

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДОГРЕВА СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ ПЕРЕД ПЛАВЛЕНИЕМ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

А.М.Дмитрович, В.Н. Костяков, М.А.Габриэль

Отличительной особенностью металлургических процессов плавки металла в индукционных печах является низкий угар элементов и высокое качество выплавляемого металла, что позволяет использовать эти печи в литейном производстве при выплавке стали и высококачественных чугунов. Однако работа индукционных печей характеризуется низким значением термического КПД на режиме подогрева шихты /1/, что обуславливает высокий расход электроэнергии на расплавление металла.

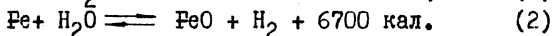
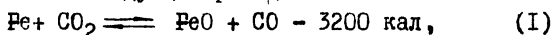
Повысить значение термического КПД индукционных печей можно сокращением периода их работы на режиме подогрева шихты, что достигается путем предварительного подогрева шихты вне плавильной печи /2/. Предварительный подогрев шихты позволяет также значительно интенсифицировать процесс плавки и улучшить качество выплавляемого металла.

С целью снижения эксплуатационных затрат на электроэнергию наиболее рационально использовать для подогрева шихты пламенные печи, работающие на газообразном топливе. Применение последнего позволяет значительно упростить конструкцию нагревательных печей, снизить капитальные затраты на их сооружение и более эффективно использовать топливо. Однако при выборе конструкции печи для подогрева шихты следует учитывать тот факт, что скорость нагрева металла должна быть достаточной, чтобы исключить его возможное окисление при нагреве и обеспечить производительность плавильной печи на заданном уровне.

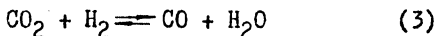
Из теории и практики работы пламенных печей известно /3/, что вследствие высокой химической активности печной атмосферы при высокой температуре на поверхности нагреваемого металла происходит сложный физико-химический процесс ее взаимодействия с атмосферой печи, результатом чего является окисление. Окисление металла зависит от многих факторов, главным из которых является химический состав атмосферы, температура, время нагрева и размеры нагреваемой

шихты. Исключительно важное значение приобретают вопросы предохранения металла от окисления при подогреве стружки, достаточно развитая поверхность которой обуславливает интенсивное протекание процессов окисления. Так, данные исследования окисления стальной стружки /4/ показали, что при нагреве ее до температуры 550 угар металла составляет 4,6% и при увеличении температуры нагрева до 800-900° достигает 11%. Поэтому при подогреве стальной стружки в газовых печах необходимо обеспечить такие условия нагрева, которые позволили бы исключить полностью либо свести к минимуму окисление металла при всех возможных температурах подогрева.

При нагреве стальной стружки в пламенных печах окисление ее протекает согласно следующих реакций:



Равновесие реакций (1) и (2) достигается при определенных условиях сжигания газа в печи, когда между отдельными компонентами печной атмосферы CO_2 , CO , H_2 и H_2O устанавливается равновесие по реакции водяного газа:



Реакция (3) является определяющей в процессе окисления и позволяет рассчитать условия равновесия печной атмосферы с металлом.

На рис. I приведены данные равновесия Fe - FeO в присутствии CO_2 -CO и H_2O - H_2 при атмосферном давлении и различных температурах нагрева металла.

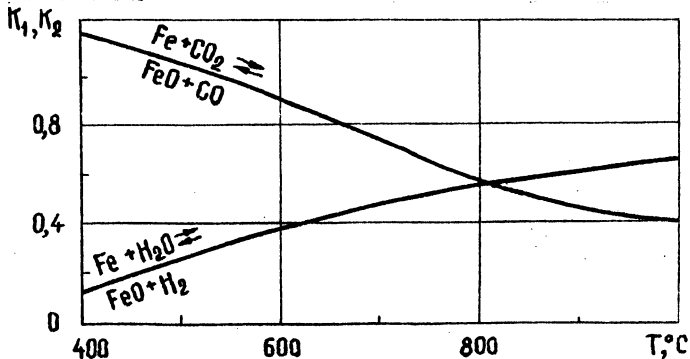


Рис. I.
Изменение равновесия Fe-FeO при различном составе атмосферы в зависимости от температуры.

Из приведенных данных следует, что каждой температуре нагрева металла соответствует определенное значение констант равновесия реакций (1), (2), при которых устанавливается равновесие нагреваемого металла с печной атмосферой.

