
ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 669.187.28:669.162.275

**В. Н. Костяков, Е. А. Ясинская, С. И. Клименко,
Н. В. Кирьякова, А. А. Волошин**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ НА ПОВЕДЕНИЕ ВАНАДИЯ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ВАНАДИЕМ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА ЗОЛЫ ТЭС

Выполнены исследования влияния футеровки печи на поведение ванадия при прямом легировании углеродистой стали из расплава золы ТЭС. Показано, что при плавке углеродистой стали в дуговой печи с кислой футеровкой достигается более полное восстановление ванадия.

Ключевые слова: ванадий, сталь, шлак, прямое легирование, зола, окислительный период.

Проведено дослідження впливу футерівки печі на поведінку ванадія при прямому легуванні вуглецевої сталі з розплаву золи ТЕС. Показано, що при плавці вуглецевої сталі у дуговій печі з кислою футерівкою досягається більш повне відновлення ванадію.

Ключові слова: ванадій, сталь, шлак, пряме легування, зола, окислювальний період.

The studies have been conducted on the influence of the furnace lining behavior of vanadium doping in direct carbon steel melt TPP ash. It is shown that during the of carbon steel in an electric arc furnace with acid lining a full recovery of vanadium is ashieved.

Keywords: vanadium, steel, slag, direct doping, ash, oxidation period.

Выплавка низколегированных и легированных сталей с использованием оксидных материалов основана на методе прямого легирования, который заключается в восстановлении оксидов легирующих элементов из шлаковой фазы в процессе плавки или в период разливки стали в ковш и внепечной обработки. При этом степень усвоения легирующего элемента определяется достигаемым коэффициентом распределения элемента между металлом и шлаком, а также кратностью шлака.

Восстановление таких элементов, как вольфрам, молибден и ниобий, имеющих сродство к кислороду ниже, чем железо, не вызывает затруднений. Прямое легирование стали оксидными материалами на основе указанных элементов возможно в широком интервале активностей железа в печном шлаке.

Получение и обработка расплавов

В отличие от вышеуказанных элементов, показатели распределения ванадия, хрома и марганца невелики при пониженной активности железа в шлаке, а степень усвоения сталью при ограниченном количестве шлака в печи или ковше сравнительно высокая. Поэтому для обеспечения высокой степени усвоения легирующего элемента показатель его распределения и активность железа в шлаке необходимо снижать при увеличении количества шлака.

Таким образом, исследование физико-химических особенностей процессов восстановления и разработка технологии прямого легирования являются наиболее актуальными, в первую очередь, для ванадия, как одного из дорогих легирующих элементов.

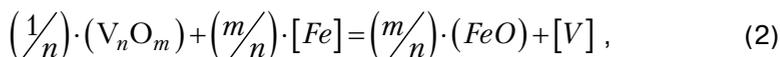
Степень усвоения ванадия при прямом легировании может быть определена по формуле [1]

$$A_V = \left[\frac{1}{1 + q_{\text{шл}} \cdot I_V} \right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $q_{\text{шл}}$ – кратность шлака; I_V – отношение содержания ванадия в шлаке к содержанию его в металле.

Из формулы видно, что с увеличением кратности шлака снижается степень усвоения ванадия сталью.

Следует также отметить, что на степень усвоения легирующего элемента сталью, то есть на коэффициент его распределения, существенное влияние оказывает окисленность шлака. Восстановление ванадия из сталеплавильного шлака может быть описано реакцией



протекающей на границе раздела «металл-шлак». Тогда коэффициент распределения для низколегированных сталей (0,08-0,20 % V) выразится уравнением

$$a_{V_n O_m}^{1/n} / a_V = a_{FeO}^{m/n} / K_p, \quad (3)$$

из которого следует, чем ниже активность железа в шлаке и больше значение константы равновесия, тем будет меньше коэффициент распределения для низколегированных сталей.

Например, по данным работы [2] степень усвоения ванадия из 80 %-ного кускового феррованадия для стали марки 10Г2САФ составляет в среднем 84,5 % (рис. 1).

