

С. Н. Писарский¹, инженер машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)

А. Н. Смирнов², д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., e-mail: stalevoz@i.ua

Д. А. Лавренко¹, ст. мастер машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)

Д. В. Рябый³, аспирант

¹Standart Metallurgical Company, Лагос, Нигерия

²Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

³Донбасский государственный технический университет, Лисичанск, Украина

Оценка технологических возможностей стабилизации скорости разливки открытой струей на современной сортовой машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Сообщение 2

Представлены факты из практики разливки стали открытой струей на сортовых машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и результаты промышленных исследований по проблеме разливаемости. Показано, что они хорошо согласуются с результатами выполненного теоретического анализа (Сообщение 1, «Металл и литье Украины» № 3–4, 2018). Обоснованы технологические возможности, в том числе оперативные, по стабилизации скорости разливки для рассмотренных условий.

Ключевые слова: сортовая машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), разливаемость, активность кислорода в стали, алюминий, кальций, трансформация продуктов раскисления, футеровка ковшей, шлак.

В качестве причин нарушения скоростной стабильности процесса литья и возникновения в непрерывнолитой сортовой заготовке поверхностных и подповерхностных дефектов можно принять такие факторы, как химический состав разливаемой стали, включая содержание в ней примесей и растворенных газов, а также состав и содержание в ней продуктов раскисления, которые через фактические значения поверхностного натяжения и вязкости разливаемой стали во многом определяют условия ее истечения из проковша (Сообщение 1).

Рассмотрим некоторые известные из практики разливки стали открытой струей на сортовых МНЛЗ факты и их объяснения, с учетом положений выполненного теоретического анализа (Сообщение 1) и результатов некоторых исследований, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемой проблеме.

Существование ярко выраженной зависимости скорости разливки от активности кислорода $a[O]$ в стали, измеренной в проковше с использованием датчиков Celox фирмы Heraeus Electro-Nite, показано в работе [1]. В ходе исследований на влияния различных технологических факторов и в первую очередь режима раскисления и модифицирования стали на скоростную стабильность разливки открытой струей была установлена зависимость скорости разливки V от величины $a[O]$. Для стали марки Ст 3 она имеет вид:

$$V = 0,0385 a[O] + 2,0$$

(коэффициент корреляции $R = 0,59$).

При этом использовались стаканы-дозаторы с внутренним диаметром $d = 18$ мм, масса металла в проковше по отобранному массиву плавок составляла $(25,0 \pm 0,5)$ т, перегрев стали над температурой «ликвидус» – $(20–30)$ °С.

Контроль $a[O]$ для исследуемых плавок производился также в процессе выплавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) и внепечной обработки на установке ковш-печь с отбором дополнительных проб из проковша (металла, шлака, футеровки). Измеренные значения $a[O]$ на ДСП составили $(410–1087)$ ppm, на ковш-печи в начале обработки – $(2–100)$ ppm, в конце обработки – $(2–18)$ ppm, в проковше – $(14–26)$ ppm.

Анализ содержания FeO и MnO в шлаке проковша по ходу разливки серии плавок для различных вариантов раскисления стали показал, что среднее содержание FeO в шлаке из проковша составляло $(2–7)$ %, MnO – $(8–24)$ %. Предполагаемого роста окисленности шлака и, соответственно, увеличения суммарного содержания FeO и MnO в шлаке по ходу серийной разливки не наблюдалось. Минимальное содержание FeO и MnO в ковшевом шлаке отмечено на серии плавок с использованием защитной трубы между сталеразливочным ковшом и проковшом – соответственно $(2–3)$ % и $(5–8)$ %.

