

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО БАРИЙСТРОНЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

*М.А. Платонов, к.т.н., доц., И.Д. Рожихина\*, д.т.н., проф.,  
В.И. Дмитриенко\*, к.т.н., доц., А.С. Шарафутдинова, студ. гр.10В10  
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,  
652000, г. Юрга ул. Ленинградская, д.26, Тел. (8-384-51) 6-22-48  
E-mail: maxrauber@mail.ru*

*\*Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, 8(3843) 74-86-14,  
E-mail: kafamsf@sibsiu.ru*

Одним из главных условий развития технологий производства металла является применение относительно дешевых материалов для модифицирования, которые позволяют целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава и соответственно свойствами металлопродукции. Одним из таких перспективных материалов являются барийстронцийсодержащие карбонатные руды, месторождение которых разрабатывается на северо-востоке Иркутской области в России. Использование их для модифицирующей обработки стали позволит получать металлопродукцию с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что является весьма актуальной задачей. Комплексные карбонатные руды, содержащие барий и стронций, представлены барийстронциевым модификатором.

Результаты рентгенофазового анализа при  $T = 293 \text{ K}$  показали, что основными соединениями входящие в состав барийстронциевого модификатора являются баритокальцит  $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$ , кальциостронцианит  $\text{CaSr}(\text{CO}_3)_2$ , доломит  $\text{MgCO}_3$  и сидерит  $\text{FeCO}_3$ .

По результатам дифференциально-термического анализа барийстронциевого модификатора выяснили, что при нагреве происходит: удаление влаги, фазовые превращения в примесях, диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и кальциостронцианита. Поэтому для процессов обработки стали представляет интерес изучение поведения именно оксидных соединений бария и стронция. На разных этапах модифицирования стали в качестве восстановителей могут рассматриваться алюминий, кремний и углерод.

При реализации термодинамического моделирования использовали программный комплекс «Терра»[2], позволяющий на основе принципа максимума энтропии находить равновесный состав многокомпонентной, гетерогенной термодинамической системы для высокотемпературных условий.

Путем решения модельных задач были определены условия восстановления бария и стронция из многокомпонентных оксидных систем, которые состоят из совокупности элементов  $\text{Ba-Sr-C-O-Si-Al}$ , представленной набором веществ  $\text{SrO-BaO-C-Si-Al}$ . Исходный состав системы варьировался заданием количества восстановителей Al, Si и C от 0 до 1 килограмма. Для определения влияния температуры использовали температурный интервал 1873 – 2073 K.

Все вещества, которые могут образовываться в результате численного моделирования при заданном элементном составе смеси для температур 1873 – 2073 K по значению величины концентрации в конечном состоянии делили на значимые и незначимые с порогом значимости  $10^{-4}$  моль/кг смеси. В качестве значимых оказались конденсированная фаза, состоящая из атомов и молекул: Ba, C, Al, Si, Sr, BaO, SrO,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaSiO}_3$ ,  $\text{SrSiO}_3$ ,  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ .

### **Восстановление углеродом.**

Результаты расчетов равновесных составов в системах  $\text{Ba-O-C}$  и  $\text{Sr-O-C}$  при температуре 1873 – 2073 K в пределах изменения  $C = 0 \div 1 \text{ кг}$  представлены на рис. 1 и рис. 2. В результате проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что заметное восстановление бария углеродом из оксидов начинается при температурах более 2000 K, что реализуется в специальных электротермических процессах.

В отличие от бария, стронций практически не восстанавливается углеродом в рассматриваемом интервале температур и расходе углерода.

