

П. А. Плохих, канд. техн. наук, доцент

О. В. Носоченко, д-р техн. наук, проф.

Ю. В. Хавалиц, мастер пр-го обучения, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com

П. А. Плохих, магистр

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь

Проведение и исследование процесса совместной обработки стали инертным газом и химически активными элементами с использованием новых дутьевых устройств и трайб-аппаратов. Сообщение II

Целью настоящей работы является испытание совместной схемы обработки стали инертным газом и химически активными элементами с использованием новых дутьевых устройств и трайб-аппаратов применительно к условиям производства непрерывнолитой стали в конвертерном цехе МК «Азовсталь» с применением агрегата комплексной обработки стали непрерывной разливки (АКОС НР).

Ключевые слова: трайб-аппарат, сталь, аргон, фурма, МНЛЗ, рафинировочная камера, АКОС НР, инертный газ, промковш.

Материал и методика проведения исследований. Материалом исследований служили промышленные плавки стали марок З сп, 09Г2С, 17Г1СУ, 13Г1СУ, 10ХСНД, Е40, 10Г2БТ, АК-25, которые выплавляли в 350-тонных конвертерах по действующей технологической инструкции. Внепечную обработку и непрерывную разливку осуществляли также в соответствии с требованиями действующих технологических инструкций.

Пробы металла на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) отбирали одновременно из двух ручьев в виде поперечных темплетов и пальчиковых проб. Более подробно методика отбора проб описана в работе [1]. На МНЛЗ рафинированию аргоном подвергался металл только одного ручья, а сопоставление эффективности продувки с базовой технологией оценивали по степени удаления водорода и кислорода, снижению содержания неметаллических включений, изменению механических свойств готового проката. Прокатку металла опытных плавков осуществляли по ручьям и производили сопоставление механических свойств металла, отлитого с применением внешних средств контроля (ВСК) – продувки аргоном и без нее.

Пробы металла для определения содержания водорода отбирали из ложки или из кристаллизатора МНЛЗ кварцевыми трубками с последующей закалкой в воде и хранением в жидком азоте.

Содержание водорода в пробах определяли методом вакуум-нагрева на установках Баталина или плавлением на специализированном приборе фирмы «Бальцерс».

Содержание кислорода и азота анализировали на экскалографе ЕА-1 фирмы «Бальцерс» с использованием печи и хроматографического анализа, а также на газоанализаторе фирмы «Лесо».

Продувку стали аргоном в промежуточном ковше МНЛЗ осуществляли через стенку ковша (черт. № 293.00СВ).

Ввод порошковой проволоки осуществляли в промковш (обычной конструкции) в зону падающей струи или в зону стопора, а также в секционный промковш и приемную секцию с помощью трайб-аппарата.

Оценка эффективности ввода порошковой проволоки в промковш МНЛЗ проводилась при ее вводе в один из ручьев машины, другой ручей был сравнительным.

От слэбов каждой плавки отбирали поперечные макротемплеты, на которых методами снятия серных отпечатков и горячего травления исследовали осевую неоднородность и макроструктуру. Прокатку металла опытных слэбов осуществляли на стане «3600» МК «Азовсталь» или на стане «3000» ММК им. Ильича».

Эффективность обработки стали порошковыми проволоками с различными наполнителями оценивали на основании исследования проб, взятых как из жидкого металла, так и литого (вырезанного из поперечных темплетов) и катаного – из листов. Для исследования проб и образцов использовали оптическую и электронную металлографию, спектральный, химический и локальный микрорентгеноспектральный анализы. Количественную оценку содержания неметаллических включений в металле осуществляли по ГОСТ 1778-70 (метод «П»).

Механические испытания проводили в соответствии с ГОСТами: 1497-73 и 9454-78.

Отработка режимов ввода порошковой проволоки. Для ввода порошковой проволоки диаметром 8 мм использовали стационарный трайб-аппарат мощностью 2,5 кВт, состоящий из разматывающего и тянущего устройств.