Условия сжигания топлива в печи, при которых не происходит окисление металла, можно определить, пользуясь диаграммами равновесия железа. На рис. 2 приведена такая диаграмма равновесия железа с продуктами сгорания природного газа¹. Пучок прямых изотерм, исходящих из точки О, позволяет определить температуру, при которой данная смесь газов (CO_2 , CO , H_2 , H_2O) удовлетворяет условию равновесия реакции водяного газа (3). На этой же диаграмме нанесены

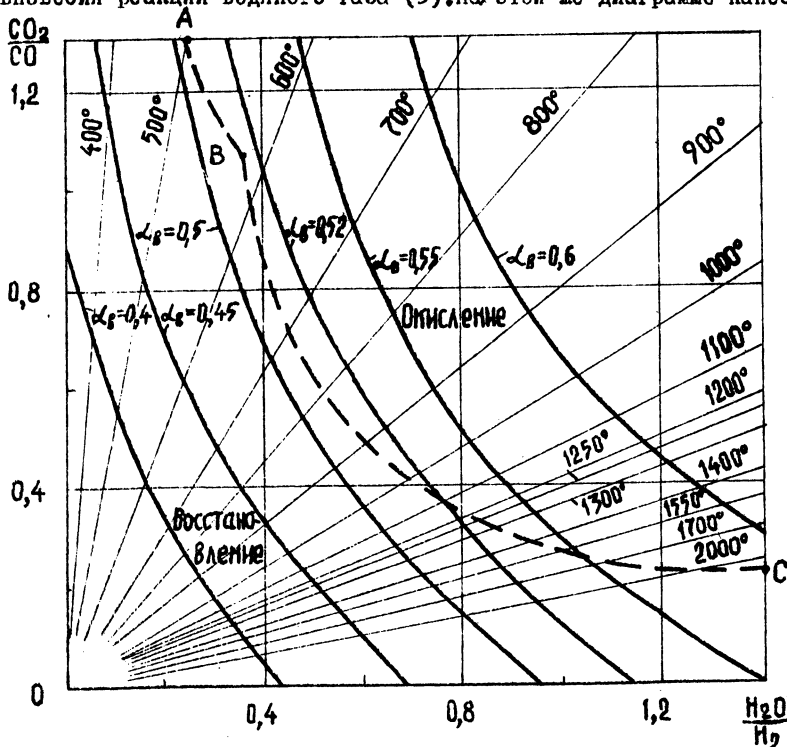


Рис. 2.

Диаграмма равновесия железа с продуктами сгорания природного газа.

¹ Линия ABC на графике разграничивает зоны окисления и восстановления.

кривые постоянных значений коэффициентов расхода воздуха α_B от 0,4 до 0,6, определяющие условия сжигания топлива в печи. Из данных диаграммы видно, что для устранения окисления металла при заданной температуре нагрева необходимо поддерживать в печной атмосфере строго определенное соотношение CO_2/CO и H_2O/H_2 . Для всего интервала температур подогрева стальной стружки условиям безокислительного нагрева удовлетворяет сжигание газа в печи с коэффициентом расхода воздуха, равным 0,5. При этом следует иметь в виду, что данные диаграммы указывают только на термодинамику процесса окисления и не учитывают кинетику процесса. В реальных условиях в зависимости от различных факторов (наличия в стали легирующих элементов Si, Mn, S и др., сродство которых к кислороду выше, чем железа; колебания в соотношении газ - воздух и др.) при подогреве шихты значение коэффициента расхода воздуха при сжигании газа в печи может изменяться в определенном интервале в сторону уменьшения последнего.

С целью изучения влияния основных факторов на процесс окисления стальной малоуглеродистой стружки было проведено экспериментальное исследование на опытной установке (рис. 3).

При конструировании экспериментальной установки исходили из необходимости получить более полное окисление метана до окиси углерода и водорода при строго заданном коэффициенте расхода воздуха. Принятая конструкция смесителя и длина реакционной зоны обеспечивали выполнение этих условий. Опыты проведены на природном газе следующего состава:

Состав	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO_2	N_2
%	97,8	0,4	0,29	0,11	0,05	0,15	1,2

Установка представляла собой проходную каналную печь с последовательно соединенными реакционной зоной, зоной нагрева и холодильником для охлаждения нагреваемой навески. В качестве реакционной зоны и зоны нагрева использовались электрические печи сопротивления с силитовыми нагревателями типа ТК-30/200, в которые была вмонтирована кварцевая трубка диаметром 50мм. В начале кварцевой трубки перед реакционной зоной установлен смеситель для предварительного перемешивания газа и воздуха. Реакционная зона до смесителя заполнялась шамотным боем, что обеспечивало хорошее смешение газа с воздухом, увеличивало поверхность нагрева в этой зоне и устраняло

