

УДК 669.15-196

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ

Дмитриенко В.И., к.т.н., доцент кафедры «Металлургия черных металлов» (kafamsf@sibsiu.ru)

Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Изучены закономерности процессов микролегирования и модифицирования стали техногенными и природными материалами. Исследованы металлургические свойства барийстронциевого природного модификатора, оценено его влияние на температуру плавления формирующегося восстановительного шлака. Полученные данные показали, что применение модификатора в условиях промышленного производства весьма технологично. С использованием программного комплекса «Терра» выполнена оценка восстановимости бария и стронция кремнием и алюминием из их оксидов. Изучен возможный механизм модифицирующего воздействия бария и стронция на качество металла. Показаны возможности использования ванадиевого конвертерного шлака для микролегирования стали ванадием. Сделана оценка эффективности восстановления ванадия углеродом расплавленной стали. Приведены данные промышленного опробования изучаемых материалов, которые показали хорошую сходимость с теоретическими расчетами и выводами. Даны рекомендации по оптимизации технологий микролегирования и модифицирования. Использование исследованных материалов позволяет улучшить технико-экономические показатели процесса производства сталей и значительно повысить качество конечной металлопродукции. Сделаны выводы о перспективах значительного расширения использования техногенных и природных материалов.

Ключевые слова: модифицирование, микролегирование, ванадий, барий, стронций.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-6-365-370

Значительные резервы повышения качества металлов заложены в возможности активного и целенаправленного формирования их структуры и свойств путем введения в расплав модификаторов и микролегирующих добавок.

Модифицирование и микролегирование стали и чугуна являются наиболее экономичными и высокоэффективными методами воздействия на формирование литой структуры слитков и отливок и придания металлу повышенных технологических и служебных свойств [1].

Среди модифицирующих элементов можно, прежде всего, выделить щелочноземельные металлы (ЩЗМ), а самым востребованным микролегирующим элементом для получения металла с высокими служебными свойствами в настоящее время является ванадий [2 – 4].

Отечественная промышленность производит большое количество сплавов и лигатур, содержащих модифицирующие и микролегирующие элементы в различных сочетаниях, однако получение лигатур, содержащих ЩЗМ, является энерго-, трудо- и материалоемким производством в черной металлургии. При этом операции выплавки, разливки, грануляции, дробления, упаковки лигатур не только требуют больших затрат труда, но и сопровождаются потерями металла. Такие производства являются экологически вредными и взрывоопасными [5, 6].

При разработке технологических приемов модифицирования стали барием и стронцием необходимо учитывать, с одной стороны, высокую температуру

плавления барийстронцийсодержащих лигатур, а с другой, – низкую их плотность. В связи с этим актуальной является задача разработки технологии модифицирования чугуна и стали барийстронциевым модификатором, полученным из комплексных руд, содержащих барий и стронций, уникальное месторождение которых открыто и разрабатывается в России на северо-востоке Иркутской области. Минеральный состав сырья представлен Sr-Ca-Ba-карбонатом (70 – 80 %), калиевым полевым шпатом (10 %), пироксеном (10 – 20 %). Подготовленные руды поставляются в виде модификатора, химический состав которого представлен следующими данными: 13,0 – 19,0 % BaO; 3,5 – 7,5 % SrO; 17,5 – 25,5 % CaO; 19,8 – 29,8 % SiO₂; 0,7 – 1,1 % MgO; 2,5 – 3,5 % K₂O; 1,0 – 2,0 % Na₂O; 1,5 – 6,5 % Fe₂O₃; 0,0 – 0,4 % MnO; 1,9 – 3,9 % Al₂O₃; 0,7 – 1,1 % TiO₂; 16,0 – 20,0 % CO₂. Проведенный рентгенофазовый анализ показал, что основными соединениями, входящими в состав модификатора, являются: баритокальцит BaCa(CO₃)₂, кальцит CaCO₃, кальцитостронцианит CaSr(CO₃)₂, примеси доломита MgCO₃ и сидерита FeCO₃.

