

СИМУЛИРОВАНИЕ ПРОДУВКИ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СТАЛЕЙ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ

Повышение расхода аргона, вдуваемого в жидкую сталь, является средством удаления из неё водорода за счёт разницы его парциальных давлений в металле и пузырьке газа [1-2] и перемешивания, что ускоряет коагуляцию, всплытие неметаллических включений в шлак и стабилизирует жидкие потоки по составу и температуре.

Однако расход аргона и гидродинамика расплава в проковше должны исключать обратный захват и вовлечение в потоки стали неметаллических включений из шлака.

Задачей настоящей работы явилось определение режимов вдувания и параметров проковша сортовой МНЛЗ при разливке флокеночувствительной стали, обеспечивающих благоприятные условия одновременного удаления водорода, неметаллических включений, однородность состава и температуры стали во всех стаканах-дозаторах с учётом изменения приходных статей баланса водорода от плавки к плавке в непрерывной серии.

Гидродинамику расплава в проковше шестиручьевой МНЛЗ применительно к разливке флокеночувствительных высокопрочных сталей изучали с использованием прикладного программного пакета “Ansys Fluent 14.0”. Использовали встроенную $k-\epsilon$ модель турбулентности, позволяющую получить адекватную картину потоков в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

Прикладной пакет “Ansys” реализует CFD (Computational Fluid Dynamics) технология моделирования [3].

CFD базируется на управляющих уравнениях гидродинамики, представляющих собой математические операторы физических законов сохранения: законов сохранения массы жидкости; второго закона Ньютона (изменение импульса равно сумме сил, действующих на жидкость); первого закона термодинамики (изменение энергии равно сумме дополнительных теплоты и работы, выполняемых над жидкостью).

Обобщая накопленный в современной металлургии опыт, принципы рафинирования стали от водорода, неметаллических включений, стабильного поступления практически однородного металла к каждому из стаканов-дозаторов промковша последовательно от плавки к плавке при непрерывной их серии можно представить следующим образом.

1) Играя роль вакуумных пустот, пузырьки инертного газа экстрагируют из жидкой стали водород. В условиях равновесия распределения водорода между металлом и пузырьками определяется уравнением:

$$[H] = K_H \sqrt{P_{H_2} \cdot 10^9}, \text{ ppm} \quad (1)$$

где P_{H_2} – парциальное давление водорода в газовой фазе на границе с металлом, МПа;

K_H – константа растворимости водорода в жидком Fe, она определяется уравнением Чипмена:

$$\lg K_H = -\frac{1670}{T} - 1,68. \quad (2)$$

Из предположения, что этот закон соблюдается, Поволоцким Д.Я. [2] получено следующее уравнение для определения необходимого количества аргона с целью заданной дегазации, м³/т стали:

$$V = 1120 \cdot K_{H_2}^2 \cdot P(1/[H]_к - 1/[H]_б), \quad (3)$$

где P – давление над расплавом, МПа; $[H]_б$ и $[H]_к$ – начальное и конечное содержание водорода в стали, % (10^{-4} ppm).

И наоборот, повышение расхода аргона увеличивает количество удалённого из стали водорода, т.е. продувка нейтральным газом в промковше важна при разливке флокеночувствительных сталей и может явиться средством регулирования $[H]_к$.

2) В настоящее время донный продувочный блок для подачи аргона устанавливается в промковше, если требования по чистоте стали очень высокие. Вдуваемый газ изменяет направление потока металла в промковше и направляет неметаллические включения к слою шлака; увеличение турбулентности способствует коагуляции неметаллических частиц; неметаллические включения адсорбируются пузырьками аргона. При применении аргона скорость поглощения неметаллических частиц среднего и малого размера (менее 50 мкм) значительно увеличивается.

Однако турбулентность, вызванная вдуваемым в жидкую ванну промковша аргоном, приводит как к агрегации мелких частиц, так и к разрушению крупных конгло-

мератов. Поэтому в высокой интенсивности подачи аргона в проковш, с этой позиции, нет необходимости. Во-вторых, при высокой интенсивности продувки аргоном, как нами установлено при физическом моделировании [10,11], возрастает вероятность отрыва потоками стали частиц шлака и вовлечение их снова в нижние слои металлической ванны, направляемые к выпуску из проковша в кристаллизатор.

Математическое моделирование выявило целесообразную гидродинамику при перемещении стали в проковше (рис. 1) в случае наличия дутьевых устройств, их конструкцию режимы подачи аргона от плавки к плавке в непрерывной серии для стабильного получения содержания $[N] \leq 2 \text{ ppm}$, векторов скоростей и суммарной скорости потоков расплава, неметаллических включений и пузырьков газов. Изменяли входные параметры для расчётов в соответствии с результатами предварительного физического моделирования и исходя из собственного практического опыта.