### **Восстановление кремнием.**

При использовании в качестве восстановителя кремния восстановление бария протекает пропорционально количеству восстановителя до значений 0,06 кг (рис. 3). При этом восстанавливается около 60 % бария. При дальнейшем увеличении количества восстановителя степень восстановления бария не изменяется. При взаимодействии BaO и Si кроме бария образуется и  $\text{BaSiO}_3$ , содержание которого, также как и бария, увеличивается при увеличении кремния до 0,06 кг и далее не изменяет-

ся. Т.е. при восстановлении бария из оксида кремнием около 30 % оксида переходит в силикат бария ( $BaSiO_3$ ). Температура оказывает слабое влияние на кинетику процесса восстановления бария кремнием, особенно вблизи стехиометрического соотношения.

Иные закономерности наблюдаются при восстановлении стронция из оксида кремнием (рис.4). Количество восстановленного стронция медленно растет с ростом кремния во всем заданном диапазоне расхода восстановителя, причем стронций восстанавливается в меньшей степени, чем барий. Даже при соотношении оксида стронция и кремния 1:1 количество восстановленного стронция не превышает 15 %. Одновременно с восстановлением стронция оксид стронция взаимодействует с образующимся кремнеземом с образованием силиката стронция  $SrSiO_3$ . Температура оказывает слабое влияние на кинетику процесса восстановления стронция кремнием.

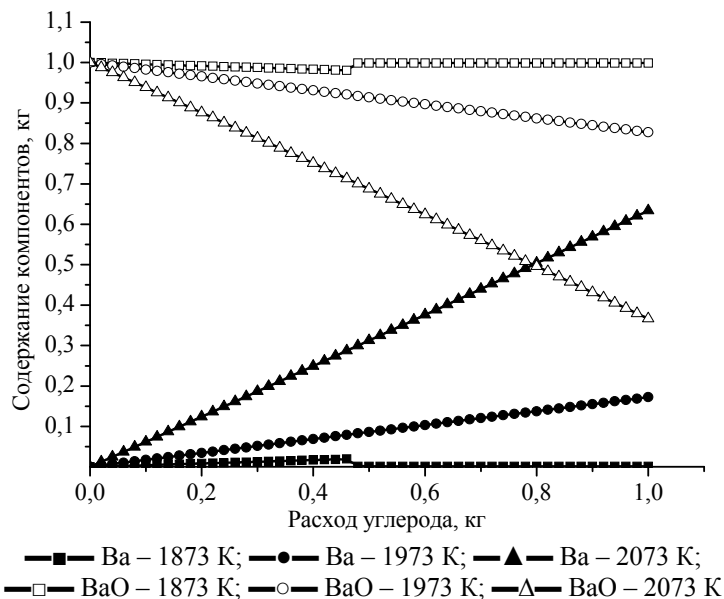


Рис. 1. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе Ва - О - С от расхода углерода при температурах 1873, 1973 и 2073 К

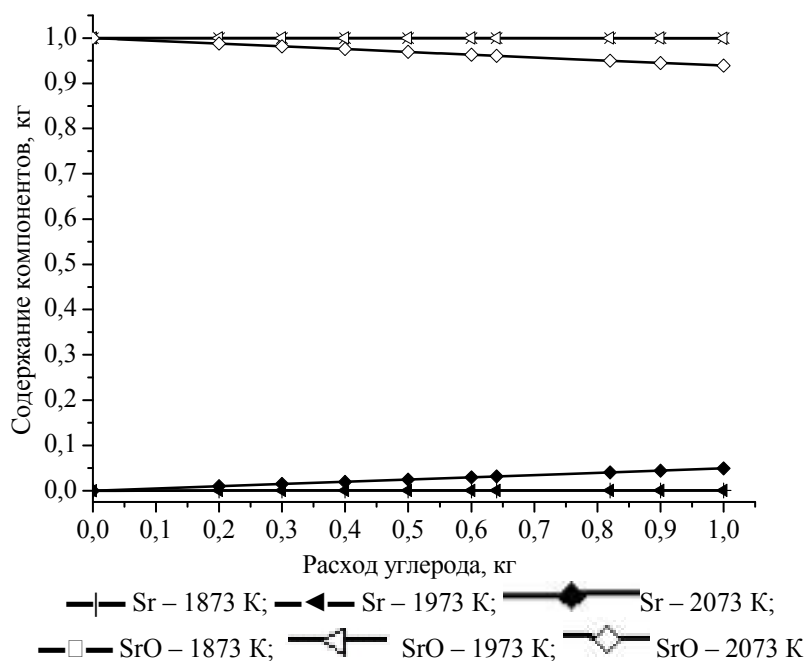


Рис. 2. Зависимость параметров процесса восстановления стронция в системе Sr - О - С от расхода углерода при температурах 1873, 1973 и 2073 К