Исследование кинетики диссоциации карбонатов, входящих в состав барийстронциевого модификатора, показывает, что при температурах сталеплавильных процессов скорости протекания реакций диссоциации минеральных составляющих слабо зависят от температуры. Фактическая скорость диссоциации достаточно велика, все реакции, включая и стадию нагрева, закан-

чиваются примерно за 5 мин и не должны вызывать затруднения при использовании этого материала.

Для определения влияния барийстронциевого модификатора на свойства формируемого шлака применили методику горячего лабораторного моделирования: в печи Таммана в алундовом тигле расплавливали навеску металла массой 100 – 130 г. После расплавления металл раскисляли кристаллическим кремнием в количестве 0,5 г. На поверхность расплавленного металла присаживали шлаковые смеси, состоящие в первом варианте из извести и плавленого шпата 10 г (5:1), во втором варианте в смесь добавляли 15 % барийстронциевого модификатора. После проплавления шлаковой смеси тигель извлекали из печи и охлаждали на воздухе. Шлак отделяли от металла и определяли температуру его плавления. Усредненные температуры плавления по пяти измерениям следующие: модификатор барийстронциевый – 1649 К; шлак без модификатора – 1753 К; шлак + 15 % модификатора – 1742 К.

Из полученных результатов следует, что модификатор сам имеет низкую температуру плавления (1649 К) и кроме того, несколько снижает температуру плавления основных шлаков.

Для изучения процесса взаимодействия шлаковых расплавов, содержащих соединения бария и стронция, с металлическим расплавом были проведены лабораторные исследования. Металл, выплавленный в лабораторной печи и после раскисления, обрабатывали шлаковыми смесями (известь, барийстронциевый модификатор) и раскисляли алюминиевым порошком. Для сравнения в одной из плавов при обработке модификатор не применяли.

Металлографическое исследование образцов опытных плавов показало, что обработка металла соединениями бария и стронция влияет на структурообразование. Образец, при выплавке которого в состав шлакообразующей смеси не вводили соединения бария и стронция, имел видманштеттову структуру, характерную для сталей с низкими механическими свойствами, а образцы, обработанные шлакообразующими смесями, содержащими барий и стронций, имели структуру, представляющую собой пластинчатый перлит с выделениями феррита по границам зерен и отдельными выделениями феррита внутри перлитных зерен, характерную для сталей с более высокими механическими свойствами.

Для выявления присутствия в стали бария и стронция образцы исследовали методом сканирующей электронной микроскопии. С целью обнаружения места локализации бария и стронция в стали (твердый раствор или включения вторых фаз) был выполнен анализ ее структуры методом экстрактных реплик с использованием просвечивающей электронной дифракционной микроскопии. Исследование показало, что частицы, экстрагированные на реплику, имеют малые размеры (в пределах 50 – 500 нм), при этом анализ микроэлектроннограммы показывает, что наряду с оксидами и карбидами железа в исследуемых образцах присутст-

вуют соединения бария и стронция: C_2BaO_4 , $SrFeO_{2,97}$, $Ba_2Fe_6O_{11}$, $BaSrFe_4O_8$, $Ba_3Fe_2O_6$, $Ba_2Fe_{14}O_{22}$.

Проведенное исследование подтвердило, что барий и стронций активно участвуют в образовании структурных составляющих в момент кристаллизации. Наличие их в объеме зерна свидетельствует о взаимодействии этих элементов с металлическим расплавом с определенным влиянием на структурообразование металлической матрицы. Наличие сложных соединений, в состав которых входят барий и стронций, указывает на взаимодействие элементов с неметаллическими включениями.

Карбонаты бария и стронция при относительно невысоких температурах переходят в оксиды, поэтому для процессов обработки стали представляет интерес изучения поведения именно оксидных соединений бария и стронция [7].

