

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 разлива 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 разливе

различных марок стали показало, что их технологические свойства в основном соответствуют условиям разлива, 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 разлива 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 разливе 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

Таблица

Технологические показатели опытных и сравнительных обработок

Вид проволоки	[S] _{исх} , %·10 ⁻³	Количество обр. ковшей, шт	Масса чугуна, т	Расход		Содинение [S], %·10 ⁻³		[Mg] _{ост} , %·10 ⁻²	Степень усв. Mg, %
				проволоки, м	магния, кг/т	до обр.	после		
Mg+ККМ	≤ 15	350	6,77	140	0,91	12,6	9,4	3,48	40,9
	15,1-20,0	480	6,83	169	1,09	18,3	11,9	3,62	37,7
Mg+FeSi	≤ 15	510	6,75	135	0,90	12,2	9,2	3,47	41,1
	15,1-20,0	520	6,80	157	1,04	17,6	12,4	3,63	38,7

трайбаппарат установлен в районе разливочных машин. Десульфурации в 100-тонных ковшах подвергается товарный чугун, разливаемый в чушки в доменном цехе, а также чугун, передаваемый в труболитейный цех для дальнейшей доводки в индукционных печах и отливки труб. В миксерном отделении труболитейного цеха в случае необходимости производится десульфурация в 30- или 100-тонных (с последующими переливом в 30-тонные) ковшах для обеспечения содержания серы < 0,012 %. Скорость ввода порошковой проволоки составляет 1,2-2 м/с, температура обрабатываемого чугуна – 1280-1360 °С. Для десульфурации, в основном, используется магнийставролитовая проволока Ø 10 мм [4, 5].

В 2005 г. в труболитейном цехе введена в действие установка модифицирования чугуна порошковой магнийсодержащей проволокой с помощью трайбаппаратов. Пост модифицирования чугуна включает два двух ручьевых трайбаппарата с частотным преобразователем и подвижной системой направляющих проводок для подачи проволоки. Жидкий чугун подается на пост модифицирования в 7-тонных ковшах с периодичностью 5-10 мин непосредственно из индукционных печей или из миксера-накопителя. В настоящее время масса чугуна в ковшах составляет 6-7,5 т, высота налива – 1,2-1,6 м, свободный борт – 0,8-1,2 м. Перед обработкой ковш накрывается крышкой, через специальные отверстия в крышке опускаются направляющие проводки, через которые подается проволока. После обработки ковш с жидким чугуном на передвижной тележке сразу подается на участок отливки труб на центробежных машинах.

Для модифицирования используется проволока с наполнением магнием и ферросилицием производства ОАО «Завод «Универсальное оборудование». При выборе составов наполнителей проволоки исходили из того, что в нем, наряду с магнием, должен находиться и кремний, так как совместное присутствие в модификаторе указанных элементов обеспечивает образование необходимого количества центров кристаллизации углерода для того, чтобы он выкристаллизовывался в виде графита шаровидной, а не чешуйчато-пластинчатой формы, что придает чугуну высокую прочность при достаточной пластичности и вязкости. В высокопрочном чугуне для отливки труб 100 % графита должно находиться в шаровидной форме на протяжении 20-25 мин (в период отливки труб на центробежных машинах).

В связи с меняющейся конъюнктурой на рынке ферросплавов и возможностью иметь несколько эффективных технологий, обеспечивающих заданное качество готовой продукции с минимальными затратами, было решено провести опробование технологии мо-

дифицирования чугуна проволокой с наполнением магнием и ККМ.

В марте-апреле 2008 г. было проведено более 1000 обработок чугуна с целью модифицирования порошковой проволокой с магнием и ККМ. Наполнение проволоки составляло: магний металлический – 44 г/м, карбид кремния металлургического – 47 г/м. Химический состав карбида кремния металлургического, %мас.: SiC > 88, C_{св} < 6, SiO₂ < 6. Наполнение сравнительной проволоки составляло: магний металлический – 45 г/м, ферросилиций (65 % Si) – 45 г/м. Содержание кремния в экспериментальной проволоке составляло 29 г/м, в сравнительной – 30 г/м.

В таблице представлены технологические показатели обработки чугуна опытной и сравнительной порошковыми проволоками.

В период проведения опытно-промышленных обработок миксер-накопитель большую часть времени находился на ремонте, поэтому чугун на пост модифицирования поступал, в основном, напрямую – из индукционных печей. При такой технологии работы наблюдалась некоторая нестабильность по температуре и химическому составу обрабатываемого чугуна, что сказывалось на показателях эффективности процесса модифицирования.

Скорость ввода проволоки Ø 10 мм составляла 1,2-1,6 м/с. Температура обрабатываемого чугуна составляла 1450-1460 °С – при подаче чугуна из миксера накопителя и 1420-1470 °С – при подаче чугуна непосредственно из индукционных печей. Исходное содержание серы перед модифицированием составляло 0,01-0,02 %.

Как видно из приведенных данных, степень усвоения магния при модифицировании чугуна с аналогичным исходным содержанием серы опытной и сравнительной проволоками находится на одном уровне и составляет 37-41 %.