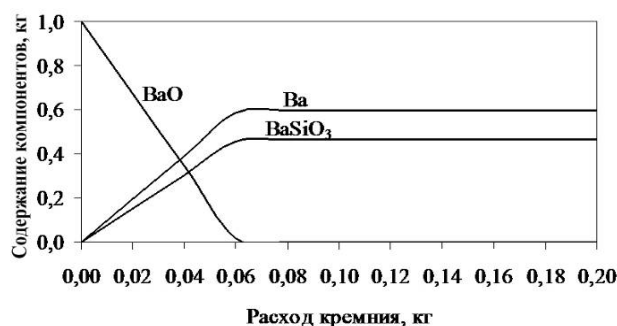


Рис.3. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе Ba - O - Si от расхода кремния при температурах 1873 – 2073 К

### Восстановление алюминием

Более высокая степень восстановления бария и стронция, в сравнении с кремнием, наблюдается при использовании алюминия (рис.5, рис.6). Количество бария линейно возрастает, а количество BaO линейно снижается до нуля в интервале присадок алюминия от 0 до 0,08 кг. Степень восстановления бария составляет около 70 %. Одновременно с ростом бария растет и  $BaAl_2O_4$  (до 0,42 кг). Сходная закономерность наблюдается при восстановлении стронция. Однако степень восстановления стронция составляет только 40–50 %.

Температура оказывает слабое влияние на кинетику процесса восстановления бария и стронция алюминием.

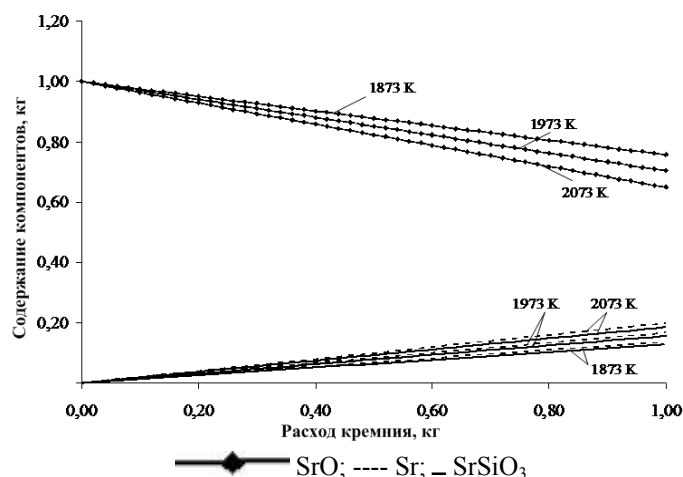


Рис. 4. Зависимость параметров процесса восстановления стронция в системе SrO-Si от расхода кремния при температурах 1873, 1973 и 2073 К

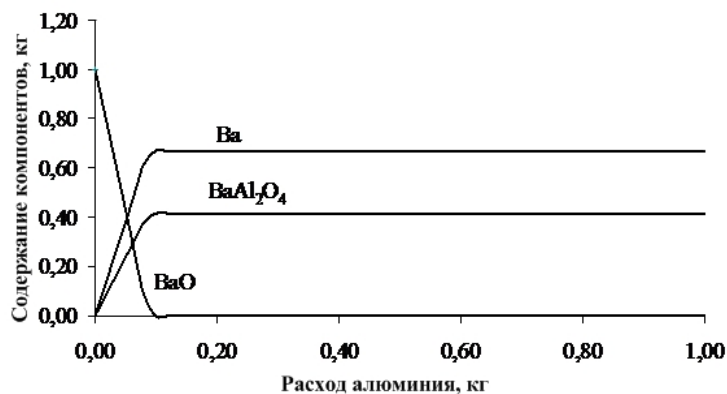


Рис.5. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе BaO-Al от расхода алюминия при температурах 1873 – 2073 К