Для сталей с различным содержанием углерода, разливаемых открытой струей, при содержании общего алюминия в стали $[Al]_{\text{общ.}} = (0,002–0,005)$ %, авторами настоящей статьи были установлены

Таблица 1

Оптимальные значения $a[O]$ для разливки стали открытой струей (замеры в проковше)

Марка стали	SAE 1006/1008	Ст 3	Ст 5
[C], %	Max 0,08/0,10	0,14–0,22/ср. 0,18	0,28–0,37/ср. 0,33
$a[O]$, ppm	30–35	22–24	17–18

оптимальные значения $a[O]$, обеспечивающие удовлетворительную разливаемость и качество заготовок по подкорковым пузырькам (табл. 1). При уменьшении значений $a[O]$ ниже оптимальных наблюдается устойчивое снижение скорости разливки вследствие снижения жидкотекучести металла. В случае их заметного превышения в макроструктуре заготовок могут наблюдаться подкорковые пузыри.

Было также установлено, что поддержание величины $a[O]$ и температуры стали в промковше на оптимальном уровне значений не гарантирует стабильности разливки. На ММЗ «ИСТИЛ (Украина)» были выполнены исследования причин этого явления. По двум плавкам стали Ст 5, где из-за потерь 2–3 ручьев вследствие затягивания вынужденно прерывали серийную разливку, в качестве исследовательских проб был использован застывший в каналах стаканов-дозаторов металл («корни») с закрытых из-за затягивания струи ручьев. При этом на одной из указанных плавков в качестве контрольной пробы был взят «корень» с ручья, закрытого по причине микропрорыва под кристаллизатором за 20 мин до ухудшения разливаемости. Каналы стаканов-дозаторов всех ручьев не имели отложений неметаллических включений (НВ), то есть затягивание струи было вызвано только снижением жидкотекучести стали.

Выполненные сравнительные металлографические исследования загрязненности металла НВ показали, что НВ имели эндогенный характер и были представлены сульфидами, оксисульфидами с различным соотношением сульфидной и оксидной составляющей, силикатами однофазными, силикатами сложного состава с выделениями избыточной фазы и оксидами (табл. 2, рис. 1).

В металле «корней» от ручьев с затягиванием струи преобладали сложные (многофазные) окисные НВ, которые по металлографическим признакам были отнесены к тугоплавким оксидам. Их глобулярная морфология указывала на то, что они образовались в результате трансформации первичных жидких продуктов раскисления. Металл «корня» от ручья, закрытого без затягивания струи, оказался наиболее чистым по силикатам и оксидам – их содержание было в 2–4 раза ниже, чем в металле остальных «корней».

Аналогичные результаты были получены и в ходе исследований причин ухудшения разливаемости стали Ст 3 открытой струей, обусловленной образованием отложений НВ в стаканах-дозаторах [2]. В частности, было установлено, что в металле плавков, разлитых с затягиванием струи, суммарное содержание Al_2O_3 в продуктах раскисления стали было почти в 2 раза выше, чем для плавков без затягивания – соответственно, 0,0068 против 0,0038 %. Как было показано (Сообщение 1), присутствие в стали твердофазных продуктов раскисления снижает ее жидкотекучесть. Поскольку Al_2O_3 составляет основу отложений НВ, то, очевидно, что повышение содержания Al в стали создает для этого процесса благоприятные условия.

На присутствие в стали кристаллических Al_2O_3 -содержащих НВ шпинельного типа и снижение степени окисленности стали, как главные причины образования отложений НВ в стаканах-дозаторах промковша, указывается и в докладе фирмы Hergaeus Electro-Nite [3]. При этом можно отметить, в отличие от контроля $a[O]$ в промковше, экспресс-контроль содержащихся НВ в стали в промышленных масштабах не применяется.