Тянущее устройство представляет собой раму, на которой смонтированы: привод с ременной передачей; тянущий механизм с тремя парами тянущих и прижимных роликов (прижимной механизм позволяет регулировать усилия прижатия проволоки); фильеры для направленной подачи порошковой проволоки в металл.

Разматывающее устройство представляет собой отдельную раму с двумя роликами, на одном из которых установлен тормоз с электроуправлением. Кассета (барaban) с порошковой проволокой общей массой 500 кг устанавливается между роликами.

Трайб-аппарат имеет электропривод постоянного тока с терристорным управлением, что позволяет плавно регулировать скорость ввода порошковой проволоки от 0,0 до 5,0 м/сек.

При проведении работы применялась порошковая проволока диаметром 8 мм, оболочкой проволоки служила холоднокатаная лента толщиной 0,4 мм и шириной 45 мм из стали 08 кп. В качестве порошка-наполнителя использовали силикокальций марки СК-30, редкоземельные металлы марки ФС-30-РЗМ-30, алюминий. Фракция порошковых наполнителей составляла 1–2 мм.

Установлено, что порошковая проволока диаметром 8 мм содержит в одном погонном метре: 60 г – силикокальция; 40 г – алюминия; 100 г – РЗМ; 80 г – SiCa (50 %) + РЗМ (50 %); 55 г – SiCa (70 %) + Al (30 %).

Для ввода порошковой проволоки в промковш МНЛЗ применили трехсекционный промежуточный ковш, в котором устанавливались две перегородки с отверстиями в нижней части. Перегородки разделяли ковш на три секции: приемную (в центре ковша) и две разливочные. Ввод проволоки осуществляли как в приемную секцию, так и в разливочную.

Скорость ввода порошковой проволоки подбирали из следующих соображений:

- время расплавления стальной оболочки (2–3 с в зависимости от температуры металла и материала наполнителя);
- глубина жидкого металла в промежуточном ковше (800–1000 мм);
- необходимого содержания вводимого элемента в готовом металле.

В результате экспериментов установлено, что для исключения нарушения шлакового режима, всплы-

вания вводимой проволоки и пирозффекта скорость ввода порошковой проволоки должна составлять 0,15–1,0 м/с.

Технология ввода порошковой проволоки с силикокальцием. Ввод порошковой проволоки с силикокальцием осуществляли в зону одного из стопоров промежуточного ковша. Скорость ввода проволоки составляла 0,5 м/с, при этом массовый расход чистого силикокальция составил 0,3 кг/т.

Результаты обработки металла порошковой проволокой с силикокальцием приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что ввод порошковой проволоки в промежуточный ковш позволяет при стабильном ведении технологического процесса разлива обеспечить высокую (18–23 %) степень усвоения химически активных добавок (SiCa) при остаточном содержании Ca на уровне 0,003–0,004 % и снижении содержания серы на 0,001–0,002 %.

По данным ИПМ НАН Украины, содержание кальция в готовой стали 0,003–0,005 % приводит к модифицированию литой структуры металла и неметаллических включений, что в свою очередь обеспечивает улучшение механических свойств проката. Опытные плавки показали возможность получения необходимого стабильного остаточного содержания кальция с равномерным его распределением по длине сляба.

Технология ввода порошковой проволоки с алюминием. Корректировка содержания алюминия проводилась при разливе стали 17Г1СУ вводом в промежуточный ковш порошковой проволоки с гранулированным алюминием. Порошковую проволоку вводили в район одного из стопоров промежуточного ковша, являющегося аналогом рафинировочной емкости АКос НР, из расчета увеличения содержания алюминия в готовой стали на 0,1 %. Технологические параметры и результаты обработки, представленные в табл. 1, показывают, что процесс технологичен, позволяет проводить регулируемый ввод алюминия и при этом обеспечивает его высокую (63–74 %) степень усвоения. При этом неравномерности распределения алюминия по длине сляба не наблюдается.