Для определения условий восстановления бария и стронция из барийстронциевого модификатора использовались методы термодинамического моделирования на основе расчета равновесных состояний в модельных термодинамических системах (программный комплекс «Терра»), которые состоят из совокупности элементов Ba–Sr–O–Si–Al, представленной набором веществ SrO–BaO–Si–Al. Исходный состав системы варьировался заданием количества восстановителей Si и Al от нуля до 1 кг при исходном содержании BaO = 1 кг при температурах, близких к 1873 К.

При использовании в качестве восстановителя кремния восстановление бария протекает пропорционально количеству восстановителя до значений 0,06 кг. При этом восстанавливается около 60 % бария. При дальнейшем увеличении количества восстановителя степень восстановления бария не изменяется. При взаимодействии оксида бария и кремния, кроме бария, образуется и $BaSiO_3$, содержание которого (так же, как и бария) растет при увеличении количества кремния до 0,06 кг и далее не изменяется, т.е. при восстановлении бария из оксида кремнием около 30 % бария переходит в его силикат ($BaSiO_3$) [8].

Иные закономерности наблюдаются при восстановлении стронция из оксида кремнием. Количество восстановленного стронция медленно растет с ростом содержания кремния во всем заданном диапазоне расхода восстановителя, причем стронций восстанавливается в меньшей степени, чем барий. Даже при соотношении содержаний оксида стронция и кремния 1:1 количество восстановленного стронция не превышает 15 %. Одновременно с восстановлением стронция его оксид взаимодействует с образующимся кремнеземом с получением силиката стронция $SrSiO_3$.

Анализируя результаты термодинамического моделирования, следует отметить, что в условиях внепечной обработки при модифицировании стали барий-стронций-содержащими материалами и использовании кремнийсодержащих ферросплавов для раскисления шлака происходит частичное восстановление бария, стронций

практически не восстанавливается, тем более, что расход кремния на восстановление ограничен уровнем его марочного содержания в стали.

Более высокая степень восстановления бария и стронция наблюдается при использовании алюминия. Количество бария линейно возрастает, а количество ВаО линейно снижается до нуля при увеличении присадок алюминия от 0 до 0,08 кг. Степень восстановления бария составляет около 70 %. Одновременно с ростом количества бария растет и содержание $BaAl_2O_4$ (до 0,42 кг). Похожая закономерность наблюдается при восстановлении стронция, однако степень его восстановления составляет только 40 – 50 %.

Таким образом, модифицирование стали природным материалом термодинамически обосновано. Эффект от модифицирования барием может проявиться в сталях, раскисленных только кремнием, а для модифицирования стронцием или совместного модифицирования барием и стронцием необходимо в качестве раскислителя применять алюминий.

Сравнить результаты использования модификатора в промышленных условиях с термодинамическими расчетами не представляется возможным из-за недоступности методов аналитического определения содержания бария и стронция в металле. Эту оценку можно выполнить по косвенным данным через изучение влияния обработки модификатором на механические свойства готового металла.

Экспериментальные исследования были реализованы при выплавке стали марки 25Г2С в дуговых электропечах литейного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Плавки проводили по двухшлаковой технологии. Модификатор присаживали в конце восстановительного периода совместно с раскислительной смесью (порошок ферросилиция и коксик). Часть модификатора (25 % от общего количества) вносили в ковш во время выпуска. Шлак перед выпуском дополнительно раскисляли гранулированным алюминием, а металл в ковше раскисляли чушковым алюминием (примерно 1 кг/т).

Металл разливали в слитки массой 7,5 т, прокатывали на квадрат 100 с последующим перекатом на арматуру № 14.

Механические свойства стали контролировали по стандартным методикам в лаборатории механических испытаний ЦЗЛ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Дополнительно испытания на ударную вязкость проводили при следующих температурах: 20; 0; –20; –40; –60; –70 °С. Для сравнения таким же испытаниям подвергли четыре плавки стали 25Г2С, выплавленные в 25-т дуговой печи без обработки модификатором. Данные механических испытаний и металлографических исследований приведены в таблице.

Увеличение расхода модификатора с 4,0 – 4,7 до 7,7 кг/т приводит к дополнительному возрастанию ударной вязкости (в 2,57 – 3,02 раза) в области исследованных температур испытаний (от 20 до –70 °С).

