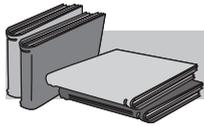


ухудшение качества поверхности заготовки, а в определенных случаях – прорыв твердой корочки в кристаллизаторе. Наиболее чувствительным к различного рода нарушениям является сигнал ускорения качания кристаллизатора. В тоже время параметры закона качания кристаллизатора позволяют судить об обеспечении оптимального значения времени цикла опережения.

Вывод

В условиях роста требований к качеству непрерывнолитой заготовки и увеличения производительности необходимо обеспечить стабильность работы машин

непрерывного литья заготовок. Одним из наиболее ответственных функциональных узлов МНЛЗ является кристаллизатор, совершающий возвратно-поступательные движения по определенному закону. Установлено, что для кристаллизаторов с электромеханическим приводом качания могут наблюдаться существенные отклонения от синусоидального закона перемещения, скорости и ускорения. Для повышения надежности работы привода качания кристаллизатора предлагается осуществлять непрерывный контроль осцилляции и, в случае необходимости, корректировать параметры разлива с целью предотвращения аварийных ситуаций и потери качества готовой продукции.



ЛИТЕРАТУРА

1. Edward S. Szekeres, «Overview of mold oscillation in continuous casting», Iron and Steel Engineer, July 1996. – P. 29-37.
2. Rossi I., «The continuous Casting Machine Comes of Age», AISE Yearly Proceedings, 1964. – P. 155-160.
3. Speith, K. G., and Bungeroth A., «Continuous Casting of Steel in Western Germany», Journal of the Iron and Steel Institute. – Vol. 182. – 1958 (10). – P. 158-161.
4. Влияние качания кристаллизатора на качество поверхности непрерывнолитых слябов / Э. Шюрман, Л. Фиге, Х.-П. Кайзер, Т. Клагес.– Чер. металлы. – № 22. – 1986. – С. 27-33.
5. Royzman S. Stresses due to oscillation marks in continuous solidifying slab: a mathematical model / Steel Technology International. – 1999. – P. 73-80.
6. Оценка параметров качания кристаллизатора МНЛЗ и их влияния на качество поверхности заготовки / А. Н.Смирнов, О. В. Антыкуз, А. Ю. Цупрун, Е. Ю. Жибоедов. – Metallургическая и горнорудная пром-сть. – 2006. – № 3. – С. 17-21.
7. Wolf M. Mold Oscillation Guidelines // Steelmaking Conference Proceedings. – 1991. – P. 51-71.
8. Development of New Mold Oscillation Mode for High-speed Continuous Casting of Steel Slabs. M. Suzuki, H. Mizukami, T. Kitagawa e.a, ISIJ International. – 1991. – Vol. 31 – № 3. – P. 254-261.

УДК 621.745.55

С. В. Шлемко, С. В. Шостак, А. А. Кинаш, М. В. Епишев (ООО «НПКП Солотвин»), К. Е. Писмарев, В. В. Акулов, Г. Я. Довгалюк, А. А. Табия (ОАО «АМК»)

Разработка и оптимизация составов и технологии применения шлакообразующих и теплоизолирующих смесей для непрерывной разлива стали в условиях ОАО «АМК»

В технологическом процессе от выпуска металла из сталеплавильного агрегата до окончания непрерывной разлива стали, смеси выполняют комплекс важных функций:

- защищают расплавленный металл от контакта с окружающей средой;
- уменьшают потери тепла от зеркала металла в сталеразливочном и промковше, а также в кристаллизаторе МНЛЗ;
- обеспечивают ассимиляцию неметаллических включений;
- смазывают стенки кристаллизатора, уменьшая усилие вытягивания заготовки;
- регламентируют теплоотвод от кристаллизующейся оболочки заготовки к стенкам кристаллизатора.

Разработаны состав и технология применения шлакообразующих и теплоизолирующих смесей для непрерывной разлива стали в условиях ОАО «Алчевский металлургический комбинат»

Исходя из этого, применяющиеся смеси должны в максимальной степени соответствовать условиям разлива – химическому составу стали, размерам и форме кристаллизатора, скорости разлива, степени защиты струи металла, составу и свойствам огнеупорных изделий и материалов.