Таблица 2

Виды, размер и количество НВ в металле «корней»

Номер плавки	Ручей	Виды НВ				Общее удельное кол-во силикатов и оксидов, шт/см ²
		Размер (мм) / удельное количество НВ по видам (шт/см ²)				
		сульфиды	оксисульфиды	силикаты	оксиды	
21061	1*	0,008 – 0,025 71	0,006 – 0,009 27	0,002 – 0,006 48	0,002 – 0,012 62	110
	4*	0,008 – 0,017 44	0,006 – 0,013 33	0,002 – 0,015 127	0,002 – 0,010 35	162
21035	1*	0,003 – 0,017 43	до 0,013 10	0,006 – 0,031 64	0,003 – 0,013 18	82
	3*	0,003 – 0,020 41	до 0,013 12	0,006 – 0,028 109	0,003 – 0,013 29	138
	5**	0,003 – 0,015 57	до 0,006 21	до 0,025 24	0,002 – 0,007 16	40

* – ручьи с затягиванием струи; ** – ручей без затягивания струи

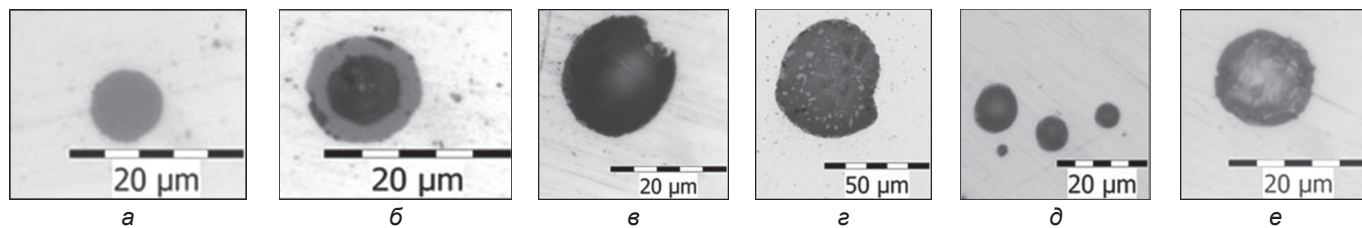


Рис. 1. НВ в пробах металла «корней» в дозаторах: а – сульфид, × 1600; б – оксисульфид, × 1600; в – силикат, × 1000; г – сложный силикат × 500; д – оксиды, × 1600; е – окисные НВ сложного состава, × 1600

Таблица 3

Максимально допустимое содержание кислото-растворимого алюминия в стали, разливаемой открытой струей

Диаметр канала стакана-дозатора, мм	15	16	17	18	19	20
$Al_{sol\ max}^*$ ppm	32	36	40	44	48	53

Таблица 4

Состав отложений НВ в стакане-дозаторе промковша

Массовая доля компонентов, %							
Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	$Fe_{общ}$	ΣFeO	MnO	C
46,9	20,6	5,9	0,9	7,2	10,0	8,4	0,63

По результатам промышленных исследований на ММЗ «ИСТИЛ (Украина)» факторов, влияющих на разливаемость стали, по массиву данных из 212 проб было установлено, что в среднем соотношение кислоторастворимого (металлического) и оксидного алюминия в пробе на общий алюминий в стали составляло соответственно 60 и 40 %. Можно предположить, что для принятой на конкретном предприятии технологии производства стали, указанное соотношение является относительно стабильной величиной, и с ростом содержания в стали металлического алюминия количество оксидного алюминия в ней также увеличивается. Фирма Heraeus ElectroNite, основываясь на многолетнем опыте использования датчиков Celox, в методических материалах по их использованию рекомендует для исключения образования отложений НВ в стаканах-дозаторах ограничить содержание металлического алюминия в стали, разливаемой открытой струей, значениями, определяемыми из формулы:

$$\log (Al_{sol})_{max} = - 1, 25 + 1,74 \log D,$$

где D – внутренний диаметр стакана-дозатора, мм; Al_{sol} – содержание в стали кислоторастворимого алюминия, ppm.

Результаты расчета по приведенной формуле для стаканов-дозаторов диаметром 15–20 мм представлены в табл. 3.