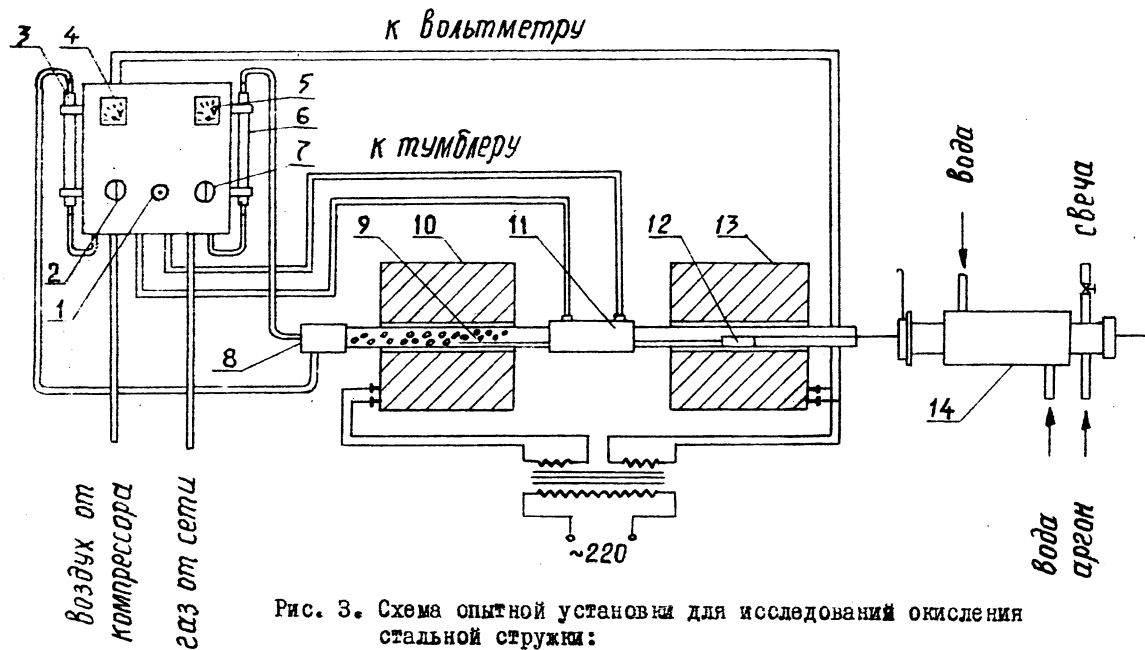


Рис. 3. Схема опытной установки для исследований окисления стальной стружки:

- 1 - тумблер; 2 - воздушный кран; 3 - ротаметр РС-5;
 4 - вольтметр; 5 - милливольтметр МПШр-54; 6-ротаметр РС-3; 7- газовый кран; 8- смеситель; 9-насадка;
 10 и 13 - печи ТК30/200; 11-переходник; 12- навеска;
 14 - холодильник.

проскок пламени в смеситель.

Воздух подавался к смесителю от лабораторного компрессора, газ - из сети низкого давления. Питание электрических печей производилось от сети переменного тока напряжением 220В через автотрансформатор РНО-5-250. Расход газа и воздуха в опытах измерялся ротаметрами типа РС-3 и РС-5 предварительно протарированными по газовым часам. Расход газа во всех опытах поддерживался постоянным и равнялся 200л/час, расход воздуха устанавливался по ротаметру в зависимости от коэффициента его расхода:

где $V_g = V_r \cdot L_r^g \cdot \alpha_g$,
 V_r - расход газа, л/час;
 L_r^g - теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сжигания газа, л/л газа;
 $\alpha_g = \frac{L_g}{L_r^g}$ - коэффициент расхода воздуха;
 L_g - действительное количество воздуха, подаваемое на горение, л/час.

Контроль температуры в реакционной зоне и зоне нагрева осуществлялся платино-платинородиевыми микротермопарами, заключенными в кварцевые чехлы, чтобы исключить науглероживание их в процессе работы. ЭДС термопар измерялась с помощью милливольтметра МПШПр-54. В реакционной зоне поддерживалась постоянная температура 1200°, а в зоне нагрева навески стружки температурный режим устанавливался в соответствии с характером данного опыта. Навеска стружки после нагрева охлаждалась в холодильнике, в атмосфере аргона, подаваемого из баллона, что устраняло окисление стружки в процессе охлаждения.

В начале каждого опыта печи разогревали в течение 2-3 часов с тем, чтобы установилась постоянная для данного опыта температура.

Хорошее смешение газа и воздуха и высокая температура в реакционной зоне обеспечивали достаточно полное окисление метана до CO и H₂ без сажеобразования. При установлении постоянной температуры в печах начинали подавать смесь газа и воздуха в заданном стехиометрическом соотношении через смеситель в реакционную зону. По достижении заданного температурного режима в обеих зонах лодочку с навеской стружки помещали в зону нагрева и выдерживали ее в течение определенного времени.