Следует учитывать сложный характер работы шлакообразующих смесей в промковше и кристаллизаторе МНЛЗ, что связано с широким интервалом рабочих температур, периодическим изменением химического состава, образующегося по ходу разлива шлака, а следовательно и изменением его свойств. Особо неблагоприятные условия возникают в кристаллизаторе

при порционной загрузке смеси, в ряде случаев относительно большими порциями, что приводит к попаданию шлака, а иногда и металла, на стенки кристаллизатора и резким изменениям в этот момент характеристик шлака и условий формирования корочки заготовки. При контакте смеси с металлом возможно его науглероживание и окисление алюминия.

С учетом изложенных выше особенностей работы смесей, в рамках комплексной программы совместных работ ООО «НПКП Солотвин» и ОАО «АМК» проводилась оптимизация их составов и технологии применения.

В соответствии с технологической необходимостью, в условиях ОАО «АМК» при выплавке стали в мартеновском цехе и разливке ее на МНЛЗ защита металла осуществляется на следующих этапах: после перелива из ковша в ковш; после обработки на У КП; в промковше и в кристаллизаторе МНЛЗ.

Смесь для защиты металла в сталеразливочных ковшах должна обеспечивать надежную теплоизоляцию, препятствующую образованию шлаковых «коржей» (при переливе используется ТШС), не изменять характер высокоосновного шлака, не оказывать агрессивного воздействия на футеровку ковша и не содержать свободного углерода, который при последующей доводке на У КП может приводить к науглероживанию металла.

Указанным требованиям соответствует теплоизолирующая смесь марки ЗКВ-2 по ТУ У 13508970-005-2001 со следующими показателями (табл. 1). Насыпная плотность – 0,6-0,8 кг/дм³.

Таблица 1
Химический состав теплоизолирующей смеси марки ЗКВ-2

Массовая доля компонентов, %мас.						
C _{общ.}	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	W
< 8	25-45	6-25	2-12	12-18	2-8	≤ 3,5

Смесь ЗКВ-2, применяющаяся в настоящее время, дополнительно содержит Al_{мет.}, что улучшает ее технологические свойства.

Смесь вводят в ковш после окончания перелива металла одной порцией (в разовом контейнере по 300 кг). Отмечено, что смесь хорошо растекается по поверхности шлака в ковше, закрывая его ровным слоем. Непосредственно после ввода смеси наблюдается незначительное выделение белого дыма, что является следствием сгорания алюминия, содержащегося в смеси.

При освоении технологии практически на всех контролируемых плавках с опытной смесью шлак в ковше оставался незатвердевшим до прихода его на установку «ковш-печь» и при опускании электродов они легко проходили через шлак, а дуга возбуждалась без шума.

В табл. 2 приведены усредненные показатели работы установки «ковш-печь» при утеплении металла после

Таблица 2
Усредненные показатели работы установки «ковш-печь» без утепления металла в стальковше и с утеплением смесью марки ЗКВ-2

Вариант утепления	Температура металла после перелива, °С	Температура металла перед обработкой на У КП, °С	ΔТ, °С	Σ Al _{мет.} , кг/т	[Al], %	[S], %
Без утепления	1556	-	-	0,83	0,044	0,010
Смесь ЗКВ-2, (кг/т)	1547	1534,5	12,5	0,55	0,041	0,008

перелива теплоизолирующей смесью ЗКВ-2 – опытные плавки и без утепления металла в ковше – сравнительные плавки. Все ковши на опытных и сравнительных плавках накрывались крышкой.

На сравнительных плавках измерить температуру металла после прихода ковшей на установку «ковш-печь» не представлялось возможным из-за твердой «шлаковой крышки» на поверхности металла.

Из данных, приведенных в таблице, следует, что за время от замера температуры после перелива до прибытия ковша на У КП температура металла на опытных плавках в среднем снижалась на 12,5 °С при средней скорости охлаждения 0,36 °С/мин, а результаты предыдущих исследований свидетельствуют о том, что металл в ковше без дополнительного утепления и при наличии крышки охлаждается со скоростью ≈ 1 °С/мин. Таким образом, утепление металла смесью ЗКВ-2 с расходом 1 кг/т позволяет снизить скорость падения температуры металла в ковше после перелива почти в три раза и сохранить шлак на поверхности металла в жидком состоянии до прихода ковша на установку «ковш-печь».

