

В. Н. Костяков, В. Б. Сидак*, А. И. Мацкул, М. Т. Левчук*, А. Н. Сушков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

* Днепродзержинский сталелитейный завод, Днепродзержинск

Опробование в промышленных условиях технологии легирования углеродистой стали ванадием из ванадиевого концентрата и расплава золы ТЭС

Приведены данные опытно-промышленной проверки технологии легирования углеродистой стали ванадием из оксидного расплава золы ТЭС и ванадиевого концентрата. Показано, что в печи с кислой футеровкой без раскисления шлака в окислительном периоде плавки имеет место низкая степень восстановления ванадия. Раскисление шлака в конце окислительного периода существенно повышает усвоение ванадия.

Ключевые слова: сталь, дуговая печь, ванадий, шлак, плавка, легирование, концентрат

Известно, что повышение эксплуатационных свойств стали, в том числе и литой, на практике достигается ее легированием (наиболее эффективный способ) и термической обработкой. Комплексное использование марганца, кремния, хрома и ванадия для легирования стали позволяет значительно повысить служебные свойства литых деталей. Следует также отметить, что рациональное сочетание этих элементов с учетом содержания углерода, серы, фосфора и термической обработки делает возможным получать сталь с повышенной прочностью, пластичностью и ударной вязкостью с удовлетворительными литейными свойствами.

В металлургии для легирования стали широко применяется ванадий [1, 2]. Обычно легирование стали ванадием осуществляется введением феррованадия в сталеплавильный агрегат при завершении плавки или в ковш на выпуске металла из печи. Однако феррованадий, производимый на ферросплавных заводах СНГ, весьма дорогой и дефицитный. Поэтому изыскание эффективных способов легирования стали и чугуна с использованием вместо феррованадия ванадийсодержащих лигатур, конвертерных шлаков, ванадиевых чугунов, отработанных катализаторов и других материалов экономически оправдано. Особенно это актуально для Украины, где для производства феррованадия нет сырьевых ресурсов.

Одной из перспективных технологий получения лигатур и сплавов из различных отходов металлургии и смежных отраслей является жидкофазное восстановление оксидов металлов. Многолетние исследования, выполненные в ФТИМС НАН Украины в этом направлении, позволили создать научные и технологические основы получения лигатур и сплавов из оксидосодержащих материалов и обосновать экономическую целесообразность их применения [3].

Принципы жидкофазного восстановления оксидов металлов положены в основу прямого легирования

стали и чугуна ванадием, хромом, марганцем и другими элементами из расплава оксидных материалов [4-6].

По результатам исследований [4] установлено, что степень усвоения ванадия сталью характеризуется коэффициентом распределения ванадия между металлом и шлаком. Она определяется, в первую очередь, активностью закиси железа в шлаке, иными словами, концентрацией оксидов железа в шлаке, его химическим составом и температурой.

При выплавке стали в основной печи низкого значения коэффициента распределения можно достичь лишь при небольшом содержании оксидов железа в шлаке. Благоприятное распределение ванадия в кислом процессе возможно при более высоких концентрациях оксидов железа в шлаке. Однако с ростом температуры этот показатель снижается.

Следует отметить, что при прямом легировании стали ванадием могут использоваться оксиды ванадия в чистом виде или как составляющая часть сложных соединений, вводимых в плавильный агрегат в процессе плавки.

Основные требования к данным материалам: достаточно высокое содержание оксидов ванадия и минимальное – балластных оксидов и вредных примесей. К таким материалам относятся ванадиевый концентрат и зола ТЭС, образующаяся при сжигании мазута в топках паровых котлов.

Опробование технологии прямого легирования углеродистой стали ванадием из расплава золы ТЭС и ванадиевого концентрата было проведено на Днепродзержинском сталелитейном заводе (ДСЛЗ).