### Восстановление кремнием и алюминием

Для оценки варианта совместного восстановления кремнием и алюминием провели расчет для случая восстановления 1 кг BaO 0,2 кг Si с последующими добавками алюминия. Совместное восстановление оксида стронция кремнием и алюминием не рассматривали т.к. кремний практически не восстанавливает стронций. Данные расчета представлены на рис.7. Добавка алюминия приводит к разрушению силикатов бария и образованию  $BaAl_2O_4$ , а также увеличению содержания восстановленного бария в системе Ba-O-Si-Al. Т.е. при совместном использовании кремния и алюминия основным восстановителем является алюминий.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в качестве восстановителя при использовании оксидных барий- и стронцийсодержащих материалов для обработки сталей необходимо использовать алюминий. Естественно, что для целенаправленного применения алюминия необходимо предварительное тщательное раскисления металла и шлака для снижения общей окисленности системы металл-шлак.

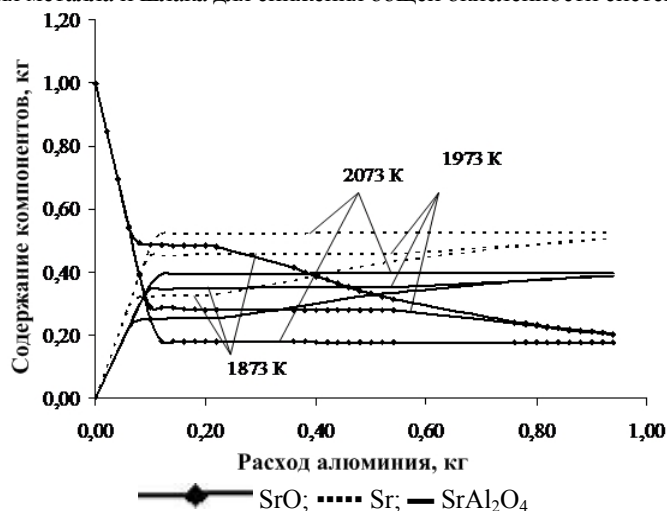


Рис. 6. Зависимость параметров процесса восстановления стронция в системе SrO-Al от расхода алюминия при температурах 1873, 1973 и 2073 К

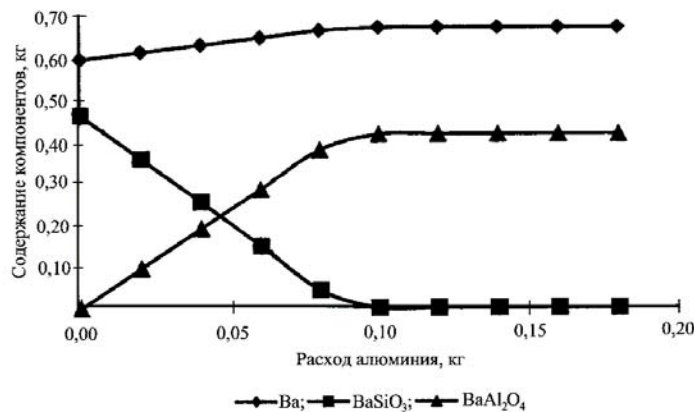


Рис. 7. Зависимость параметров процесса восстановления бария в системе Ba - O - Si - Al от расхода алюминия при температуре 1873 К

По результатам термодинамического моделирования и проведенных экспериментальных исследований была разработана технология модифицирования стали барийстронциевым модификатором. Промышленные исследования технологии модифицирования стали марок 35ХГСЛ барийстронциевым модификатором осуществлялись в индукционной печи.