Как следует из данных металлографического анализа, обработка стали карбонатитом снижает ее загрязненность неметаллическими включениями и обеспечивает высокий уровень их глобуляризации. Одновременно фиксируется измельчение ферритоперлитной структуры стали за счет устранения грубых участков кремний-марганцовистых ликвационных образований [9].

Несколько серий плавков по модифицированию стали барийстронциевым модификатором были также проведены в дуговых сталеплавильных печах цеха № 10 ООО «Юргинский машзавод» при выплавке стали марок 35ХГСЛ, 30ХГСФЛ, 12НД2ФХ с применением двухшлаковой технологии. После выпуска плавки во время разлива отбирали ковшовую пробу металла для проведения анализа химического состава и заливали пробные бруски для проведения механических испытаний. Механические испытания изготовленных образцов проводили в лабораториях ООО «Юргинский машзавод».

Сравнительные результаты показали устойчивый рост предела прочности и предела текучести на 15 – 30 %, а также увеличение ударной вязкости при 20 и –40 °С на 10 %.

Результаты механических и металлографических исследований

Results of mechanical and metallographic researches

Номер плавки	Расход модификатора, кг/т	КCU, кгс·м/см ² , при температуре, °С						I·10 ³	Процент глобулей оксидов	Процент глобулей оксисульфидов
		20	0	–20	–40	–60	–70			
760039	0	9,25	8,88	6,66	6,52	4,85	3,36	84,03	0	0
760035	0	11,03	9,28	8,61	8,07	6,67	3,92	–	–	–
760037	0	11,80	8,35	6,85	4,90	2,01	1,92	96,00	25	25
660012	0	11,23	11,00	8,03	8,97	3,30	4,37	53,84	18	15
760050	4,0	11,51	10,44	10,63	8,63	9,18	7,19	27,03	19	36
760260	4,3	12,80	11,20	8,63	10,43	8,33	5,10	30,80	19	75
760264	4,7	11,20	9,93	6,33	6,63	5,67	4,52	–	–	–
760267	7,7	16,30	13,60	12,63	12,17	10,80	10,20	41,02	68	59

Примечание. I – индекс загрязненности.

Производство легирующих ванадийсодержащих сплавов основано на сложной многоступенчатой технологии, связанной с высокими потерями ванадия и большими трудовыми и энергетическими затратами, обуславливающими высокую стоимость и дефицитность сплавов, что ограничивает возможность их применения [10, 11].

Среди техногенных ванадийсодержащих материалов в качестве легирующего компонента наибольшее распространение получил конвертерный ванадиевый шлак [12], однако в существующих технологиях обработки стали ванадиевым шлаком применяют имеющие высокую стоимость алюминий, кремний, кальций [13]. Это приводит к удорожанию процесса и повышенному содержанию алюминия и неметаллических включений в металле, а также нестабильному усвоению легирующего элемента. Использование углесиликотермического восстановления ванадия и других элементов, содержащихся в конвертерном ванадиевом шлаке, позволило исключить эти недостатки.

Теоретические исследования процессов восстановления ванадия из оксидных ванадийсодержащих материалов и обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком осуществляли методом термодинамического моделирования с использованием готовых программных продуктов – комплексов «Астра» и «Терра» [14].

Моделировали технологические операции на выпуске: металл выпускается из 100-т электродуговой печи в ковш, куда присаживается шлакообразующая смесь извести и ванадийсодержащего шлака. Раскислители и легирующие присаживаются на установке ковш-печь при дальнейшей обработке расплава, т.е. основным восстановителем ванадия выступает углерод металла. Шлак формируется из шлакообразующих ванадийсодержащего шлака, попавшего в ковш при выпуске, и печного шлака. При расчетах принимали, что количество извести, присаживаемой на выпуске, равно 0,7 т, количество электропечного шлака равно 0,1 т.