Анализ результатов ранее проведенных исследований, направленных на разработку технологии выплавки шихтовой заготовки из отработанных ванадийсодержащих катализаторов, показал, что с увеличением концентрации FeO в конечном шлаке снижается содержание ванадия в выплавленном сплаве (рис. 2).

Так, при содержании 5,87 % FeO в конечном шлаке концентрация ванадия в опытном сплаве составила 1,57 %, при снижении содержания оксида железа до 0,13 % повысилась до 3,0 %.

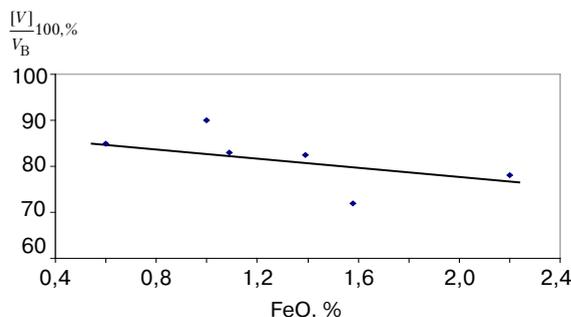


Рис. 1. Влияние концентрации FeO в конечном шлаке на степень усвоения ванадия из 80 %-ного кускового феррованадия для стали 10Г2САФ [2]

Авторы работ [3-6] также отмечают сильную зависимость показателя распределения ванадия от содержания в шлаке монооксида железа. Так, в шлаках системы FeO-MnO-SiO₂, насыщенных SiO₂ при увеличении содержания FeO от 10 до 50 %, показатель распределения ванадия возрастает в 10 раз – от 7,5 до 75 [3]. При одинаковых концентрациях FeO (≥ 10 %) показатель распределения ванадия увеличивается при переходе от кислых шлаков к основным (рис. 3).

В литературе [7-10] приведены данные о восстановлении ванадия из оксидных соединений в железоуглеродистом расплаве, в которых показано влияние различных факторов на характер протекания восстановительных процессов в жидкой ванне при плавке сплавов. В частности, отмечается, что на поведение ванадия в жидкой ванне печи и полноту его восстановления существенное влияние оказывают вид восстановителя и способ введения оксидов ванадия в плавильную ванну, а также вид футеровки печи.

К особенностям восстановления ванадия из ванадиевого шлака и золы ТЭС в жидкой ванне печи с основной футеровкой следует отнести необходимость восстановления значительного количества содержащихся в них оксидов железа и разрушения тугоплавких шпинелидов типа (Fe, Mn, Mg) O (V, Fe, Al, Cr)₂O₃. Такой шпинелид представляет собой тугоплавкое соединение, обладающее малой растворимостью в силикатном расплаве, цементирующем шлак [6]. Соотношение между количеством твердой фазы и жидкими силикатами предопределяет вязкость шлака. Содержание ванадия в шпинелиде достигает 30 %, в этой же составляющей концентрируется до 40-45 % Fe и 30-35 % Mn от их общего количества в шлаке, остальное приходится на долю силикатных фаз.

Несколько иная картина наблюдается при плавке сплавов в печи с кислой футеровкой. Малая активность оксидов железа в кислом шлаке обуславливает более

