

Л. М. НОВИК, Е. З. КАЦОВ, А. И. ЛУКУТИН

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ БАЛАНСИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
В КОВШЕ**

(Представлено академиком Н. В. Агеевым 2 IV 1971)

Получение низкоуглеродистой стали для изготовления холоднокатаных листов с весьма высокими пластическими свойствами является одной из сложных задач металлургического производства. В настоящее время в производстве такой стали наблюдается тенденция к применению процессов внепечной вакуумной обработки, позволяющих осуществлять одновременно обезуглероживание и раскисление металла. С технологической точки зрения, в этих условиях процесс плавки низкоуглеродистой стали в сталеплавильном агрегате выгодно заканчивать при сравнительно высоком содержании углерода. Это обеспечивает известные преимущества для увеличения производительности агрегатов и стойкости их футеровки. В связи с этим окисление заведомо избыточного количества растворенного в стали углерода становится необходимой функцией процесса вакуумирования. С другой стороны, не менее важной функцией процесса является достижение глубокого раскисления металла в результате вакуумной обработки, причем кислород из металла целесообразно удалять за счет окисляемого углерода, раскислительная способность которого в вакууме значительно возрастает. Очевидно, что для осуществления первой функции в системе необходим соответствующий избыток окислителя, в то время, как решению второй задачи этот избыток может помешать. Кислородом, растворенным в металле, может быть окислено ограниченное количество углерода, что вытекает из уравнения

$$m_1 = [\%C][\%O] = 0,0024. \quad (1)$$

Так, при содержании в металле углерода 0,10—0,12% нельзя рассчитывать на глубокое обезуглероживание металла в вакууме за счет кислорода, растворенного в металле, так как его равновесная концентрация будет составлять соответственно 0,024—0,020%. В этих условиях возможно окисление не более 0,02% углерода.

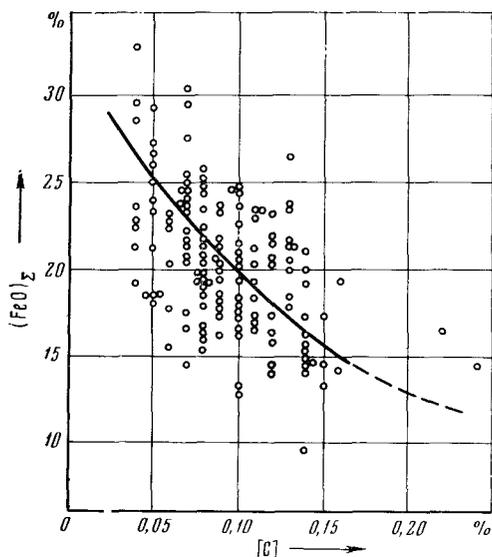


Рис. 1. Зависимость между окисленностью шлака и содержанием углерода в кипящей стали перед ее вакуумной обработкой в ковше

этого избытка может помешать. Кислородом, растворенным в металле, может быть окислено ограниченное количество углерода, что вытекает из уравнения

Таким образом, для окисления углерода до содержания, например, 0,02—0,05% рассматриваемая система нуждается в дополнительном источнике окислителя. При использовании дробных способов вакуумирования стали (порционный, циркуляционный) в качестве окислителя применяют руду, присаживаемую в вакуумный сосуд (1), или вводят с вдуваемым аргонем кислород. Ковшевой способ вакуумирования стали имеет в этом отношении значительное преимущество, заключающееся в том, что в качестве окислителя используется окислительный печной шлак, сливаемый в ковш вместе с металлом. На рис. 1 приведены данные по окис-

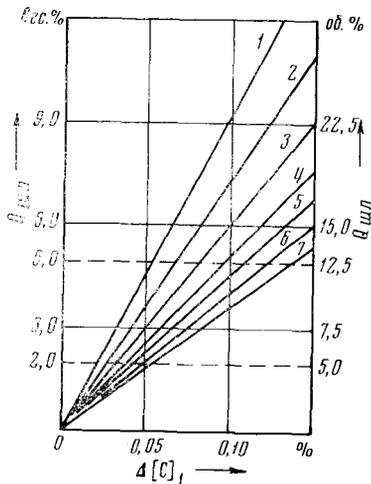


Рис. 2

Рис. 2. Номограмма для определения необходимого количества шлака при окислении избыточного углерода. 1—7 — содержание Σ (% FeO) соответственно 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25

