

ПОСТАНОВКА ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ ПРИ МИКРОЛЕГИРОВАНИИ СТАЛИ ЕЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОРОШКОВОЙ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОВОЛОКОЙ

Талах Б.Б.

Донецкий национальный технический университет

В практике современного металлургического производства одним из перспективных направлений повышения качества металла и улучшения качества потребительских свойств, не требующих значительных сырьевых и энергетических затрат, является микролегирование сталей.

Под микролегированием понимают введение в металлический сплав небольшого (до 0,1% по массе) количества легирующих элементов для изменения свойств [1].

Ввод химически активных элементов в сталь с помощью ПП(порошковой проволоки) имеет ряд преимуществ перед продувкой стали порошками :

- менее интенсивное бурление и уменьшение выбросов жидкой стали, снижение дымообразования и загрязнения атмосферы;
- более высокая степень усвоения;
- меньшие тепловые потери по сравнению с продувкой порошками;
- возможность прецизионной доводки стали по химическому составу путем ввода порошковой проволоки с различными материалами при высокой степени усвоения и эффективности;
- более низкие капитальные и эксплуатационные расходы по сравнению с продувкой порошковыми смесями.

При внепечном микролегировании жидкой стали наиболее важным параметром является скорость ввода ПП в расплав [2]. Если она низкая, то это приводит к её плавлению и растворению наполнителя ПП в верхних слоях ванны, что ухудшает процесс, приводит к неравномерному распределению вводимого кальция по высоте ковша. При чрезмерно высоких скоростях ввода ПП, она не успевает расплавиться и, достигая дна ковша, изгибается и выходит в верхние слои расплава и даже в атмосферу. Кальций при этом расходуется нерационально. Скорость ввода ПП необходимо выбирать таким образом, чтобы её оболочка была расплавлена в нижних объёмах ковша, у его днища. При этом наполнитель ПП, всплывая в виде капель, будет максимально растворяться в расплаве. Согласно современным представлениям, толщина твёрдой стальной корки ПП вначале растёт вследствие намораживания на неё металла ковша, а затем уменьшается вследствие плавления.

Математическая постановка тепловой задачи :

1. Начальные условия :

$$T_1 = T_3 = T_0; R_1(0) = R_2(0) = R; R_3(0) = R + \delta. \quad (1)$$

Здесь: T_0 – температура окружающей среды; R – радиус области, занимаемой наполнителем ПП в начальный момент времени; δ – толщина стальной оболочки в этот момент.

Диапазон изменения радиальной координаты r в каждой из областей:

$$i = 1 : 0 \leq r \leq R_1(\tau) = R + \Delta R_1(\tau), \quad \Delta R_1 < 0;$$

$$i = 2 : R_1(\tau) \leq r \leq R_2 = R;$$

$$i = 3 : R \leq r \leq R_3(\tau) = R + \Delta R_3(\tau), \quad \Delta R_3(0) = \delta.$$

Здесь: $R_1(\tau)$ – граница твердой фазы наполнителя; R_2 – граница жидкой его фазы; $R_3(\tau)$ – внешняя граница стальной оболочки проволоки. Последняя включает как первоначальную оболочку, так и замороженную на нее твердую корочку стали.

Очевидно, что $R_3 > R_2 \geq R_1$.

При этом: $\Delta R_3 > 0$ для налипания корочки и $\Delta R_3 < 0$ – при плавлении оболочки ПП.

2. Граничные условия :

а) ось симметрии ($r = 0$) :

$$\frac{\partial T_1}{\partial r} = 0;$$

б) стык твердого наполнителя и стальной оболочки ($r = R$) :

$$T_1 = T_3;$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r};$$

в) стык твердой и жидкой фаз наполнителя ПП

($r=R_1$ при его плавлении) :

$$T_1 = T_n^h;$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} + \rho_1 \cdot L_1 \cdot \dot{R}_1 = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r};$$

г) стык поверхности ПП с жидкой сталью ($r = R_3$) :

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} + \rho_3 \cdot L_3 \cdot \dot{R}_3 = \alpha(T_c^o - T_3).$$

$T_3 = T(R_3)$ - намораживание корочки при $T_3 < T_n^c$;

$T_3 = T_n^c$ - плавление оболочки с коркой.

Здесь: T_n^h, T_n^c - температуры ликвидуса наполнителя и стали; T_c^o, T_c - температура стали в объеме ковша и при $r = R_3$; ρ_1, ρ_3 - плотности наполнителя и стали; L_1, L_3 – удельные теплоты фазовых переходов; \dot{R}_1, \dot{R}_3 , – скорости перемещения границ $r = R_1$ и $r = R_3$.

Литература:

1. Троцан А.И. Теория и практика микролегирования с учетом межкристаллитной внутренней адсорбции /А.И. Троцан, И.Л. Бродецкий, А.И. Ищенко. - К.: "КИМ" - 2009. - 272 с.

2. Захаров Н. И., Полозюк О. Е. Исследование процессов теплообмена при обработке жидкой стали порошковой проволокой// Приднепр. науч. вестник. – Дн. – 1997. - №17. – С. 22-26.