
ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 669.15-194:546.881:669.181.28

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

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

КИНЕТИКА ПОВЕДЕНИЯ ВАНАДИЯ ПРИ ПРЯМОМ ЛЕГИРОВАНИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ИЗ ОКСИДНОГО РАСПЛАВА ШЛАКА

Исследована кинетика поведения ванадия при прямом легировании углеродистой стали ванадием из расплава ванадиевого концентрата и золы ТЭС. Показано, что восстановительные процессы в жидком металле протекают вплоть до окончания разливки стали из ковша.

Ключевые слова: дуговая печь, ванадиевый концентрат, зола ТЭС, сталь, ванадий, прямое легирование, окислительный период.

Досліджено кінетику поведінки ванадію при прямому легуванні вуглецевої сталі ванадієм з розплаву ванадієвого концентрату та золи ТЕС. Показано, що відновлювальні процеси в рідкому металі протікають впродовж розливання сталі з ковша до його завершення.

Ключові слова: дугова піч, ванадієвий концентрат, зола ТЕС, сталь, ванадій, пряме легування, окислювальний період.

The kinetics behavior of vanadium doping during direct carbon steel melt of vanadium with vanadium concentrate and TPP ash. It is shown that the reduction processes in the liquid metal flowing until the end of the casting ladle.

Keywords: arc furnace, vanadium concentrate, TPP ash, steel, vanadium, direct doping, oxidation period.

Анализ литературных данных показывает, что прямое легирование стали ванадием из оксидного расплава является технологичным и позволяет уменьшить безвозвратные потери ванадия, расширить ресурсы материалов для легирования ванадием, а, следовательно, увеличить объем производства ванадиевых сталей, существенно снизить их себестоимость.

Перспективность этого способа легирования стали подтверждена результатами многочисленных исследований [1-5].

Актуальность этого направления в легировании стали заключается еще и в том,

что в Украине отсутствуют сырьевые ресурсы для производства большинства легирующих элементов, в том числе, ванадия.

Анализ имеющихся данных показал, что выполненные исследования охватывают широкий круг вопросов, относящихся к легированию стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата.

Однако данные о кинетике поведения ванадия в процессе легирования стали из оксидного расплава ванадиевого концентрата и золы ТЭС практически отсутствуют. Это не позволяет установить закономерности протекания физико-химических процессов при прямом легировании стали ванадием.

С целью восполнения имеющихся данных о поведении ванадия при прямом легировании углеродистой стали ванадием из расплава ванадиевого концентрата и золы ТЭС в работе были проведены плавки металла в дуговой печи постоянного и переменного тока с кислой футеровкой в лабораторных и промышленных условиях. Методика исследования кинетики поведения ванадия включала отбор проб жидкого металла по ходу плавки после полного расплавления шихты.

При проведении лабораторных плавок в дуговой печи постоянного тока исходной шихтой служила углеродистая сталь следующего состава, %: 0,28 C; 0,32 Si; 0,35 Mn; 0,16 Ni; 0,23 Cr и ванадиевый концентрат, химический состав которого приведен в таблице. В качестве восстановителя и флюсообразующей присадки использовали ферросилиций марки ФС65 и известь. Ванадиевый концентрат вводили в ванну печи вместе с ферросилицием, известью и металлической шихтой в начале плавки. Результаты исследований кинетики поведения ванадия при плавке стали в дуговой печи постоянного тока приведены на рис. 1.

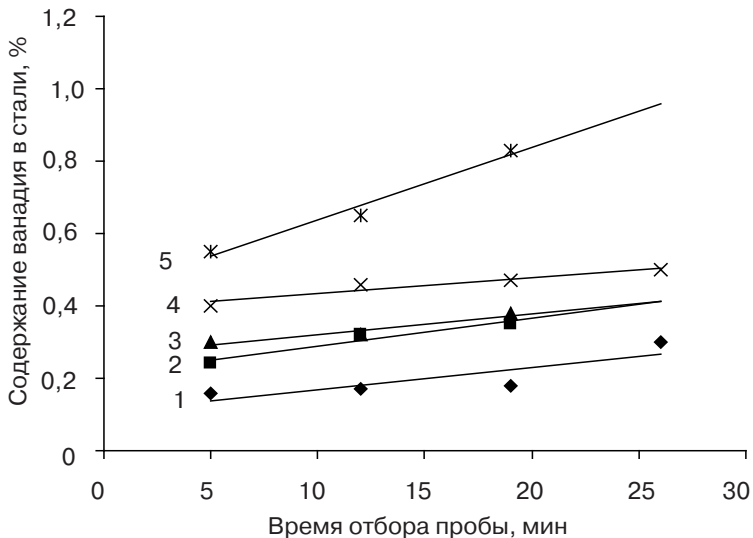


Рис. 1. Изменение содержания ванадия в стали по ходу плавки: 1-5 – номера плавков

Из анализа приведенных данных следует, что с момента полного расплавления шихты концентрация ванадия в стали увеличивается. Например, содержание ванадия во второй пробе (плавка 2) по отношению к первой увеличилось на 15 %, а в последующих пробах его возрастание составляло около 2 %. Аналогичная ситуация наблюдается в остальных плавках. Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что восстановление ванадия происходит в течение всего процесса плавки вплоть до разливки жидкой стали из печи.

Плавки в промышленных условиях (в дуговой печи переменного тока) проводили

Получение и обработка расплавов

по двум вариантам. В первой серии плавков стали в качестве легирующей смеси использовали золу ТЭС, во второй – ванадиевый концентрат с добавкой 10 % золы ТЭС (таблица).

