

К ВОПРОСУ О ГИДРОДИНАМИКЕ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ ПРИ НЕ- ПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ

Ранее авторы установили, что для флокеночувствительной стали целесообразна достаточно интенсивная продувка ее в промежуточном ковше (промковше) МНЛЗ нейтральным газом для десорбции водорода, но не настолько высокая, которая может приводить к вовлечению неметаллических включений из шлаковой фазы в нисходящие потоки чрезмерно турбулизированной жидкой ванны [1]. Настоящий анализ посвящен установлению верхнего предела интенсивности продувки жидкого металла аргоном в промковше, позволяющего достичь обеих указанных целей.

Из трех стадий процесса укрупнения неметаллических включений: сближение частичек до расстояний порядка 0,01-0,001 мкм, прорыв разделительной пленки металла и слияние или слипание – в качестве лимитирующей стадии определена вторая, которая непосредственно зависит от интенсивности циркуляции. Поэтому интенсивность укрупнения частичек, а, значит, и скорость их удаления зависит от интенсивности циркуляции.

При продувке металла в промковше нейтральным газом существуют два пути, по которым осуществляется снижение содержания неметаллических включений:

- массопоток включений, которые выносятся к поверхности раздела металл-шлак циркуляционным потоком, вызванным естественной или принудительной конвекцией;
- массопоток включений, что выносятся к поверхности раздела металл-шлак флотацией.

В любом из представленных случаев необходимым условием для удаления неметаллических включений является наличие достаточной инерции частички для достижения поверхности шлака при ее движении в циркуляционном потоке или совместно с флотируемым пузырем. Величину инерции частички, необходимую для достижения заданной поверхности, критерияльно определяет критическая величина числа Стокса:

$$Stk = \frac{\omega \rho a^2}{\eta_{ж} R}, \quad (1)$$

где ω – скорость потока, м/с; ρ – плотность частички, кг/м³; a – диаметр частички, м; R – радиус газового пузыря или изгибающегося циркуляционного контура, м.

При чрезмерно интенсивном перемешивании частички шлака могут эмульгировать в металл, вызывая повышение содержания в нем неметаллических включений. В общем случае эмульгирование шлака в металл вероятно при выполнении условия:

$$\eta_2 \leq \eta_1 (\rho_1 / \rho_2)^5 \quad (2)$$

где η и ρ соответственно динамическая вязкость и плотность; индекс 2 относится к шлаковой фазе, 1 - к металлической. Выражение (2) подтверждает динамическую вероятность эмульгирования шлака в металл.

На основе проведенного анализа выполнено моделирование диспергирования шлака в металл и удаления неметаллических включений при продувке металла в промковше через дно.

Подобие процессов в промышленном образце и модели обеспечивали соблюдением одинаковых величин безразмерного числа Стокса $Stk = idem$ и симплекса поверхностного натяжения $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = idem$.

Из соотношения поверхностных натяжений в симплексе подобраны жидкости, которые наиболее подходят для моделирования. Сталь имитировали водой, шлак-бензолом (C₆H₆) марки ПС по ГОСТ 9572-93. По характеру смачивания этими жидкостями неметаллических включений определен имитатор включений – тонкодисперсный графит. Подачу нейтрального газа моделировали использованием воздуха.

Моделирование процессов, провели в физической изотермической модели промковша, изготовленной в масштабе 1:10 в соответствии с линейными размерами прототипа емкостью 38 т по критерию подобия Фруда (Fr).

Для разных соотношения толщины бензола в модели $h'_{ул}$ и уровня воды h'_m проводили ряд продувок длительностью 10 мин. (то есть в резидентное время) с разной интенсивностью подачи дутья. Минимальный расход газа Q составлял 0,53 дм³/мин., максимальный ограничивался образованием всплесков на поверхности жидкости, что сопровождалось интенсивным разбрызгиванием.

Параметром, определяющим степень эмульгирования, служили максимальные глубины проникновения капель бензола диаметром более 3 мм и пребывания графита в воде, которую контролировали видеосъемкой.

При достижении в ходе экспериментов расхода газа уровня 1,05 дм³/мин. наблюдали первые отделения капель бензола, которые проникали в воду на величину, большую амплитуды волны.

При интенсивности продувки более 15 дм³/мин. на поверхности модели в месте выхода газа происходило оттеснение бензола с графитом и оголение поверхности воды.

С ростом интенсивности продувки до величины 60 дм³/мин. происходит увеличение глубины проникновения частичек бензола и графита в воду. При дальнейшем увеличении интенсивности продувки заметного повышения глубины пребывания частичек бензола и графита не происходит.

При обработке отснятого материала установлено, что частички графита и бензола, диспергированные до размеров, меньших 3 мм, легко заносились потоками вглубь модели при расходе газа более 20 дм³/мин. и свободно двигались до прекращения продувки.

Найдено, что с ростом интенсивности продувки до величины 35 дм³/мин. происходит значительное увеличение длительности всплывания диспергированных частичек бензола и графита. Зависимость длительности всплывания всех диспергированных частичек в воде t , с от интенсивности продувки Q , дм³/мин описывается логарифмической зависимостью.

$$t = 15,67 \ln Q - 6,7, \text{ с, } (R^2 = 0,945) \quad (3)$$

Исследования показали, что для стабильного получения очищенной от диспергированных частичек жидкости величина t должна быть на 20-25% менее резидентного времени.

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. 29-32.