Технология ввода порошковой проволоки с силикокальцием и алюминием. В процессе отработки технологии рафинирования стали осуществлен ввод порошковой проволоки, содержащей смесь силикокальция (70 %) и алюминия (30 %) в промежуточный ковш

Таблица 1

Технологические параметры и результаты ввода порошковой проволоки (ПП) в промежуточный ковш МНЛЗ применительно к АКос НР

Тип наполнителя ПП (расход кг/т)	Масса наполнителя, г/погонный метр	Скорость ввода ПП, м/мин	Содержание вводимых элементов, %		Степень усвоения, %	Снижение содержания S, %
			до ввода	после		
СК-30/0,58	60	30	следы	0,003–0,004	18–23	0,001–0,002
Al/0,32	40	25	0,008–0,012	0,017–0,025	63–74	–
СК – 30 (70 %) + Al (30 %) / Ca – 0,31; Al – 0,13	55	25	Ca – следы Al – 0,007–0,013	0,003–0,004 0,019–0,023	20–30 70–80	0,001–0,002 –

со скоростью 20–30 м/мин, в зависимости от требуемого увеличения содержания алюминия в стали.

Введение в металл порошковой проволоки, содержащей смесь SiCa + Al, обеспечивает (см. табл. 1) увеличение степени усвоения алюминия в среднем в 1,2–1,3 раза.

Исследование качества металла. В результате проведенных исследований установлено, что сталь, обработанная порошковой проволокой с силикокальцием, имеет остаточное содержание кальция 0,002–0,004 % и пониженное на 0,001–0,002 % в результате обработки содержание серы.

Серные отпечатки от поперечных темплетов опытных и сравнительных слябов выявили осевую ликвацию в центральной зоне по всей ширине сляба, кроме участков, прилегающих к боковым граням. Выявлены также осевая и точечная химические неоднородности, причем в металле с кальцием осевая ликвация выражена меньше. Глубокое травление в горячем 50%-ом растворе серной кислоты выявило в опытных слябах слабовыраженную осевую пористость и осевые трещины, в сравнительном – более сильную названную дефектность. Наряду с этим, металл с кальцием имеет развитую зону глобулярных и разориентированных дендритов при значительном уменьшении зоны столбчатых дендритов по сравнению с литым металлом без кальция.

Рассредоточение осевой ликвации и пористости обеспечило получение широкой зоны равноосных дендритов в опытных слябах с увеличением скорости кристаллизации металла под действием кальция на 10–15 % (скорость кристаллизации оценивали по плотности дендритной структуры, выявленной при помощи травителя Стода, согласно методике, разработанной ЦНИИчерметом и основанной на опре-

делении расстояния между осями дендритов первого и второго порядков). Изменение скорости кристаллизации, по-видимому, обусловлено тем, что кальций, являясь поверхностно активным элементом, адсорбируется на поверхности растущих ветвей дендритов, сдерживая их рост, стимулируя тем самым рост ветвей более высокого порядка и возникновение новых центров кристаллизации. Это приводит к дезориентированному росту дендритов и измельчению дендритной структуры.

Уточнение параметров технологии, применительно к АКОС НР. Результаты опытно-промышленных плавов и исследование качества литого и катанного металла позволили выдать уточненные технологические параметры рафинирования, модифицирования стали и корректировки содержания алюминия в процессе непрерывной разливки стали, применительно к АКОС НР.

В табл. 2 и 3 приведены уточненные режимы ввода порошковой проволоки с различными наполнителями в приемную секцию промежуточного ковша.