По мере роста загрязненности стали твердофазными Al_2O_3 -содержащими НВ главной причиной ухудшения ее разливаемости становится не жидкотекучесть, а образование отложений НВ в стаканах-дозаторах. При этом роль вязкости в формировании таких отложений становится приоритетной. Выполненные авторами на Енакиевском металлургическом заводе (ЕМЗ), где установлены две современные высокопроизводительные 6-ручьевые сортовые МНЛЗ, исследования технологических факторов, влияющих на разливаемость стали, показали, что среднее содержание фосфора на плавках, где происходило затягивание струи из-за отложений НВ в стаканах-дозаторах (рис. 2) составляло $[P] = 0,028 \%$, а на плавках без затягивания – $[P] = 0,013 \%$. При этом сравнивались плавки одного и того же марочного сортамента, которые были произведены в один и тот период по одинаковой технологии.

С учетом заметного снижения вязкости железа с ростом содержания в нем фосфора, а также известной зависимости коэффициента молекулярной диффузии D от вязкости ν стали $D \cdot \nu \approx const$, можно сделать вывод, что лимитирующим звеном в процессе формирования отложений НВ в стакане-дозаторе являются процессы молекулярного переноса вещества в ламинарном диффузионном пограничном слое на межфазной границе «сталь – огнеупор стакана-дозатора».

Результаты химического анализа компонентного состава отложений НВ в стаканах-дозаторах для отмагниченных проб, выполненного на ММЗ «ИСТИЛ (Украина)», подтверждают, что основным компонентом в составе таких отложений является оксид алюминия (табл. 4).

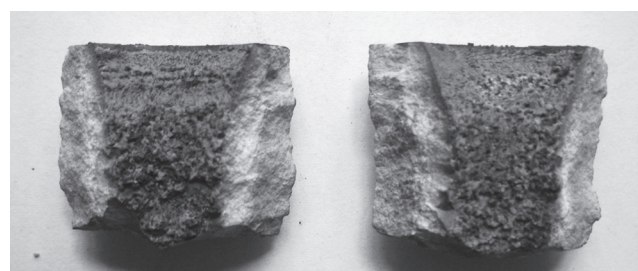


Рис. 2. Отложения НВ в канале сменного стакана-дозатора промковша

Типичным явлением при разливке стали открытой струей является подтягивание струи металла на первых плавках серии. При этом для условий ММЗ «ИСТИЛ (Украина)», где использовались сталеразливочные ковши с наливной футеровкой на основе Al_2O_3 , подтягивание наблюдалось только на первых 2–3 плавках серии. А для условий ЕМЗ, где сталеразливочные ковши футеруются периклазоуглеродистыми блоками, подтягивание отмечалось на первых 5–6 плавках серии. При использовании сталеразливочных ковшей с новой футеровкой или с футеровкой, контактировавшей на предшествующей плавке с раскисленной алюминием сталью (при чередовании в графике производства плавков с раскислением алюминием и кремнием), а также при наличии в таком сталеразливочном ковше остатков металла и шлака с предыдущей плавки, вероятность ухудшения разливаемости плавков дополнительно возрастает.

Незначительное снижение скорости разливки наблюдается при выполнении стандартной операции скачивания накопленного в промковше шлака, выполняемой при серийности более 30-ти плавков. Скачивание шлака сопровождается максимально возможным подъемом уровня металла в промковше и контактированием его с нешлакованной верхней зоной футеровки, имеющей рабочее торкрет-покрытие на основе MgO.

К снижению скорости разливки приводит и использование на участке «сталеразливочный ковш-промковш» защитных труб, сопровождающееся уменьшением величины $a[O]$ в промковше на 5–6 ppm.

Повышение степени окисленности стали в промковше путем «мягкого» обдува кислородом струи

металла на участке «сталеразливочный ковш – промковш» или специальных присадок в промковш окалины является широко распространенным технологическим приемом [4]. Эти меры оперативного характера обеспечивают восстановление скорости разливки. При этом в случае, если причиной ухудшения разливаемости является снижение жидкотекучести стали, то восстановление скорости происходит практически сразу после корректировки окисленности стали. Если же причиной ухудшения разливаемости является образование отложений НВ в стаканах-дозаторах, то восстановление скорости разливки происходит с задержкой в 10–15 мин – по мере растворения этих отложений.

