенная массовая доля MnO в шлаке).

Учитывая различие химического состава по основным компонентам испытанных смесей, представляет интерес оценка ассимилирующей способности образующихся в кристаллизаторе МНЛЗ шлаков. В табл. 4 приведен состав смесей и шлаков из кристаллизатора.

Абсолютное значение увеличения массовой доли Al₂O₃ в шлаке по сравнению со смесями составляет от 1,82 (ШОС-7.2) до 2,86 % (4KM-12), что указывает на достаточную емкость шлаков по отношению к включениям глинозема независимо от исходного содержания Al₂O₃ в смесях.

Основным критерием оценки влияния вида смеси на результаты разлива является качество получаемой продукции. Визуальный осмотр слябов, отлитых

под опытными смесями, показал, что качество поверхности идентично качеству слябов, отлитых с применением смесей марок GS-813/P и PS-5AT.

Результаты контроля макроструктуры опытных и сравнительных слябов свидетельствуют, что по этому показателю они соответствовали требованиям нормативно-технической документации и были аналогичными.

По результатам прокатки опытных и сравнительных слябов на стане 3000 отсортировка листов также находилась примерно на одном уровне и не превышала значений, характерных для стабильного текущего производства.

На втором этапе, в период с августа по октябрь 2009 г., проведены расширенные промышленные испытания шлакообразующих

смесей отечественного производства, которые подтвердили, что и по технологическим параметрам (усилие вытягивания заготовки, работа трения, интенсивность и стабильность теплоотвода, удельный расход смеси), и по качественным показателям (макроструктура, уровень брака заготовок и отсортировки листового проката) шлакообразующая смесь для кристаллизатора МНЛЗ марки 4KM-12 (ООО «НПКП Солотвин») не уступает зарубежным аналогам (PS-5AT (Prosimet), GS-813/P (Alsical), ST-C 89/DP (Stollberg), а по некоторым, в частности, уровню отсортировки листового проката и расходу погружных стаканов, даже превосходит их.

Следует также отметить универсальность смеси марки 4KM-12, которая обеспечивает необходимые условия разлива практически всего действующего сортамента – как низко- (< 0,06 % C), так и среднеуглеродистой (< 0,30 % C) стали.

В процессе выполнения работы опробован также вариант механизированной подачи смеси в кристаллизатор МНЛЗ с помощью установки, спроектированной и изготовленной сотрудниками ДонНТУ и ООО «НПКП Солотвин» [5]. Установка (опытный образец) обеспечивает непрерывную подачу смеси с регулированием ее расхода в необходимых

Таблица 4
Химический состав смесей и шлаков, отобранных из кристаллизатора

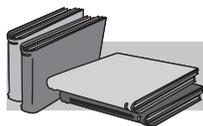
Марка смеси	Объект исследования	Массовая доля, %			
		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
4KM-12	смесь	26,1	33,9	7,02	3,10
	шлак	28,7	36,5	9,88	3,65
ШОС-7.2	смесь	29,8	28,9	3,33	0,45
	шлак	34,4	34,5	5,15	1,11
PS-5AT	смесь	30,2	38,5	1,99	0,23
	шлак	31,3	43,4	4,47	1,18

пределах, что обеспечивает повышение стабильности работы МНЛЗ и, как следствие, повышение качества отливаемых заготовок.

Оценка экономической эффективности применения различных смесей в условиях ОАО «АМК» показывает, что удельные затраты на смесь при работе МНЛЗ на смеси марки 4КМ-12 в 2,5-2,7 раза ниже, чем при работе на зарубежных аналогах (PS-5AT, GS-813/P).

Выводы

Исходя из полученных результатов, учитывающих технологические параметры работы МНЛЗ, качество отливаемых заготовок и полученного из них листового проката, а также экономическую оценку применения различных смесей для кристаллизатора МНЛЗ, смесь марки 4КМ-12 производства ООО «НПКП Солотвин» с октября 2009 г. применяется в условиях ОАО «АМК» в промышленных масштабах в количестве до 40-50 % от общего объема с перспективой полной замены импортных смесей смесями отечественного производства.



ЛИТЕРАТУРА

1. Механизм формирования шероховатой поверхности шлакового гарнисажа и ее влияние на величину термического сопротивления, зазора между оболочкой слитка и стенкой кристаллизатора УНРС / Н. П. Лякишев, Н. А. Арутюнян, А. И. Зайцев и др. // *Металлы*. – 2005. – № 3. – С. 3-15.
2. Зайцев А. И., Лейтейс А. В., Либерман А. Л. Физико-химические основы нового метода управления отводом тепла от слитка к кристаллизатору // *Сталь*. – 2003. – № 3. – С. 70-74.
3. Зайцев А. И., Калмыков К. Б. Направления и методы создания шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали с высокими эксплуатационными и экологическими характеристиками // Тр. IX конгресса сталеплавильщиков (Старый Оскол, 17-19 октября 2006). – М., 2007. – С. 638-644.
4. Свойства шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали с повышенной скоростью / А. Н. Смирнов, С. Л. Макуров, М. В. Епишев и др. // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 1. – С. 55-57.
5. Новые системы дозированной подачи порошкообразных и гранулированных смесей в кристаллизаторы МНЛЗ / С. П. Еронько, С. В. Мечик, С. А. Бедарев, и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2009. – № 2. – С. 34-38.

Анотація

*Шлемко С. В., Шостак С. В., Єпішев М. В., Поремський В. І., Кінаш А. А.
Акулов В. В., Пісмарьов К. Є., Довгалюк Г. Я., Табія А. А., Пащенко А. В.
Розливання сталі на слябових МБЛЗ
з використанням сумішей вітчизняного виробництва*

В умовах ТОВ «НПКП Солотвін» розроблені шлакоутворювальні суміші для кристалізатора слябової МБЛЗ, промислове випробування яких показало, що і за технологічними параметрами (зусилля витягування заготовки, робота тертя, інтенсивність і стабільність тепловідводу, питома витрата суміші), і за якісними показниками (макроструктура, рівень браку заготовок і відсортювання листового прокату) вони не поступаються зарубіжним аналогам, а за деякими з них, зокрема, за рівнем відсортювання листового прокату і витратою погрузних стаканів, навіть перевершує їх.

Ключові слова

безперервне розливання сталі, шлакоутворювальна суміш, кристалізатор, якість поверхні заготовки

Summary

*Shlemko S., Shostak S., Epishev M., Poremsky V., Kinash A., Akulov V.,
Pismarev K., Dovgaljuk G., Tabija A., Pashchenko A.
Slab steel continuous casting
with use of domestic production mold powders*

In Solotvin Company mold powders for slab continuous casting are developed. Industrial test of developed mold powders has shown that it's does not concede to foreign analogues on technological parameters (friction stress, friction work, intensity and stability of heat flux, the specific powder consumption) and on quality indicators (the macrostructure, level of a rejected material), and on some of them, in particular on flat products rejection level and SEN consumption, even surpasses them.

Keywords

continuous casting, mold powder, mold, strand surface defects

Поступила 05.07.10