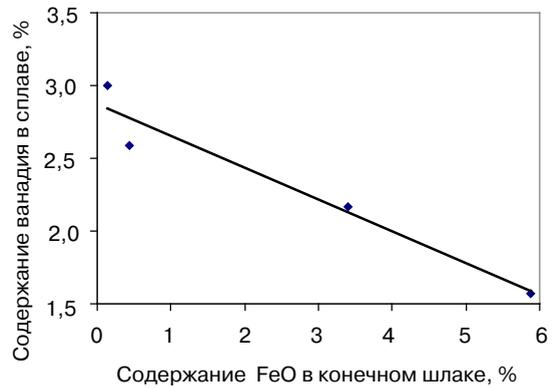


Рис. 2. Влияние окисленности конечного шлака на содержание ванадия в сплаве

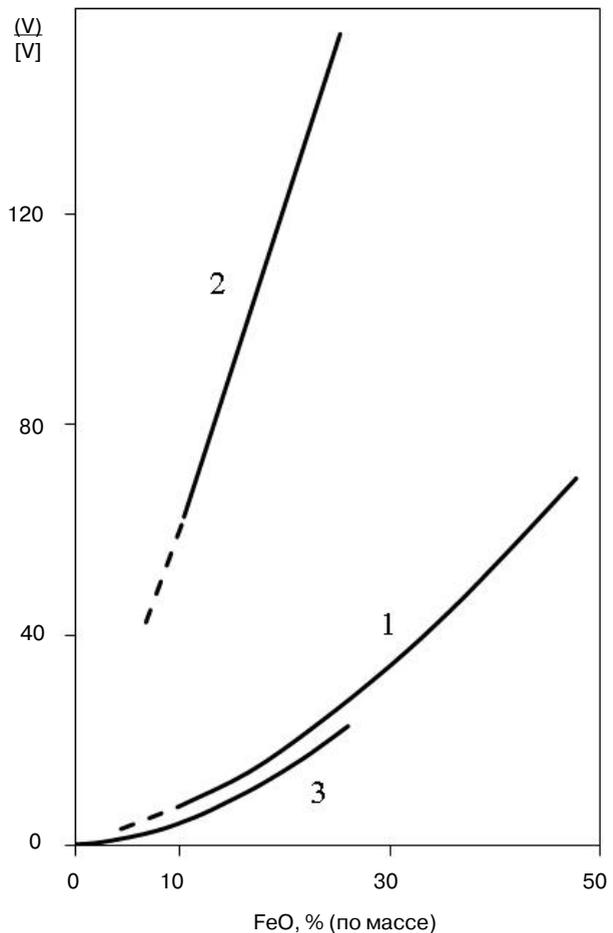


Рис. 3. Зависимость показателя распределения ванадия от содержания FeO в шлаке по данным работы [3]: 1, 3 – для кислых шлаков; 2 – для основных

Получение и обработка расплавов

полное восстановление оксидов ванадия, следствием чего является более высокое содержание ванадия в металле.

В настоящей работе исследовано поведение ванадия при прямом легировании углеродистой стали из оксидного расплава золы ТЭС при плавке в дуговой печи постоянного тока с основной и кислой футеровками.

Шихтой служили отходы углеродистой стали и зола ТЭС, содержащая 30,18 % V_2O_5 , в качестве восстановителя использовали ферросилиций ФС65, а в качестве шлакообразующей присадки – известь.

В таблице приведен химический состав выплавленной углеродистой стали, легированной ванадием из расплава золы ТЭС.

Химический состав выплавленной углеродистой стали

Номер плавки	Вид футеровки	Содержание элементов в стали, %				
		C	Si	Mn	Cr	V
1	кислая	0,25	0,31	0,29	0,11	0,31
2		0,28	0,32	0,28	0,13	0,21
3		0,27	0,29	0,24	0,14	0,17
4		0,26	0,31	0,25	0,15	0,03
5	основная	0,26	0,29	0,26	0,12	0,24
6		0,27	0,33	0,25	0,12	0,17
7		0,25	0,30	0,28	0,12	0,13
8		0,26	0,28	0,28	0,13	0,02

Влияние вида футеровки печи на содержание ванадия в выплавленной стали приведено на рис. 4.

Анализ данных показывает, что во всех случаях содержание ванадия в выплавленной стали в печи с кислой футеровкой выше по сравнению с основной. В среднем содержание ванадия в стали, выплавленной в печи с кислой футеровкой, выше на 27,5 % по сравнению с основной. Как показано выше, это обусловлено более низкой активностью закиси железа в кислом шлаке.