Для защиты металла после обработки на У КП смесь должна обладать, прежде всего, высокими теплоизолирующими свойствами, хорошо растекаться по поверхности шлака в ковше и не оказывать агрессивного воздействия на футеровку. Исходя из указанных требований, применительно к защите металла в ковше, после обработки его на У КП применяется теплоизолирующая смесь марки ЗКВ-2(КП) по ТУ У 13508970-005-2001, отличающаяся от смеси, которая применяется на этапе перелива металла из ковша в ковш, отсутствием в ее составе алюминия и содержанием вспучивающейся добавки, обеспечивающей улучшенную теплоизоляцию. Смесь, расфасованная в полиэтиленовые мешки, вводится на поверхность шлака в ковше после обработки металла на У КП из расчета, чтобы вся поверхность была закрыта смесью, для чего расход ее должен составлять 0,7-1,0 кг/т. Смесь за время разливки не спекается, обеспечивает необходимый уровень теплоизоляции металла и после окончания разливки полностью удаляется из ковша со шлаком.

Учитывая то, что основным недостатком порошкообразных смесей для защиты металла в сталеразливочных ковшах является значительное пылевыведение при их загрузке, было предложено и опробовано два варианта гранулированной (фракционированной) теплоизолирующей смеси с кислым и основным характером. Обе смеси загружались в ковш механизированным способом по существующему тракту.

При несколько худших, в сравнении с порошкообразной смесью ЗКВ-2(КП), теплоизолирующих свойствах гранулированные смеси позволяют ускорить процесс загрузки их в ковш и снизить пылевыведение. Партия гранулированной смеси на кислой основе массой

Таблица 3

Химический состав смесей, применяющихся для защиты металла в проковше

Марка смеси	Массовая доля компонентов, %мас.					
	C _{общ.}	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O +K ₂ O	W
4KM-0	≤ 5,5	40-45	20-25	10-16	0,5-1,0	≤ 1
ТУ У 26.2-13508970-009-2004	C _{св.} ≤ 4	30-45	15-35	10-30	0,5-2,5	≤ 1
ЗКВ-4	8-12	2-4	40-50	28-34	0,5-1,0	≤ 1
ТУ У 13508970-005-2001	≤ 20	1-5	40-60	15-35	0,5-4,0	≤ 1
ЗКВ-3	23-26	24-27	22-25	10-14	1-2	≤ 1
ТУ У 13508970-005-2001	13-26	22-36	18-32	5-25	1-6	≤ 3

60 т поставлена на комбинат для опытно-промышленных испытаний.

Смеси, применяющиеся для защиты металла в проковше, должны обеспечивать возможность ассимиляции неметаллических включений, надежную теплоизоляцию металла и не оказывать агрессивного воздействия на футеровку и огнеупорные элементы проковша. Для обеспечения указанных требований, как правило, используется два вида смесей – шлакообразующая ассимилирующая и теплоизолирующая.

Исходя из сортамента разливаемых в ОНПС комбината сталей, на основе комплекса совместных исследований, разработана следующая технология защиты в проковше низко- и особо низкоуглеродистых сталей при разливке их на МНЛЗ:

- в начале серии, после наполнения проковша на 1/4 объема, на поверхность металла вводится 200 кг ассимилирующей смеси марки 4KM-0;

- после поднятия уровня металла в проковше выше нижней кромки защитной трубы вводят 200-240 кг низкоуглеродистой теплоизолирующей смеси марки ЗКВ-4, которую по необходимости (после смены ковша, замера температуры металла и отбора проб) добавляли при разливке первых двух-трех плавков серии;

- после разливки второй или третьей плавки – в зависимости от состояния покровного шлака и слоя низкоуглеродистой смеси – в проковш загружают теплоизолирующую смесь марки ЗКВ-3 и применяют ее до завершения разливки всей серии.