Исходной информацией для создания геометрической модели расчётной области выступал шестиручьевой проковш, оборудованный системой подвода аргона для вдувания в жидкую сталь и металлоприёмником (типа “turbostop”) ведрообразного типа. В качестве расчётной области при создании геометрической модели принят внутренний объём проковша, занимаемый жидкой сталью.

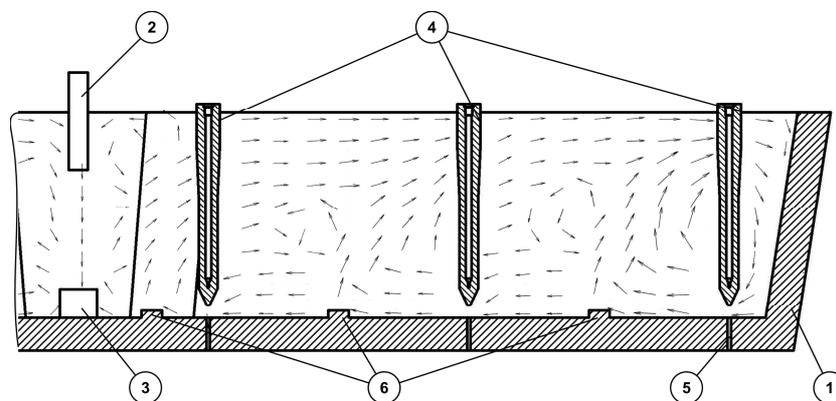


Рисунок 1. Схема циркуляционных потоков жидкой стали в проковше МНЛЗ предложенной конструкции: 1 – проковш; 2 – защитная труба; 3 – турбостоп; 4 – стопоры; 5 – разливочный стакан; 6 – продувочные блоки

Организация гидродинамики потоков стали в проковше в соответствии с рис. 1 за счёт режимов донной подачи аргона обеспечивает преимущественное распространение потоков стали в верхних горизонтах вдоль зеркала по направлению от металлоприёмника к торцам проковша и в обратном направлении в нижних горизонтах.

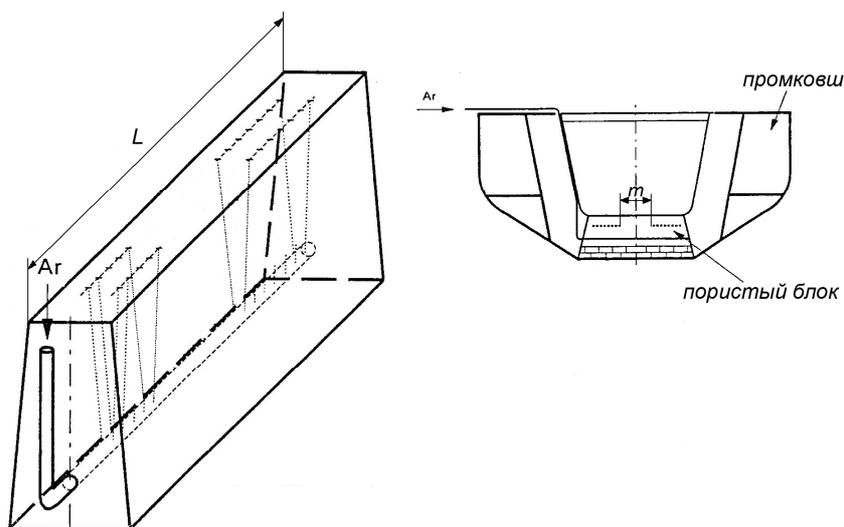


Рисунок 2. Конструкция продувочного блока промежуточного ковша

Совместно с использованием продувочных блоков представленной на рис. 2 конструкции это позволяет многократно обработать потоки аргоном для удаления водорода и транспортировать неметаллические включения к слою шлака, чему в определенной мере способствует отсутствие пор для подачи аргона по обе стороны от оси промковша на расстоянии $m = \frac{1}{3}L$.

Список литературы

1. Бойченко С.Б. Механизм и кинетика процессов, определяющих содержание водорода в стали в промежуточном ковше МНЛЗ / С.Б. Бойченко, Ю.С. Пройдак, Б.М. Бойченко. – Процессы литья, 2013. – №3. – С.
2. Поволоцкий Д. Я. Основы технологии производства стали / Д.Я. Поволоцкий. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 204. – 191 с.
3. Jiguan Tu. Computational Fluid Dynamics of Practical Approach / Jiguan Tu, Guan Heng Yeoh, Chaugun Liu. – P. 65-105.