Опытные плавки проводили в дуговой печи ДСП-3 с кислой футеровкой без изменения существующей технологии выплавки сталей 20ГЛ и 20ФЛ. Химический состав золы ТЭС был следующий, %: 25,33 Fe₂O₃; 6,0 SiO₂; 0,013 MnO; 1,005 CaO; 0,155 TiO₂; 2,91 Cr₂O₃; 30,18 V₂O₅; 1,148 P₂O₅; 2,0 S. Ванадиевый концентрат содержал, %: 20,0 V₂O₅; 16,0 SiO₂; 9,5 MnO; 8,5 TiO₂; 3,0 Cr₂O₃; 2,5 CaO; 3,0 MgO; 2,0 Al₂O₃; 35,5 Fe₂O₃.

Легирующая смесь (оксидные материалы + ферросилиций и известняк) загружалась вместе с металлической составляющей шихты на подину печи из расчета получения содержания ванадия в стали 0,10-0,12 %.

В конце каждого периода плавки отбирали пробы металла для определения химического состава стали.

В первом периоде плавки производилось расплавление металлической шихты и восстановление оксида ванадия. После полного расплавления шихты шлак скачивался из печи, и наводился новый из известняка и плавикового шпата.

В окислительном периоде плавки окисление ванны печи производилось железорудными окатышами при температуре жидкого металла не ниже 1570 °С с вводом известняка для поддержания заданной основности шлака 2,0-2,5. Для облегчения скачивания шлака окислительного периода его вспенивали присадками комплексного модификатора МК-21 и плавикового шпата. Затем на зеркало ванны печи присаживались брикеты ферросиликомарганца марки БМnС17Р35, кусковой ферросилиций марки ФС45, шлаковая смесь (известняк + плавиковый шпат). После ввода всех раскислителей и шлакообразующих присадок увеличивали нагрузку печи для более интенсивного проплавления.

После расплавления шлаковой смеси проводили предварительное раскисление шлака комплексным модификатором, который затем вместе с известняком (для раскисления шлаковой смеси) присаживали в ванну печи после отбора пробы. Последняя порция раскислительной смеси присаживалась в печь за 10 мин до выпуска плавки.

Температура жидкой стали перед выпуском в ковш составляла 1690-1720 °С.

В первой серии плавки в качестве легирующего компонента использовалась зола ТЭС, во второй – ванадиевый концентрат с добавкой до 10 % золы ТЭС. В первом случае не производилось раскисление шлака в конце окислительного периода. При плавке стали с использованием концентрата в качестве легирующей составляющей в шихте шлак окислительного периода раскисляли ферросилицием за 20 мин до его скачивания.

В табл. 1 приведено изменение химического состава жидкого металла по ходу плавки и в ковшах.

Из приведенных данных следует, что в процессе плавки химический состав жидкого металла достаточно стабилен практически по всем элементам, за исключением ванадия. Так, при содержании ванадия в металле

после расплавления шихты 0,064 % концентрация его снижается до 0,031 % в окислительном периоде плавки. Это объясняется тем, что высокая окисленность жидкой ванны (вследствие введения железорудных окатышей для окисления углерода и марганца) и недостаточный перегрев жидкого металла приводят к окислению восстановленного ванадия. В восстановительном периоде плавки концентрация ванадия в жидком металле практически не изменяется.

Примечательна 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. Так как содержание ванадия в выплавленной стали было понижено, в ковш вводился феррованадий ФВд50 для получения заданной концентрации его в металле в соответствии с требованиями ТУ.

Обращает на себя внимание значительное содержание серы в выплавленной стали. Причина этому – ее высокое содержание в золе ТЭС (до 2 %). Поэтому при использовании золы в качестве легирующего материала необходимо в технологическом процессе предусматривать внепечную обработку жидкой стали.

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

Изменение химического состава жидкого металла по ходу плавки и в ковшах приведено в табл. 2.

Анализ приведенных данных показывает, что в период расплавления шихты достигается высокая степень восстановления ванадия из расплава ванадиевого концентрата и его содержание в металле составляет 0,092 %, в окислительном периоде

Таблица 1

Изменение химического состава жидкого металла по ходу плавки и в ковшах

Периоды плавки	Химический состав металла, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Cu	S	P
Расплавление	0,32	–	–	–	–	0,064	–	0,054	0,033
Окисление	0,17	–	–	–	–	0,031	–	0,050	0,032
Восстановление	0,17	0,97	0,35	0,05	0,12	0,36	0,09	0,054	0,036
Первый ковш, сталь 20ГЛ	0,20	1,25	0,36	0,06	0,13	0,052	0,10	0,054	0,038
Второй ковш, сталь 20ГЛ	0,20	1,06	0,42	0,06	0,13	0,070	0,10	0,052	0,040