По полученным данным был рассчитан теоретический коэффициент извлечения ванадия, равный отношению количества полученного в металле ванадия к количеству ванадия, внесенному с ванадийсодержащим шлаком. Коэффициент имеет важное значение для оценки эффективности процесса легирования ванадием из ванадийсодержащего шлака. Значения этого коэффициента в зависимости от удельного расхода ванадиевого шлака и исходного содержания углерода показаны на рис. 1.

Из анализа результатов, представленных на рис. 1, следует, что чем выше содержание углерода в металле, тем более высокое значение имеет коэффициент извлечения ванадия и тем в меньшей степени он снижается при увеличении количества присаживаемого ванадийсодержащего шлака. Количество ванадия, перешедшего в металл, определяется количеством введенного ванадиевого шлака и содержанием углерода в выпускаемом металле [15].

Экспериментальные исследования микролегирования стали ванадием показали, что при выплавке в 100-т печах ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» стали, содержащей более 0,03 % V, содержание оксидов ванадия в ковшовом шлаке и ванадия в металле близко к расчетному.

Во время выпуска возможно восстановление ванадия кремнием и углеродом. Содержание углерода регулируется во время окислительного периода в печи и не должно превышать заданного марочного значения. Кремний вводится с силикомарганцем для предварительного раскисления из расчета получения содержания кремния в металле на уровне 0,2 % без учета угара. Изменение содержания кремния и углерода происходит пропорционально их раскислительной способности. Таким образом, после выпуска в ковше должно сложиться определенное равновесие между содержанием кремния, углерода и окислительным потенциалом шлака. На рис. 2 показано соотношение концентраций углерода и кремния в металле после выпуска на промышленных плавках [15].

Приведенные на рис. 2 данные, свидетельствуют об адекватности термодинамического моделирования промышленным условиям.

Результаты исследований показали, что в том диапазоне изменения технологических параметров, что наблюдаются при производстве сталей в реальных условиях для каждой отдельной марки стали, возможно реализовать стабильный процесс извлечения ванадия без существенных колебаний при соблюдении стабильных параметров выпуска стали. Важно отметить, что восстановительные условия, которые реализуются на практике за счет присадки раскислителей, выполняются с некоторым запасом, и небольшие присадки ванадийсодержащего шлака не сказываются на общем расходе раскислителей. Так, в проведенном исследовании

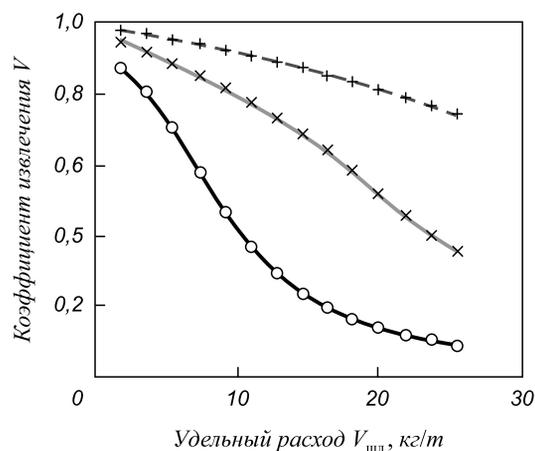


Рис. 1. Зависимость коэффициента извлечения ванадия от удельного расхода ванадийсодержащего шлака при различном исходном содержании углерода в выпускаемом металле

Fig. 1. Dependence of vanadium recovery ratio on the specific consumption of vanadium-containing slag at different initial content of carbon in the produced metal

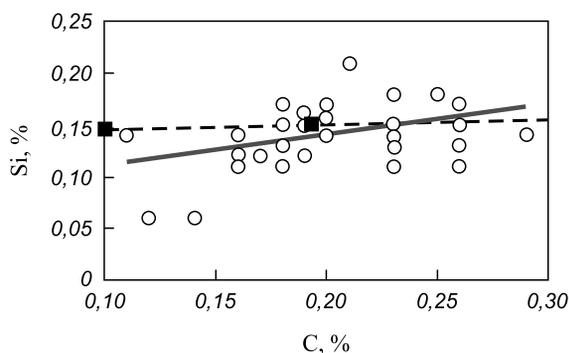


Рис. 2. Соотношение содержания углерод – кремний в металле после выпуска по данным промышленных плавков:

○ – промышленные плавки (— линия регрессии); —■— расчетные данные

Fig. 2. Correlation of carbon – silicon content in metal after the output according to the industrial melting data:

○ – industrial melting (— regression line); —■— calculation data

сквозное усвоение кремния было таким же (67 %), как и на аналогичных по химическому составу плавках без использования ванадийсодержащего шлака.