Содержание органических примесей и влаги в стальной стружке составляло 2,4%. При проведении исследований угар стружки определяли по разности веса навески до и после нагрева. Точность взвешива-

ним порошки на аналитических весах составляла 10 мг. Опыты проведены с навеской постоянного веса 50 г.

При нагреве стружки коэффициент расхода воздуха, температура и время выдержки были выбраны исходя из реальных условий подогрева шихты. При этом значение коэффициента расхода воздуха изменялось от 0,5 до 1,0, а время нагрева стружки при температурах 400, 600, 800 и 1000° составляло 5, 10 и 15 мин.

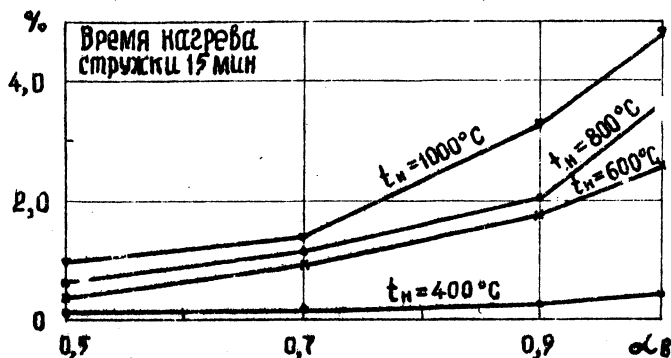


Рис. 4.
Изменение угара стальной стружки при различной температуре нагрева в зависимости от коэффициента расхода воздуха.

Результаты исследования окисления стальной стружки в зависимости от изменения основных параметров нагрева приведены на рис.4.

Из данных рис.4 видно, что окисление стальной стружки резко падает с уменьшением коэффициента расхода воздуха. При температуре 400° окисление металла падает медленно с уменьшением коэффициента расхода воздуха; при этой температуре абсолютная величина угара стружки незначительна.

Наклон кривых окислений относительно оси абсцисс, характеризующий скорость окисления, возрастает с повышением температуры до 1000°. При сжигании газа с коэффициентом расхода воздуха 1,0 повышение температуры подогрева с 400° до 1000° при времени выдержки 15 мин. увеличивает угар стружки в 15 раз. С уменьшением коэффициента расхода воздуха влияние температуры подогрева стружки несколько уменьшается. При нагреве стружки в атмосфере печи, отвечающей сжиганию газа с коэффициентом расхода воздуха 0,6, в области исследованных температур и выдержке 15 мин. окисление стружки увеличивается в 7 раз. С уменьшением коэффициента расхода воздуха до 0,5 при тех же параметрах окисление возрастает в 4 раза.

Уменьшение угара при пониженных значениях коэффициента расхода воздуха объясняется тем, что при таких условиях сжигания газа в атмосфере содержится значительное количество восстановительных компонентов (CO и H_2), которые предохраняют стружку от окисления. Аналогично изменению температуры на угар стружки влияет время выдержки, с увеличением которого окисление также возрастает. Поэтому обеспечение высокой скорости нагрева стружки в печи позволяет не только уменьшить габариты и повысить производительность установки для подогрева шихты, но и снизить угар подогреваемого металла.

Как следует из полученных данных, при подогреве стальной стружки в интервале температур $400\text{--}1000^\circ$ минимальный угар обеспечивается при сжигании газа в печи с коэффициентом расхода воздуха $0,5\text{--}0,6$. Однако экспериментальные данные по окислению стальной стружки несколько отличаются от данных диаграммы равновесия железа. Согласно данным диаграммы равновесия, при сжигании топлива с коэффициентом расхода воздуха $0,5$ окисление металла в области исследованных температур практически не происходит. В действительности при этих же условиях угар стружки достигает $0,9\%$ при $t = 1000^\circ$. Это несоответствие объясняется прежде всего наличием в нагреваемой стружке органических примесей и влаги, которые отклоняют равновесие железа с атмосферой в сторону уменьшения коэффициента расхода воздуха.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показали, что с уменьшением коэффициента расхода воздуха угар стальной стружки уменьшается. Величина угара при нагреве стружки до 1000° не превышает $0,9\%$ при сжигании газа с коэффициентом расхода воздуха $0,5$, что позволяет рекомендовать данный режим нагрева для установок предварительного подогрева шихты и агрегатов горячего брикетирования стружки.

Л и т е р а т у р а

1. Rehdez J.E. Foundry. 1965. V.93. N4
2. Rehdez J.E. Congr. Inteznat. fondreie, 1966
3. Л и н ч е в с к и й В.П. Metallургические печи, № 1, 1967.
4. Ш и п у л и н А.Т. и др. "Литейное производство", №3, 1967.