В металле с кальцием содержание крупных оксидных и сульфидных включений меньше на 15–20 %, чем в металле без кальция. Оставшиеся включения представляют собой мелкие глобулярные оксисульфиды кальция с равномерным распределением по объему металла и недеформируемые при прокатке. В металле с кальцием наблюдается уменьшение осевой структурной неоднородности на 1,0–1,5 балла и распределение структурных составляющих стали феррита и перлита, что указывает на снижение зоны ликвации углерода под действием кальция. Размер зерен как опытной, так и сравнительной стали оценивается 9–11 баллами. А структурная полосчатость – 4–5 баллами по всей толщине листа с

Таблица 2

Режимы ввода порошковой проволоки (ПП) с силикокальцием

Скорость разливки, м/мин	Скорость ввода ПП, м/мин	Расход, кг/мин	
		проволоки	силикокальция
0,6	31	5,61	1,87
0,7	36	6,48	2,16
0,8	42	7,56	2,52
0,9	47	8,43	2,81

Таблица 3

Режимы ввода порошковой проволоки (ПП) для повышения содержания алюминия в металле на 0,01 %

Скорость разливки, м/мин (т/мин)	Наполнитель	Скорость ввода ПП, м/мин	Расход ПП, кг/мин	Расход наполнителя, кг/мин
0,6 (2,6)	Al	18	2,96	0,72
0,7 (3,0)	Al	20	3,13	0,80
0,8 (3,5)	Al	24	3,96	0,96
0,9 (3,9)	Al	26	4,30	1,04
0,6 (2,6)	Ca (70%) + Al (30%)	40	7,20	2,20
0,7 (3,0)	Ca (70%) + Al (30%)	46	8,28	2,54
0,8 (3,5)	Ca (70%) + Al (30%)	56	10,08	3,08
0,9 (3,9)	Ca (70%) + Al (30%)	60	10,80	3,30

Примечание: сечение кристаллизатора 300–1850 мм; диаметр порошковой проволоки – 8,0 мм; расходы ПП приведены на оба ручья

усилением полосчатости в центральной зоне сравнительной стали.

Исследование микротрещин в зоне осевой неоднородности растровой микроскопией показало, что они зарождаются и распространяются, в основном, по включениям MnS и Ti(CN), либо на границе «осевая зона – основной металл». Основной тип включений на поверхности шлифов в районе ликвационной зоны – сульфиды марганца и редкие нитриды титана. На поверхности разрушения, прошедшего по осевой неоднородности, наряду с сульфидами марганца наблюдается значительное количество нитридов и карбонитридов титана, что указывает на их ответственность за процесс образования микротрещин. В изломе, прошедшем по осевой зоне стали, обработанной порошковой проволокой с кальцием, тип включений остается тот же MnS и Ti(CN), однако, их размеры и количество существенно меньше. Наряду с ними присутствуют включения, близкие по форме к глобулярным, в составе которых обнаружены Ca, S, O, либо Ca, S, Al, O.

Оценка уровня механических свойств стали приведена в табл. 4, из которой следует, что металл, обработанный кальцийсодержащей порошковой проволокой, имеет несколько лучшие механические свойства, особенно ударную вязкость.

Выводы

Отработаны и выданы уточненные режимы ввода порошковой проволоки, содержащей силикокальций, алюминий и их смеси.

Обработка металла порошковой проволокой в приемной секции трехсекционного промежуточного ковша обеспечивает равномерное распределение вводимых элементов по ручьям МНЛЗ.

Обработка металла в проковше кальцийсодержащей проволокой улучшает макро- и микроструктуру непрерывнолитого металла, снижает загрязненность стали неметаллическими включениями, повышает механические свойства готовой стали (особенно ударной вязкости на 15–32 %).

Ввод химически активных элементов при помощи порошковой проволоки повышает их усвоение, в частности Ca – до 30 %, Al – до 70 %.

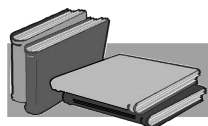
Разработанная технология может эффективно использоваться как в составе АКOC HP, так и самостоятельно при производстве качественных непрерывнолитых сталей.

Опыт использования беззамковой порошковой проволоки в условиях МК «Азовсталь» показал, что она не всегда обеспечивает надежное сохранение порошковых наполнителей (раскрытие стальной оболочки, невозможность использования статического разматывателя, пироэффекты, из-за просыпания порошков на поверхность металла и пр.). В этой связи целесообразно развивать данное направление обработки стали с использованием замковой порошковой проволоки.