Химический состав золы ТЭС и ванадиевого концентрата

Легирующий компонент	Содержание оксидов, массовая доля, %										
	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S
Зола ТЭС	30,18	25,33	0,013	6,0	1,005	0,155	2,91	–	–	1,148	2,0
Ванадиевый концентрат	20,0	35,5	9,5	16,0	2,5	8,5	3,0	3,0	2,0	–	–

Легирующую смесь (оксидные материалы + ферросилиций и известняк) загружали в печь вместе с металлической составляющей шихты на подину печи. В конце каждого периода плавки отбирали пробы металла для определения химического состава стали. В случае легирования стали из расплава золы ТЭС раскисление шлака в конце окислительного периода не производилось. При плавке стали с использованием концентрата в качестве легирующей составляющей в шихте шлак окислительного периода раскисляли ферросилицием за 20 мин до его скачивания. На рис. 2 приведено изменение содержания ванадия в стали по периодам плавки.

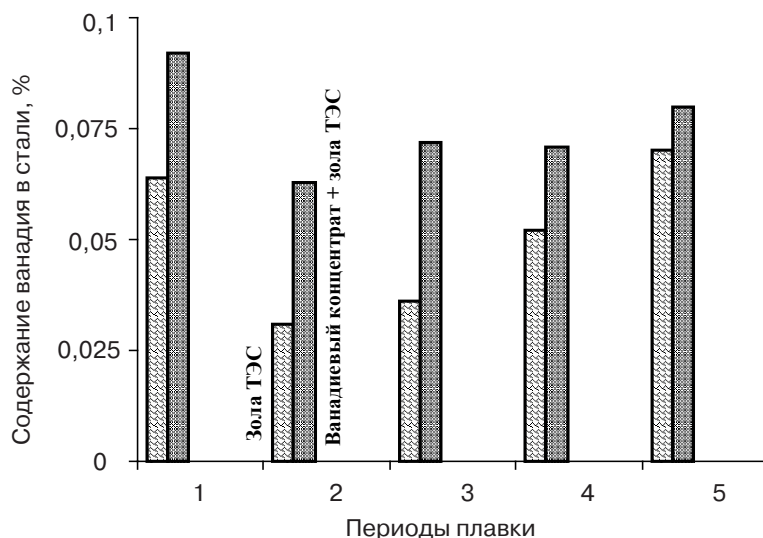


Рис. 2. Изменение содержания ванадия в стали по периодам плавки: 1 – период расплавления шихты; 2 – окислительный период; 3 – восстановительный период; 4 – период разлива (ковш 1); 5 – период разлива (ковш 2)

Анализ данных показывает, что при плавке без раскисления шлака содержание ванадия в металле после полного расплавления шихты составляет 0,064 % и снижается до 0,031 в окислительном периоде плавки. Это объясняется тем, что высокая окисленность жидкой ванны (вследствие введения железорудных окатышей для окисления углерода и магннца) и недостаточный перегрев жидкого металла приводят к окислению восстановленного ванадия.

Примечательно низкая степень восстановления ванадия, что свидетельствует о недостаточной полноте протекания восстановительных процессов. Возможно также окисление восстановленного ванадия за счет повышенного содержания влаги в золе ТЭС.

Во второй серии плавов для легирования стали использовали ванадиевый концентрат с добавлением 10 % золы ТЭС и раскислением шлака в конце окислительного периода ферросилицием.

Из анализа приведенных данных следует, что после полного расплавления шихты достигается высокая степень восстановления ванадия из шлака и его содержание составляет 0,092 %, а в окислительном периоде плавки оно снижается до 0,062 % вследствие вторичного окисления ванадия. После раскисления шлака в конце окислительного периода происходит довосстановление V_2O_5 , о чем свидетельствует увеличение содержания ванадия в металле в последующих периодах плавки (рис. 2). В конце разливки стали содержание ванадия достигает 0,080 %.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить некоторые закономерности протекания физико-химических процессов при прямом легировании углеродистой стали ванадием из расплава ванадиевого концентрата и золы ТЭС. В частности, показано, что восстановительные процессы в жидкой ванне протекают вплоть до окончания разливки металла в литейные формы.



Список литературы

1. Филиппенков А. А. Отливки из ванадийсодержащих сталей. – М.: Машиностроение, 1982. – 126 с.
2. Способы легирования стали ванадием / В. И. Довгопол, Ф. С. Раковский, А. Н. Глазов и др. // Чер. металлургия. Обзорная информация. – М.: Черметинформация, 1980. – 16 с.
3. Костяков В. Н., Сидак В. Г. Перспективы применения технологии прямого легирования литейных сплавов оксидами ванадия // Процессы литья. – 2008. – № 3. – С. 26-30.
4. Бобкова О. С., Барсегян В. В. Перспективы развития технологий прямого легирования стали из оксидных расплавов // Металлург. – 2006. – № 9. – С. 46-49.
5. Романенко В. И., Наконечный А. Я., Сиников Р. В. Экономическая эффективность технологии прямого легирования стали // Металлургическая и горноруд. пром-сть. – 2011. – № 3. – С. 96-101.

Поступила 17.02.2014

Вниманию авторов!

Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи — не более **10 стр.**, рисунков — не более **5**.

Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов — формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.

Статьи в редакции проходят научное рецензирование.