Такая технология позволяет сохранить на поверхности металла в активном состоянии слой основного шлака, практически исключить процесс науглероживания металла и обеспечить его теплоизоляцию на необходимом уровне, учитывая при этом, что все применяющиеся на данном этапе смеси не содержат фтора, воздействие их на огнеупоры минимальное, что позволяет разливать любые серии плавков без ограничений.

При разливке среднеуглеродистых сталей при-

Таблица 4

Технологические показатели работы при применении в проковше ассимилирующей и теплоизолирующих смесей производства ООО «НПКП Солотвин» и фирмы «STOLLBERG»

Вариант защиты	Кол-во плавков	Расход ассимилир. смеси, кг/т	Расход ТИС, кг/т	Перепад* температур в ПК по ходу разливки, °С	Изменение [C] УКП – кр-р, %
4KM-0 + ЗКВ-4 + ЗКВ-3	65	0,06-0,11	ЗКВ-4+ЗКВ-3 0,347	-2,4 / +0,167	0,011
Glutin Slag+Glutin SP/ISOBG	55	0,06-0,11	SP/ISOBG 0,386	-2,2 / +0,120	0,010

* среднее значение по серии плавков.

меняется два вида смеси – ассимилирующая марки 4KM-0 и смесь с повышенными теплоизолирующими свойствами марки ЗКВ-3. Химический состав смесей для проковша приведен в табл. 3.

Усредненные технологические показатели работы при комплексной защите металла в проковше смесями производства ООО «НПКП Солотвин» в период их освоения представлены в табл. 4.

Исходя из полученных технологических результатов и с учетом того, что цена смесей ООО «НПКП Солотвин» ниже цены аналогичных смесей фирмы «STOLLBERG» более чем в 2 раза, с 2007 г. в проковше МНЛЗ на полном объеме разливаемых в ОНПС ОАО «АМК» сталей применяется комплексная защита смесями марок 4KM-0, ЗКВ-4, ЗКВ-3. Шлакообразующие смеси для кристаллизатора слябовых МНЛЗ, при общей основе со смесями для других МНЛЗ (CaO – SiO₂ – Al₂O₃) отличаются от них прежде всего низким содержанием углерода, низкими значениями вязкости образующегося в процессе работы шлака и особым характером его кристаллизации (наличие так называемой температуры излома).

На основе базовой смеси для слябовых МНЛЗ марки 4KM-12 (ТУ У 26.2-13508970-009-2004) осуществлялась доработка ее состава с ориентацией на разливку низкоуглеродистых ([C] ≤ 0,1 %) и среднеуглеродистых ([C] > 0,12 %) сталей. В качестве основных критериев при доработке смесей использовались температура плавления, вязкость шлака и температура излома.

В феврале 2008 г. в ОНПС ОАО «АМК» было проведено опытное опробование оптимизированных вариантов шлакообразующих смесей марки 4KM-12 при разливке различных марок стали.

При разливке стали 1006 (плавка 910174) на МНЛЗ №1 на одном ручье в кристаллизаторе применялась опытная смесь марки 4KM-12(Н), а на втором – серийная смесь ST-C89/DP «STOLLBERG».

Разливка стали 1008 (плавка 830175) на МНЛЗ № 1 на одном ручье со старта проводилась под смесью 4KM-12(С), при этом на другом ручье использовалась серийная смесь ST-C89/DP.

Опытная смесь 4KM-12(С) опробована также при разливке стали А36 (плавка К 20092) на МНЛЗ № 2 в сравнении с серийно применяющейся смесью GS813/P «ALSICAL».

Химический состав опробованных ШОС для кристаллизатора МНЛЗ приведен в табл. 5.

Таблица 5
Химический состав смесей для кристаллизатора МНЛЗ

Марка смеси, фирма	Массовая доля компонентов, %									
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	F ⁻	Na ₂ O + K ₂ O	C _{общ.}	W _{105°C}	B (CaO/SiO ₂)	Вид смеси
4KM-12(H) «Солотвин»	33,0	27,3	7,65	2,6	8,34	5,67	8,1	0,47	1,20	порошок
4KM-12(C) «Солотвин»	33,1	26,7	7,39	3,67	8,36	5,86	8,8	0,45	1,24	порошок
ST89/DP «STOLLBERG»	30,1	33,1	1,46	1,15	6,98	7,92	5,9	0,44	0,91	порошок
GS813/P «ALSICAL»	35,9	28,9	3,44	0,37	5,95	н.д.	9,7	0,57	1,24	гранул.