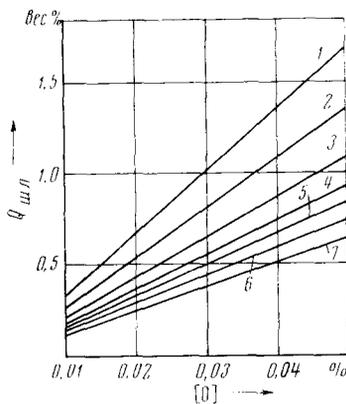


Рис. 3

Рис. 3. Номограмма для корректировки необходимого количества окислительного шлака, учитывающая окисленность металла. 1—7 — то же, что на рис. 2

ленности печного шлака после слива плавки из 10-тонной основной марганцевой печи. По оси ординат отложена величина, условно характеризующая окислительный потенциал шлака и обозначенная Σ (FeO), при этом

$$\Sigma(\text{FeO}) = (\% \text{FeO}) + 1,35 (\% \text{Fe}_2\text{O}_3), \quad (2)$$

где (% FeO), (% Fe₂O₃) — соответственно содержание закиси и окиси железа в шлаке.

Из приведенных данных видно, что при содержании углерода в металле 0,10—0,15% условная величина окисленности шлака составляет 12,5—25%. Естественно, что в зависимости от исходной окисленности шлака для окисления одного и того же избытка углерода требуется разное количество шлака Q . Определение величины Q , как одного из основных параметров процесса вакуумной обработки кипящей стали в ковше, имеет большое практическое значение. Для решения этой задачи были проведены расчеты по определению необходимого количества окислительного шлака для так называемого сбалансированного процесса, т. е. такого, когда окислительный потенциал системы металл—шлак, обеспечивая окисление заданного избытка углерода, не препятствует осуществлению достаточно глубокого раскисления металла. Расчеты необходимого количества шлака вели по формуле, полученной на основании балансовых со-

отношений,

$$Q = \frac{M_{\text{FeO}}}{M_{\text{C}}} \Delta [\text{C}] \frac{100}{\Sigma (\text{FeO})} \frac{1}{\eta_{\text{шл}}}, \quad (3)$$

где Q — доля шлака по отношению к металлу, вес. %; $\Delta [\text{C}]$ — избыток углерода, подлежащий окислению, %; $\eta_{\text{шл}}$ — степень восстановления железа из шлака, составляющая в среднем 0,65; M_{FeO} , M_{C} — молекулярный вес закиси железа и углерода соответственно.

На рис. 2 представлены результаты этих расчетов.

Приведенная на рис. 3 номограмма позволяет скорректировать расчетное количество шлака (определенное по рис. 2), уменьшив его на величину, соответствующую доле избыточного углерода $\Delta [\text{C}]$, окисляемого за счет кислорода металла. Вычисления этой поправки произведены по формуле:

$$Q' = \frac{M_{\text{FeO}}}{M_{\text{O}}} [\text{O}]_{\text{нач}} \eta_{\text{мет}} \frac{100}{\Sigma (\text{FeO})}, \quad (4)$$

где Q' — количество шлака, эквивалентное растворенному в металле кислороду, который вступает во взаимодействие с углеродом; $[\text{O}]_{\text{нач}}$ — начальное содержание кислорода в металле, %; $\eta_{\text{мет}}$ — степень раскисления металла, составляющая 0,65—0,80.

Определенная по вспомогательной номограмме (рис. 3) поправка вычитается из величины необходимого количества шлака, которое следует из основной номограммы (рис. 2). Пунктирные линии на рис. 2 ограничивают оптимальную область количества сливаемого шлака. Визуальные наблюдения за характером взаимодействия металла и шлака во время вакуумной обработки показывают, что при количестве шлака, превышающем 5 вес. %, условия развития контактной поверхности реагирующих фаз заметно ухудшаются, в результате чего массоперенос кислорода из шлака в металл затрудняется. Область под нижней пунктирной линией характеризуется ухудшением тепловой изоляции металла, обеспечиваемой шлаком, что приводит к чрезмерному переохлаждению металла.

Из представленных на основной номограмме данных, (рис. 2), а также из зависимости между окисленностью шлака и содержанием углерода в металле, вытекает, что окисление в ковше под вакуумом более 0,10—0,15 % углерода требует увеличения либо количества шлака, либо его окисленности.

В связи с этим при получении низкоуглеродистой стали наиболее оптимальным исходным содержанием углерода в металле следует считать 0,10—0,12 %. Выделяющееся в процессе вакуумирования значительное количество окиси углерода, образующейся при окислении в данном случае 0,06—0,08 % углерода, обеспечивает достаточно интенсивное перемешивание металлической ванны со шлаком, что создает необходимые условия для массопереноса углерода и кислорода к месту протекания реакции их взаимодействия.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
29 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. D. Delve, G. C. Dudderstadt, R. F. Kowal, J. Iron and Steel Inst., 206, 12, 1218 (1968). ² J. Sharp, Iron and Steel, 38, № 7, 334 (1965).