На основании результатов проведенных исследований предложена технологическая схема обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком, состоящая из двух этапов (рис. 3). При выпуске на первом этапе в ковш подаются ванадиевый шлак и шлакообразующие, происходит расплавление шлака и восстановление ванадия углеродом металла на выпуске; на втором этапе происходит довосстановление ванадия углеродом коксика и кремнием ферросилиция в агрегате ковш-печь.

Выводы. Природные и техногенные материалы имеют определенные металлургические свойства, которые

необходимо учитывать при разработке технологии их применения. При их использовании прежде всего получается значительный экономический эффект за счет меньшей стоимости материалов. Несмотря на сложный химический состав и взаимодействие с металлом через шлаковую фазу материалы обеспечивают заданное повышение служебных характеристик готовой продукции. Можно рекомендовать увеличение количества применения природных и техногенных материалов при производстве сталей и сплавов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Роль ванадия в микролегированных сталях / Р. Лангеборг, Т. Сивецки, С. Заяц, Б. Хатчинсон; под ред. Л.А. Смирнова. – Екатеринбург: изд. Государственного научного центра РФ «Уральский институт металлов», 2001. – 108 с.
3. Катунин В.В., Смирнов Л.А., Корчинский М.М., Панфилова Л.М. Стратегия успешного производства и применения ванадия // Бюл. Черная металлургия. 2005. № 6. С. 7 – 12.
4. Ванадий в черной металлургии / Под ред. Н.П. Лякишева и др. – М.: Металлургия, 1983. – 192 с.
5. Рябчиков И.В. Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами. – М.: Металлургия, 1983. – 272 с.
6. Жучков В.И., Лукин С.В. Технология ферросплавов со щелочноземельными металлами. – М.: Металлургия, 1990. – 103 с.
7. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. – М.: Химия, 1974. – 408 с.
8. Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Айзатулов Р.С., Платонов М.А. Исследование восстановления бария и стронция применительно к условиям внепечной обработки стали // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 27 – 29.
9. Черепанов А.Н., Колпак В.П., Дмитриенко В.И., Полторацкий Л.М. Кузнецов, В.А. Об использовании перспективных материалов при производстве сталей с повышенными эксплуатационными свойствами. Материалы I Евразийского симпозиума