Степень усвоения магния при модифицировании определялась по следующей формуле:

$$\beta_{\text{Мод}} = (0,76 \times \Delta S + \text{Mg}_{\text{ост}}) / q_{\text{Mg}} \times 1000,$$

где ΔS – разница в содержании серы до и после модифицирования, %; $\text{Mg}_{\text{ост}}$ – содержание магния в чугуне после модифицирования, %; q_{Mg} – удельный расход магния на модифицирование, кг/т.

При использовании проволоки Ø 10 мм получали расчетное содержание $\text{Mg}_{\text{ост}} = 0,03-0,04\%$.

Степень усвоения кремния из проволоки составляет 100 %, изменение содержания углерода в чугуне при обработке чугуна экспериментальной и сравнительной проволоками имеет одинаковые тенденции (содержание углерода после обработки уменьшалось, в некоторых случаях – не изменялось или незначительно увеличивалось).

Механические (предел прочности, предел текучести,

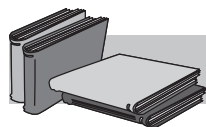
относительное удлинение, твердость) и металлографические (содержание графита в шаровидной форме, содержание структурных составляющих и т. д.) характеристики образцов из труб чугуна, обработанного экспериментальной и сравнительной проволоками с нормативными расходами, аналогичны. Использование экспериментальной проволоки не привело к повышению уровня дефектности отливаемых труб. Массовый расход порошковой проволоки с наполнением смесью магния и карбида кремния металлургического для обеспечения одинаковых качественных показателей модифицирования чугуна аналогичен расходу проволоки с наполнением магнием + ферросилиций. При этом затраты на модифицирование экспериментальной проволокой в рассматриваемый период были ниже на 5-10 %.

Высокая эффективность использования этой проволоки обусловлена тем, что при вводе проволоки с наполнением смесью магния и материала, содержащего кремний, в жидкий металл внутри проволоки происходит эндотермическая реакция между магнием и кремнием с образованием силицида магния Mg_2Si и расположением части магния в мелких эвтектических областях, что, с одной стороны, позволяет снизить температуру в зоне реакции и, соответственно, угар магния, а с другой стороны – образующийся силицид магния растворяется в жидком металле быстрее, чем образующие матрицу

сплава более тугоплавкие фазы [6]. Поэтому возникающие в глубине металла пузырьки пара магния формируются в результате растворения каждой из эвтектических областей в отдельности, причем из-за малого количества магния в каждой из областей образующиеся пузырьки будут иметь малые размеры и большую площадь поверхности раздела с обрабатываемым металлом, что приводит к относительно спокойному протеканию процесса при высокой его эффективности. При этом за счет того, что на протекание этих химических реакций расходуется определенное количество тепла, время расплавления оболочки проволоки увеличивается, что дает ей возможность погружаться на большую глубину и реакцией взаимодействия магния с расплавом будет охвачен максимальный объем металла в ковше. Кроме того, совместное действие кремния и углерода как графитизирующих элементов положительно влияет на структуру металла.

Вывод

Таким образом, разработанная технология обеспечивает стабильное содержание остаточного магния более 0,025 % на протяжении всего цикла отливки труб, позволяет значительно увеличить эффективность использования магния, существенно снизить затраты на модифицирование, при этом трубы соответствуют всем нормативным требованиям по микроструктуре и механическим свойствам.



ЛИТЕРАТУРА

1. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Современная технология производства стали. – М.: Теплотехник, 2007. – 528 с.
2. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Производство стали. Т. 2 // Внепечная обработка жидкого чугуна. – М.: Теплотехник, 2008. – 400 с.
3. Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А., Фещенко С. А., Минченков А. В. Внепечная обработка чугуна порошковыми проволоками // Тр. IX конгресса сталеплавильщиков. – М.: ОАО «Черметинформация». – 2007. – С. 567-571.
4. Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А., Фещенко С. А., Минченков А. В. Модифицирование чугуна порошковой магниесодержащей проволокой // Металл и литье Украины. – 2006. – № 6. – С. 11-14.
5. Кисиленко В. В., Дюдкин Д. А., Фещенко С. А. и др. Технология модифицирования чугуна при отливке труб // Чер. металлургия: Бюл. научно-технической и экономической информации – 2006. – Вып. 2. – С. 51-54.
6. Зборщик А. М., Кисиленко В. В., Маринцев С. Н. Исследование механизма реакций при десульфурации чугуна лигатурами ФСМГ // Сталь. – 1998. – № 9. – С. 13-16.

УДК 621.375.826

А. П. Шатрава (ФТИМС)

Разработка покрытий, полученных под действием лазерного излучения для повышения стойкости подшипника упорного двигателя внутреннего сгорания

В последнее время все больше исследователей уделяет внимание вопросам получения износостойких композиционных наплавленных покрытий с помощью лазерного излучения [1-3]. Исследователи [4] получали композиционные покрытия методом лазерного легирования сталей и

Разработана и опробована технология нанесения антифрикционных износостойких покрытий с помощью лазерного излучения на рабочие поверхности подшипника упорного системы турбо наддува двигателя внутреннего сгорания

сплавов. Установлено, что лазерное легирование позволяет создать в поверхностных слоях основы