Представленные факты из практики разливки стали открытой струей на сортовых МНЛЗ, а также результаты промышленных исследований причин затягивания, хорошо согласуются с представленными (Сообщение 1) основными положениями и закономерностями, связанными с разливаемостью стали для указанных условий. Разливаемость стали в наибольшей степени определяется содержанием в ней растворенного кислорода и твердофазных продуктов раскисления стали. При этом следует учитывать, что равновесное содержание растворенного в стали кислорода во многом зависит от материала футеровки ковшей. В результате взаимодействия высокоосновной футеровки на основе MgO с металлом происходит снижение $a[O]$ в нем, а в огнеупоре формируется плотный приповерхностный слой, обогащенный по данным рентгеноструктурного анализа оксидом железа FeO без наличия в нем алюминия [5]. При этом окислительный потенциал футеровки значительно увеличивается. Огнеупорная футеровка на основе MgO по сравнению с футеровками на основе Al_2O_3 и SiO_2 обеспечивает наиболее низкую величину $a[O]$ в стали (при равном содержании в ней элементов-раскислителей). После контакта такой футеровки со сталью, имеющей низкую окисленность, происходит обратное восстановление FeO из футеровки в металл, обуславливающее его вторичное окисление и снижение окислительного потенциала футеровки. Таким образом, окислительный потенциал футеровки может определяться не только составом огнеупорного материала, но и количеством легко восстанавливаемых оксидов железа и/или марганца, накопленных в ней в процессе взаимодействия с недостаточно нераскисленным металлом.

Периклазовый огнеупорный слой, находящийся длительное время в контакте с нераскисленной сталью, по этой причине может по своей способности к вторичному окислению сравняться с кислой футеровкой. Эти закономерности объясняют влияние футеровки не только сталеразливочного ковша, но и промковша, имеющего рабочее торкрет-покрытие из огнеупорной массы на основе MgO.

Влияние ковшевого шлака на равновесное значение $a[O]$ аналогично влиянию футеровки – с увеличением содержания CaO (в меньшей степени MgO) в шлаке снижается термодинамическая активность содержащихся в нем оксидов FeO и MnO и, как следствие, снижается интенсивность окисления

стали через шлак и уменьшается активность кислорода $a[O]$ в ней [6].

Причинами снижения окисленности стали при разливке открытой струей, помимо факторов, связанных с футеровкой ковшей, также могут быть различные технологические факторы, в том числе: дополнительное раскисление шлака в сталковше алюминием и повышение его основности для интенсификации процесса десульфурации стали, неоптимальные расход или режим ввода Ca-содержащей порошковой проволоки, широко используемой для обработки ряда марок стали.

Снижение величины $a[O]$ приводит к росту поверхностного натяжения расплава, имеющего приоритетное влияние на жидкотекучесть, а также его вязкости. При этом скорость разливки для рассматриваемых условий снижается. При оперативной корректировке содержания в стали растворенного кислорода за счет обдува струи металла на участке «сталеразливочный ковш-промковш» кислородом или дозированной присадки в промковш окалины имеет место обратная картина.

Изменение концентраций раскислителя и кислорода в стали в процессе производства является также причиной трансформации продуктов раскисления по известному механизму. Например, для продуктов системы FeO- Al_2O_3 трансформация жидких глобулярных включений в твердофазные глобулярные происходит при попадании первичных жидких включений в зоны с более высокой концентрацией раскислителя, где железо в составе включений замещается алюминием. Диффузионный характер переноса раскислителя по сечению обогащенного FeO включения, а также зависимость скорости такого переноса от агрегатного состояния среды, обуславливает такие особенности, как затвердевание меняющегося состава включений, начиная с поверхностных слоев, и неравномерный их состав по сечению (с обогащением поверхностных и обеднением внутренних слоев на содержание Al_2O_3). При этом начало затвердевания поверхностных слоев фиксирует размер и форму трансформирующихся жидких глобулярных включений системы FeO- Al_2O_3 .