Таблица 4

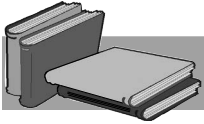
Сравнение механических свойств стали, обработанной порошковой проволокой (1) и не обработанной (2)

Марка стали	Тип технологии	Толщина проката, мм	σ_b , МПа	σ_T , МПа	%	Ударная вязкость, МДж/м ²			
						KCV ₀	KCU ₋₄₀	KCV ₋₁₅	KCU ₋₆₀
17Г1СУ	1	16	545	395	29	0,78	0,79	–	–
	2	16	535	383	28	0,53	0,60	–	–
17Г1СУ	1	10	510	370	36	0,65	0,70	–	–
	2	10	505	360	34	0,55	0,50	–	–
09Г2БТ	1	16,5	590	505	24	–	–	1,61	1,78
	2	16,5	578	499	22	–	–	1,12	1,25
09Г2БТ	1	16,8	595	500	24	–	–	1,58	1,70
	2	16,8	580	485	23	–	–	1,10	1,30



ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет о НИР № 01880047879. Интенсифицировать внепечную обработку стали за счет применения фурм с оптимальными газодинамическими параметрами. – Москва, 1989.
2. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. – М.: Metallurgia, 1973. – С. 249.
3. Тэн Э. Б. Рафинирование металлургических расплавов фильтрованием: Бюл.: НТИ // Черная металлургия. – 1991. – № 3 (1103). – С. 63–65



REFERENCES

1. Otchet o NIR no. 01880047879. Intensifitsirovat' vnepechnuiu obrabotku stali za schet primeneniia furn s optimal'nymi gazodinamicheskimi parametrami [*Intensify the out-of-furnace treatment of steel by using tuyeres with optimal gas-dynamic parameters*]. Moscow, 1989. [in Russian].
2. Kniuppel G. (1973). Raskislenie i vakuumnaia obrabotka stali [*Deoxidation and vacuum treatment of steel*]. Moscow: Metallurgiya, P. 249 [in Russian].
3. Ten E. B. (1991). Rafinirovanie metallurgicheskikh rasplavov fil'trovaniem: Biul.: NTI [*Refining of metallurgical melts by filtration: Bull.: NTI*]. Chernaia metallurgiya, no. 3 (1103), pp. 63–65 [in Russian].

Анотація

Плохих П. А., Носоченко О. В., Хавалиць Ю. В., Плохих П. А.

Проведення та дослідження процесу спільної обробки сталі інертним газом і хімічно активними елементами з використанням нових дуттєвих пристроїв і трайб-апаратів. Повідомлення II

Метою цієї роботи є випробування спільної схеми обробки сталі інертним газом і хімічно активними елементами з використанням нових дуттєвих пристроїв і трайб-апаратів з урахуванням умов виробництва безперервної сталі в конвертерному цеху МК «Азовсталь» із застосуванням агрегату комплексної обробки сталі безперервної розливки (АКОС БР).

Ключові слова

Трайб-апарат, сталь, аргон, фурма, МНЛЗ, рафінувальна камера, АКОС БР, інертний газ, промківш.

Summary

Plokhikh P., Nosochenko O., Khavalits Yu., Plokhikh P.

Conduct and research of the process of joint treatment of steel with inert gas and chemically active elements using new blowing devices and pinch rolls. Message II

The purpose of this work is to test a joint scheme for the processing of steel by inert gas and chemically active elements using new blowing devices and pinch rolls taking into account the conditions of the production of continuous steel in the converter shop of Azovstal Iron & Steel Works with the use of the aggregate of complex processing of steel at continuous casting (ACPS CC).

Keywords

Pinch roll, steel, argon, lance, CCM, refining chamber, ACPS CC, inert gas, tundish.

Поступила 07.10.17