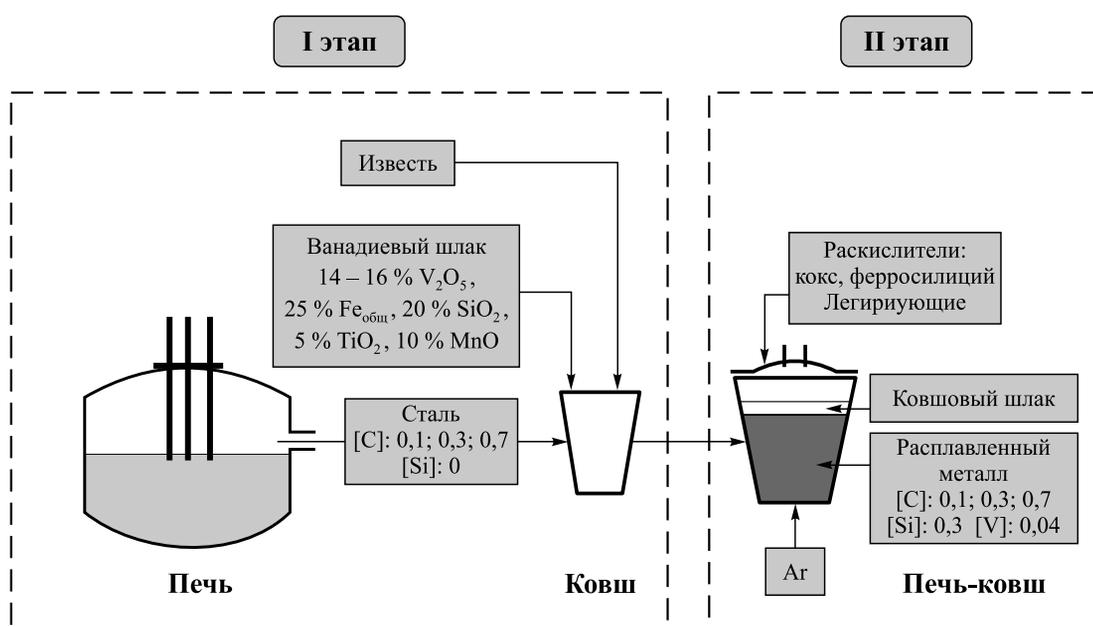


Рис. 3. Технологическая схема обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком

Fig. 3. Processing flowsheet of steel with converter vanadic slag

ма по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, 16 – 20 июля 2002 г., Якутск.

10. Технология ванадийсодержащих ферросплавов / В.П. Зайко, В.И. Жучков, Л.И. Леонтьев и др. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 515 с.
11. Смирнов Л.А., Панфилова Л.М., Беленький Б.З. Проблемы расширения производства ванадийсодержащих сталей в России // Сталь. 2005. № 6. С. 108 – 115.
12. Ровнушкин В.А. Технологические особенности ковшевого легирования сталей с применением ванадиевого шлака: Труды второго конгресса сталеплавыльщиков. – М.: МИСиС, 1994. С. 250 – 251.

13. Дерябин А.А., Козырев Н.А., Могильный В.В., Обшаров М.В., Катунин А.И. Эффективность использования ванадийсодержащих конвертерных шлаков для прямого легирования рельсовой стали ванадием в ковше // Сталь. 1998. № 2. С. 19 – 21.
14. Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д., Нохрина О.И. и др. Термодинамическая оценка возможности легирования стали при обработке ее ванадийсодержащим шлаком // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 17 – 20.
15. Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д., Нохрина О.И. и др. Использование ванадийсодержащего конверторного шлака для легирования стали ванадием // Сталь. 2010. № 10. С. 29 – 31.

Поступила 7 апреля 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. VOL. 59. NO. 6, pp. 365–370.

FEATURES OF THE APPLICATION OF NATURAL AND MAN-MADE MATERIALS FOR MICROALLOYING AND MODIFYING OF STEEL

V.I. Dmitrienko

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The article is devoted to the study of the peculiarities of microalloying processes and steel modification with technogenetics and natural materials. The authors have researched metallurgical properties of barium-strontium natural modifiers and have estimated its influence on the melting temperature of the forming reducing slag. The received data have shown that the usage of the modifier in the conditions of industrial production is highly producible. Using the software package TERRA the assessment of barium and strontium reducibility with silicon and aluminum from their oxides has been fulfilled, as well as the possible mechanisms of a modifying influence of barium and strontium on the quality of metal has been studied. The possibilities of using vanadic converter slag have been shown for steel microalloying with vanadium. Efficiency assessment of vanadium reduction with carbon of the molten steel has been done. The authors have given the data of industrial testing of the studied materials, which have shown very good convergence with the theoretical calculations and conclusions. The recommendations to optimize the technology of microalloying and modification have been given. The use of the researched materials allows improving technical and economic indices of steel production process and significantly increases the quality of the end production. The conclusions on the perspective significant widening of using the technogenetics and natural materials have been done.