Трансформации фазового состава и агрегатного состояния продуктов раскисления могут происходить и в обратном направлении, обеспечивая при повышении $a[O]$ в стали постепенное (начиная с поверхности) превращение твердофазных продуктов в жидкие. Именно обратной трансформацией твердофазных НВ, образующих отложения в стаканах-дозаторах промковша, может быть, по мнению авторов статьи, объяснено постепенное растворение отложений НВ базовой системы FeO- Al_2O_3 в стаканах-дозаторах и восстановление скорости разливки при повышении величины $a[O]$.

В этой связи представляет практический интерес вопрос о соотношении скоростей трансформации НВ системы FeO- Al_2O_3 в прямом и обратном направлениях. Поскольку скорость диффузии ионов алюминия через герцинит FeO- Al_2O_3 превышает скорость диффузии ионов Fe в Al_2O_3 , то скорость прямой трансформации жидких алюминатов железа в твердофазные выше, чем скорость обратной

трансформации твердофазных включений в гетерофазные и жидкие. Так, трансформация жидких глобулярных НВ системы $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$ с содержанием Al_2O_3 до $\approx 30\%$ в твердофазные с содержанием Al_2O_3 до $50\text{--}60\%$ происходит в течение от нескольких до 120 секунд после начала раскисления стали алюминием.

Представленные данные по скорости прямой и обратной трансформации продуктов раскисления системы $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$ позволяют, таким образом, объяснить причину быстрого снижения скорости разливки при понижении активности кислорода $a[\text{O}]$ и наблюдаемой временной задержки в 15–20 мин с момента повышения величины $a[\text{O}]$ до восстановления скорости разливки в случае, если причиной ее снижения были отложения НВ в стаканах-дозаторах. Указанные закономерности трансформации включений справедливы и в отношении других оксидных систем, характерных для разливки открытой струей, например, $\text{FeO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$.

Для практики разливки стали на сортовых МНЛЗ определенный интерес представляет понимание роли кальция, который широко используется в качестве модификатора при производстве низкокремнистых марок стали. Влияние кальция на жидкотекучесть стали может иметь двойственный характер. С одной стороны, кальций, как поверхностно активный элемент и модификатор в стали, повышает ее жидкотекучесть. С другой стороны, кальций, как сильный раскислитель, снижает $a[\text{O}]$ в стали и, как следствие, — ее жидкотекучесть. Химическое сродство кальция к кислороду намного выше, чем алюминия, поэтому ввод в сталь Са-содержащей порошковой проволоки приводит не только к замещению им железа, марганца и кремния, но частично и алюминия в образовавшихся ранее НВ и имеющих в своем составе оксиды FeO , MnO , SiO_2 , Al_2O_3 , но также и к замещению алюминия и магния в соответствующих оксидах огнеупоров футеровки сталеразливочного ковша. По этой причине при повышении содержания кальция в стали наблюдается повышенный износ огнеупоров и загрязнение металла MgO -содержащими шпинельными включениями, которые в незначительных количествах (1–2 %) наблюдаются и в составе отложений НВ в стаканах-дозаторах. При неоптимальном соотношении Al_2O_3 и CaO образующиеся алюминаты кальция и шпинели системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ имеют температуры плавления, превышающие температуры разливки. Одновременное снижение $a[\text{O}]$ и рост содержания таких кристаллических оксидов в стали способствуют ухудшению разливаемости как из-за

снижения жидкотекучести стали, так и из-за образования отложений НВ в стаканах-дозаторах.