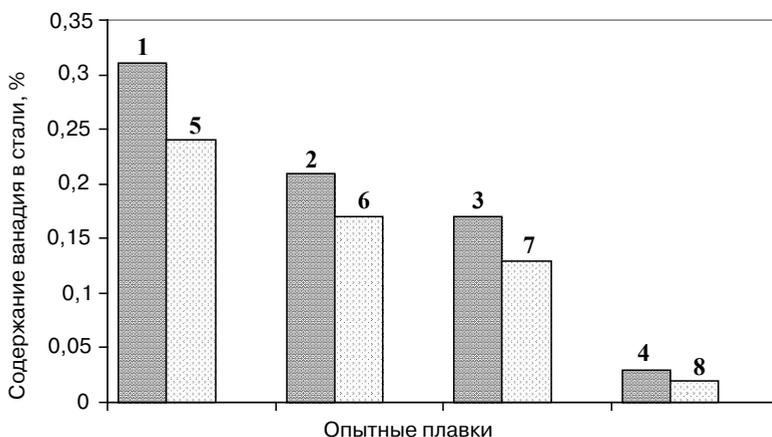


Рис. 4. Влияние вида футеровки на содержание ванадия в стали: плавки 1-4 – кислая футеровка; плавки 5-8 – основная

Следует отметить, что применение золы ТЭС в печи с кислой футеровкой значительно упрощает технологию выплавки стали. Во-первых, нет необходимости в удалении печного шлака в процессе плавки, во-вторых, в процессе плавления и окислительного периода происходит заметное довосстановление ванадия.

При таких обстоятельствах золу ТЭС можно вводить не только в окислительный период, но и в более ранние периоды – завалку и плавление. Это позволяет совместить периоды плавления и окисления, а также сократить продолжительность плавки.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить количественную зависимость влияния вида футеровки на поведение ванадия при плавке углеродистой стали, легированной ванадием из оксидного расплава золы ТЭС.



Список литературы

1. Бескоксовая переработка титаномагнетитовых руд / В. А. Ровнушкин, Б. А. Боковиков, С. Г. Братчиков и др. – М.: Metallurgia, 1988. – 247 с.
2. *Рашев Ц. В.* Производство легированной стали: Пер. с болг. – М.: Metallurgia, 1981. – 248 с.
3. А. с. 870465 СССР, МКИ³ С 22 В 1/04. Способ термообработки железорудных окатышей / С. Г. Меламуд, Е. А. Пахомов, Ю. И. Лопатин и др. – Опубл. 07.10.81, Бюл. № 37.
4. А. с. 499333 СССР, МКИ³ С 22В 1/02. Способ термообработки окатышей на конвейерных машинах / В. И. Лобанов, В. Д. Котровский, Р. Ф. Кузнецов и др. – Опубл. 15.01.76, Бюл. № 86.
5. Комплексная металлургическая переработка железных руд / Г. А. Топорищев, В. И. Довгопол, Ф. С. Раковский и др. – Свердловск: УралНИИЧМ, 1975. – № 23. – С. 62-65.
6. Комплексная металлургическая переработка железных руд / Ф. С. Раковский, В. А. Ровнушкин, А. А. Филиппенков и др. – Свердловск: УралНИИЧМ, 1976. – Т. 23. – С. 101-106.
7. Ванадий в черной металлургии / Н. П. Лякишев, Н. П. Слотвинский-Сидак, Ю. Л. Плинер и др. – М.: Metallurgia, 1983. – 192 с.
8. *Филиппенков А. А.* Отливки из ванадийсодержащих сталей. – М.: Машиностроение, 1982. – 126 с.
9. Микролегирование углеродистой стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата / В. Н. Костяков, В. Б. Сидак, С. И. Клименко и др. // Процессы литья. – 2010. – № 2. – С. 9-12.
10. Способы легирования стали ванадием: Обзорная информация / В. И. Довгопол, Ф. С. Раковский, А. Н. Глазов и др. // Чер. Metallurgia, 1980. – 16 с.

Поступила 17.04.2014