Таблица 2

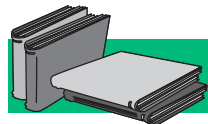
Химический состав жидкого металла по ходу плавки и в ковшах

Периоды плавки	Химический состав металла, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Cu	S	P
Расплавление	0,41	–	–	–	–	0,092	–	0,034	0,027
Окисление	0,16	–	–	–	–	0,063	–	0,032	0,024
Восстановление	0,19	0,75	0,29	0,05	0,13	0,072	0,11	0,032	0,028
Первый ковш, сталь 20ФЛ	0,22	1,20	0,36	0,06	0,13	0,071	0,11	0,030	0,028
Второй ковш, сталь 20ГЛ	0,24	1,07	0,44	0,06	0,12	0,080	0,11	0,039	0,029

плавки оно снижается до 0,062 % вследствие окисления ванадия. После раскисления шлака в конце окислительного периода происходит довосстановление пятиоксида ванадия, содержание ванадия в металле возрастает и в конце разливки достигает 0,080 %.

Таким образом, опробованные технологии прямого легирования углеродистой стали ванадием из оксидного расплава ванадиевого концентрата и золы

ТЭС обеспечивают высокую степень усвоения ванадия и делают процесс легирования достаточно эффективным. За счет большой разницы в стоимости феррованадия и оксидных материалов достигается значительный экономический эффект, обеспечивающий снижение себестоимости выпускаемой металлопродукции.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ванадий в черной металлургии / К. П. Лякишев, Н. П. Слатвинский-Сидак, Ю. Л. Плинер и др. – М.: Металлургия, 1983. – 192 с.
2. Голиков И. Н., Гольдштейн М. И., Мурзин И. И. Ванадий в стали. – М.: Там же, 1968. – 290 с.
3. Технологические процессы получения лигатур и сплавов из техногенных отходов в электропечах / В. Н. Костяков, Е. Б. Полетаев, С. Н. Медведь и др. // Процессы литья. – 2007. – № 1-2. – С. 8-19.
4. Филиппенков А. А. Отливки из ванадийсодержащих сталей. – М.: Машиностроение, 1982. – 125 с.
5. Бобкова О. С., Барсегян В. В. Перспективы развития технологии прямого легирования стали из оксидных расплавов. // Металлург. – 2006. – № 9. – С. 43-46.
6. Костяков В. Н., Сидак В. Б. Перспективы применения технологии прямого легирования литейных сплавов оксидами металлов // Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 26-30.

Анотація

Костяков В. Н., Сидак В. Б., Мацкул А. І., Левчук М. Т., Сушков А. Н.

Опробування в промислових умовах технології легування вуглецевої сталі ванадієм з ванадієвого концентрату та розплаву золи ТЕС

Приведено дані дослідно-промислової перевірки технології легування вуглецевої сталі ванадієм з оксидного розплаву золи ТЕС і ванадієвого концентрату. Показано, що в печі з кислою футерівкою без розкислення шлаку в окислювальному періоді плавки має місце низький ступінь відновлення ванадію. Розкислювання шлаку в кінці окислювального періоду істотно підвищує засвоєння ванадію.

Ключові слова

сталь, дугова піч, ванадій, шлак, плавка, легування, концентрат

Summary

Kostyakov V., Sidak V., Matskul A., Levchuk M., Sushkov A.

Testing of the technology of carbon steel alloying by vanadium from the thermal power plants ash melt and vanadium concentrate in industrial conditions

The data of the experimental-industrial testing of the technology of carbon steel alloying by vanadium from the oxide melt of ash of thermal power plants and vanadium concentrate are given. It is shown that in a furnace with acid lining without the slag deoxidizing during the oxidation period of melting the low degree of vanadium reduction takes place. The slag deoxidizing at the end of the oxidizing period substantially increases assimilation of vanadium.

Keywords

steel, arc furnace, vanadium, slag, melting, alloying, concentrate

Поступила 04.08.10