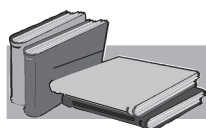
Поскольку с ростом содержания твердофазных оксидов в стали ее разливаемость ухудшается, то, учитывая тот факт, что удаление таких оксидов может быть обеспечено только в результате перемешивания расплава в сталеразливочном ковше, становится очевидной необходимость строгого соблюдения установленного технологического регламента продувки металла аргоном перед отдачей плавки на МНЛЗ как в отношении интенсивности, так и в отношении длительности. Его несоблюдение, как показывает практика, достаточно часто становится причиной ухудшения разливаемости стали.

Выводы

Представленные факты из практики разливки стали открытой струей на сортовых МНЛЗ, а также результаты промышленных исследований причин затягивания, хорошо согласуются с представленными (Сообщение 1) основными положениями и закономерностями по разливаемости стали для рассмотренных условий. В частности, скорость разливки в наибольшей степени зависит от содержания в ней растворенного кислорода и твердофазных продуктов раскисления стали.

Оперативное повышение уровня активности $a[\text{O}]$ в стали достигается путем контролируемого обдува струи на участке «сталеразливочный ковш – промковш» кислородом или дозированной присадки в промковш окислителя. Это обеспечивает как повышение жидкотекучести стали, так и растворения отложений НВ в стаканах-дозаторах. Трансформация присутствующих в стали и в составе отложений в стаканах-дозаторах твердофазных НВ базовой системы $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$ в жидкие обеспечивает одновременно и улучшение ее жидкотекучести и постепенное, по мере изменения агрегатного состояния, удаление НВ с поверхности стакана-дозатора, обеспечивая восстановление номинальной скорости разливки.

Учитывая негативное влияние на жидкотекучесть стали содержащихся в ней твердофазных оксидов, а также то обстоятельство, что их удаление обеспечивается только в результате продувки металла аргоном, необходимость строгого соблюдения установленного технологического регламента продувки металла аргоном перед отдачей плавки на МНЛЗ представляется обязательным условием стабилизации скорости разливки на сортовой МНЛЗ.

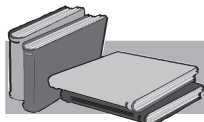


ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические факторы стабилизации скорости беспопорной разливки на сортовой МНЛЗ / Г. И. Касьян, С. Н. Писарский, А. В. Кодак и др. // Металл и литье Украины. – 2010. – № 9–10. – С. 40–44.
2. Взаимодействие металла с разливочными стаканами промежуточных ковшей в условиях непрерывной разливки стали / В. П. Шевченко, А. М. Кондратюк, В. Г. Осипов и др. // В сб. «Проблемы стального слитка». – М.: Металлургия, 1969. – С. 506–508.
3. *Glitscher W.* Successful continuous billet casting through oxygen control in mixed operations // SEAIQI Quarterly Journal. – 2001. – Vol. 30. – № 2. – С. 26–33.

4. Освоение технологии непрерывной разливки стали на сортовых МНЛЗ / А. Г. Левада, Д. Н. Макаров, В. И. Антонов и др. // Сталь. – 2008. – № 3. – С. 34–36.
5. Влияние футеровки на окисленность металлического расплава / А. Н. Ромашкин, А. В. Дуб, Т. В. Морозова и др. // Электromеталлургия. – 2008. – № 12. – С. 23–33.
6. Модели управления процессами ковшовой обработки стали / Е. Х. Шахпазов, А. И. Зайцев, Н. Г. Шапошников и др. // Metallurg. – 2008. – № 6. – С. 30–35.