Keywords: modification, microalloying, vanadium, barium, strontium.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-6-365-370

REFERENCES

1. Gol'dshtein Ya.E., Mizin V.G. *Modifitsirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stali* [Modification and microalloying of cast iron and steel]. Moscow: Metallurgiya, 1986, 272 p. (In Russ.).
2. Langeborg R., Sivetski T., Zayats S., Khatchinson B. *Rol' vanadiya v mikrolegirovannykh stalyakh* [Role of vanadium in microalloyed steel]. Smirnov L.A. ed. Ekaterinburg: izd. Gosudarstvennogo nauchnogo tsentra RF "Ural'skii institut metallov", 2001, 108 p. (In Russ.).
3. Katunin V.V., Smirnov L.A., Korchinskii M.M., Panfilova L.M. etc. Strategy of successful production and usage of vanadium. *Byul. Chernaya metallurgiya*. 2005, no. 6, pp. 7–12. (In Russ.).
4. *Vanadii v chernoi metallurgii* [Vanadium in the steel industry]. Lyakishev N.P., etc. eds. Ekaterinburg, Moscow: Metallurgiya, 1983, 192 p. (In Russ.).
5. Ryabchikov I.V. *Ferrosplavy s redkozemel'nymi i shchelochnozemel'nymi metallami* [Ferroalloys with rare-earth and alkaline-earth metals]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 272 p. (In Russ.).

6. Zhuchkov V.I., Lukin S.V. *Tekhnologiya ferrosplavov so shchelochnozemel'nymi metallami* [Technology of ferroalloys with alkaline-earth metals]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 103 p. (In Russ.).
7. Karyakin Yu.V., Angelov I.I. *Chistye khimicheskie veshchestva* [Pure chemical substances]. Moscow: Khimiya, 1974, 408 p. (In Russ.).
8. Dmitrienko V.I., Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Aizatulov R.S., Platonov M.A. Study of barium and strontium recovery in relation to the conditions of out-of-furnace steel processing. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2012, no. 4, pp. 27 – 29. (In Russ.).
9. Cherepanov A.N., Kolpak V.P., Dmitrienko V.I., Poltoratskii L.M., Kuznetsov, V.A. On the usage of perspective materials at steel production with the increased operating abilities. In: *Materialy I Evraziiskogo simpoziuma po problemam prochnosti materialov i mashin dlya regionov kholodnogo klimata, 16 – 20 iyulya 2002 g., Yakutsk* [Proceedings of 1st Eurasian symposium devoted to the problems of material and machine durability for the regions with cold climate. July 16 – 20 2002, Yakutsk]. (In Russ.).
10. Zaiko V.P., Zhuchkov V.I., Leont'ev L.I. etc. *Tekhnologiya vanadiisoderzhashchikh ferrosplavov* [Technology of vanadium-containing ferroalloys]. Moscow: IKTs "Akademkniга", 2004, 515 p. (In Russ.).
11. Smirnov L.A., Panfilova L.M., Belen'kii B.Z. Structure and properties of metals and alloys expanding the production of vanadium steel in Russia. *Steel in Translation*. 2005, vol. 35, no. 6, pp. 53–62.
12. Ravnushkin V.A. Technological peculiarities of ladle alloying of steel with the usage of vanadic slag. In: *Trudy vtorogo kongressa staleplavil'shchikov* [Proceedings of the 2nd Congress of steelmakers]. Moscow: MISiS, 1994, pp. 250–251. (In Russ.).
13. Deryabin A.A., Kozыrev N.A., Mogil'nyi V.V., Obsharov M.V., Katunin A.I. Efficiency of using V-containing converter slags for direct microalloying of rail steel in electric furnaces. *Stal'*. 1998, no. 2, pp. 19–21. (In Russ.).
14. Dmitrienko V.I., Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Rybenko I.A. Thermodynamic estimation of steel alloying possibilities while vanadium slag treatment. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2010, no. 10, pp. 17–20. (In Russ.).
15. Dmitrienko V.I., Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Aizatulov R.S., Platonov M.A. Study of barium and strontium recovery in relation to the conditions of out-of-furnace steel processing. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2012, no. 4, pp. 27–29. (In Russ.).

Information about the author:

V.I. Dmitrienko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy (kafamsf@sibsiu.ru)

Received April 7, 2015