Для модифицирования стали марки 35ХГСЛ в индукционной печи использовали брикеты различных составов представленных в таблице. Использование брикетов, содержащих алюминий и ферросилиций в виде порошка, ускоряет процесс, уменьшается угар и повышается коэффициент использования алюминия до 95 %, а кремния до 85 – 90 %.

Таблица

Материал	Состав брикетов			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Порошок барийстронциевого модификатора	57	55	54	53
Пыль ферросилиция ФС75	24	29	30,5	32
Порошок алюминия	14	12	10	8
Плавленый шпат	2	2	2,5	3
Жидкое стекло (связующее)	3	2	3	4

Схема процесса обработки стали брикетами приведена на рисунке 8.

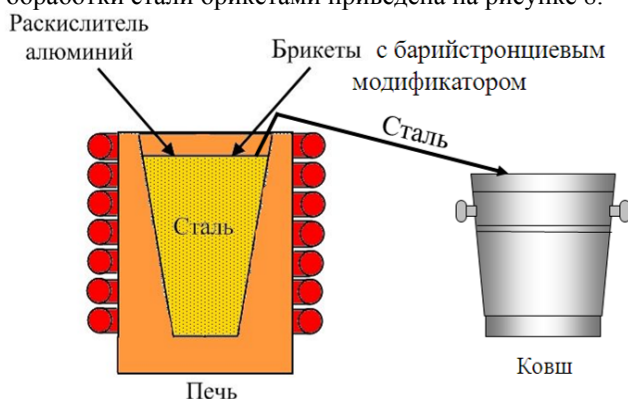


Рис. 8. Технологическая схема обработки стали брикетами в индукционной печи

Результаты проведенных механических испытаний показали повышение на 15 – 20 % служебных свойств стали, после обработки её барийстронциевым модификатором в индукционной печи, характеризуемой значениями пределов текучести, прочности и ударной вязкости при положительных температурах (рис. 9).

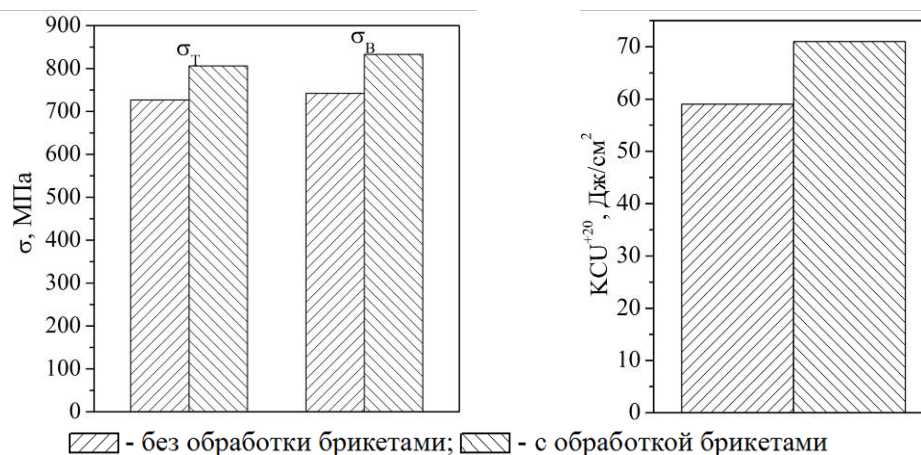


Рис. 9. Механические свойства и ударная вязкость стали марки 35ХГСЛ после закалки (1143 – 1153 К) и отпуска (863 – 923 К)

#### Литература.

1. Черняк С.С. Высокомарганцовистая сталь в драгостроении / С.С. Черняк, Б.М. Ромен. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1996. – 377 с.
2. Трусов Б.Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // III Международный симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы: Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.