Поступила 19.03.2018



REFERENCES

1. Kas'ian, G.I., Pisarskii, S.N., Kodak, A.V. et al. (2010). Technological factors of the casting speed stabilization on billet CCM by open jet [Tekhnologicheskie faktory stabilizatsii skorosti besstopornoj razlivki na sortovoi MNLZ]. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 9–10, pp. 40–44 [in Russian].
2. Shevchenko, V.P., Kondratiuk, A.M., Osipov, V.G. et al. (1969). Interaction of metal with nozzles of tundish in conditions of the steel continuous casting [Vzaimodeistvie metalla s razlivochnymi stakanami promezhutochnykh kovshei v usloviakh nepreryvnoi razlivki stali]. V sb. "Problemy stal'nogo slitka", Moscow: Metallurgiya, pp. 506–508 [in Russian].
3. Glitscher, W. (2001). Successful continuous billet casting through oxygen control in mixed operations. *SEAI Quarterly Journal*, Vol. 30, no. 2, pp. 26–33 [in English].
4. Levada, A.G., Makarov, D.N., Antonov, V.I. et al. (2008). Mastering the technology of the steel continuous casting on the billet CCM [Osvoenie tekhnologii nepreryvnoi razlivki stali na sortovykh MNLZ]. *Stal'*, no. 3, pp. 34–36 [in Russian].
5. Romashkin, A.N., Dub, A.V., Morozova, T.V. et al. (2008). Effect of lining on oxidation of the metal melt [Vliianie futerovki na okislennost' metallicheskogo raspлава]. *Elektrometallurgiya*, no. 12, pp. 23–33 [in Russian].
6. Shakhpaзов, E.Kh., Zaitsev, A.I., Shaposhnikov, N.G. et al. (2008). The management models of the steel ladle processing [Modeli upravleniia protsessami kovshovoi obrabotki stali]. *Metallurg*, no. 6, pp. 30–35 [in Russian].

Received 19.03.2018

Анотація

С. М. Писарський¹, інженер машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ); **О. М. Смірнов²**, д-р техн. наук, проф., пров. наук. співр., e-mail: stalevoz@i.ua; **Д. О. Лавренко¹**, ст. майстер машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ); **Д. В. Рябий³**, аспірант

¹Standart Metallurgical Company, Лагос, Нігерія

²Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

³Донбаський державний технічний університет, Лисичанськ, Україна

Оцінка технологічних можливостей стабілізації швидкості розливання відкритим струменем на сучасній сортовій машині безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Повідомлення 2

Представлено факти з практики розливання сталі відкритим струменем на сортових машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) і результати промислових досліджень з проблеми розливання. Показано, що вони добре узгоджуються з результатами виконаного теоретичного аналізу (Повідомлення 1, «Металл и литье Украины» № 3–4, 2018). Обґрунтовано технологічні можливості, в тому числі оперативні, по стабілізації швидкості розливання для розглянутих умов.

Ключові слова

Сортова машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), розливання, активність кисню в сталі, алюміній, кальцій, трансформація продуктів розкислення, футеровка ковшів, шлак.

Summary

S. N. Pisarskii¹, Engineer of continuous casting machine (CCM);
A. N. Smirnov², Doctor of Engineering Sciences, Prof., Leading Researcher,
e-mail: stalevoz@i.ua;
D. A. Lavrenko¹, Senior master of continuous casting machine (CCM);
D. V. Riabyi³, Postgraduate student

¹*Standart Metallurgical Company, Lagos, Nigeria*

²*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

³*Donbass State Technical University, Lisichansk, Ukraine*

Estimation of technological possibilities of the speed stabilization of casting by open jet on modern billet continuous casting machine (CCM). Report 2

The facts from the practice of the steel casting by open jet on the billets continuous casting machines (CCM) and the results of industrial studies on the problem of castability are presented. It is shown that they are in good agreement with the results of the performed theoretical analysis (Report 1, "Metall i lit'e Ukrainy" № 3–4, 2018). Technological possibilities, including operational, are justified to stabilize the casting speed for the considered conditions.

Keywords

Billet continuous casting machine (CCM), castability, oxygen activity in steel, aluminum, calcium, transformation of deoxidation products, ladle lining, slag.