Вязкость шлака, полученного при расплавлении смеси 4KM-12(H), при температуре 1300 °С по результатам испытаний на электроротационном вискозиметре равнялась 0,21 Па·С, смеси 4KM-12(c) – 0,18 Па·С, что сопоставимо с вязкостью шлаков из серийных смесей при той же температуре. Поведение опытных смесей в кристаллизаторе было аналогичным поведению серийных смесей. По результатам контроля процесса разливки системой «Mold Expert» за время работы под опытными смесями усилие трения изменялось в несколько больших пределах, чем при работе на серийных смесях. Аварийных сигналов при этом системой не зафиксировано.

В целом опробование опытных шлакообразующих смесей марок 4KM-12(H) и 4KM-12(C) при разливке

различных марок стали показало, что их технологические свойства в основном соответствуют условиям разливки, причем разработанные порошкообразные смеси ориентированы на механизированную их подачу в кристаллизатор. Опытный вариант установки для механизированного ввода смесей в настоящее время по заданию ООО «НПКП Солотвин» спроектирован и изготовлен в ДонНТУ.

Таким образом, на основе программы совместных работ ООО «НПКП Солотвин» и ОАО «АМК» разработаны теплоизолирующие и шлакообразующие смеси для комплексной защиты металла на всех этапах от выпуска его из сталеплавильного агрегата до разливки на МНЛЗ, в достаточной степени соответствующие условиям эффективной работы.

УДК 621.771

В. В. Кисиленко, Д. А. Дюдкин, (ОАО «Завод «Универсальное оборудование»), А. В. Минченков, А. В. Душкин, Е. В. Злепко (ОАО Липецкий металлургический завод «Свободный сокол»)

Использование карбида кремния при внепечной обработке чугуна порошковыми проволоками

В последние годы расширяется использование в черной металлургии такого материала, как карбид кремния металлургический (ККМ) [1, 2]. В сталеплавильном производстве ККМ используется как:

- компонент шихты (обеспечивает необходимое содержание в расплаве кремния и частично углерода, а также повышает общий тепловой баланс плавки, что позволяет сократить расход жидкого чугуна);
- раскислитель (применяется для предварительного (осаждающего) раскисления вместо чушкового алюминия и диффузионного раскисления шлака на агрегате «ковш-печь»);
- легирующий компонент (при раскислении часть кремния и углерода из ККМ идет на легирование).

Отмечается при этом значительное улучшение качества стали по структуре неметаллических включений, а при разливке металла на мелкосортных МНЛЗ улучшается разливаемость металла, существенно снижается количество случаев затягивания стакандозаторов глиноземсодержащими включениями (ввиду исключения из технологии алюминия).

Имеются сведения про использование ККМ в металлургии чугуна как шихтового компонента и для модифицирования. При этом использование

Разработанна технология использования карбида кремния при внепечной обработке чугуна порошковыми проволоками, что позволяет существенно снизить затраты на модифицирование при соответствии продукции всем нормативным требованиям

карбида кремния более экономично в сравнении с ферросилицием.

Карбид кремния металлургический представляет собой мелкокристаллический материал фракции 0-20 мм, содержащий SiC 75-95 %, С и SiO₂ – до 6 %. Действующим компонентом является SiC, % – 70 Si, 30 С, который является одновременно источником кремния и углерода. SiC – тугоплавкий материал, устойчив до температуры 2610 °С, плавится с разложением при 2830 °С. При взаимодействии с металлургическим расплавом происходит разрыв связи Si-C и данные компоненты растворяются непосредственно в металле. По сравнению с ферросилицием обеспечивается меньший угар кремния, совместное действие кремния и углерода как графитизирующих элементов положительно влияет на структуру металла.

На ОАО «Липецкий металлургический завод «Свободный сокол» внепечная обработка чугуна порошковой магнийсодержащей проволокой задействована в технологическом цикле производства товарного чугуна и чугунных труб [3]. В доменном цехе