

меров изложниц как квадратного, так и круглого сечения.

В настоящее время сталь ряда марок разливают на слитки с конусностью до 2,5 % и Н/Д до 5,0. В этих слитках ускорился процесс кристаллизации, уменьшилась ликвация. При горячей деформации на радиальноковочной машине улучшился раскрой поковок, снизились отходы на головную обрезь, увеличился выход годных поковок при качестве, не уступающем серийному металлу.

Таким образом, использование новой ШОС при разливке стали способствовало

улучшению качества выпускаемой металлопродукции, снижению расхода металла при переделе, уменьшению трудоемкости производства и сокращению производственного цикла.

Список литературы

1. Ефимов В. А. Стальной слиток. М.: Металлургиздат, 1961. 356 с.
2. Власов Н. Н., Король В. В., Рада В. С. Разливка черных металлов. Справ. изд. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1987. 272 с.
3. Теплоизолирующие смеси для разливки стали. / Винниченко Н. И., Нефедов Ю. А., Мешалкин А. П. и др. // Черная металлургия. 1986. № 11. С. 46—47.

Активность раскислителя и состав оксидной фазы в хромистой стали

А. В. Дуб, А. Н. Ромашкин

ОАО НПО "ЦНИИТМАШ"

Исследованы неметаллические включения в хромистой стали различных марок. Показано, что содержание оксидов кремния и алюминия в составе неметаллической фазы коррелирует с активностью этих элементов в металле. Получены зависимости, позволяющие через активность раскислителя рассчитывать долю его оксида в составе неметаллических включений.

Одним из основных металлургических факторов, оказывающих существенное влияние на свойства стали, относится ее загрязненность неметаллическими включениями. Для обеспечения высокого качества металлопродукта следует, во-первых, минимизировать общее количество неметаллических включений в нем и, во-вторых, обеспечить их оптимальный состав. Воспроизводимость достижения этих условий может быть повышена путем использования на этапе производства жидкой стали информации о текущем составе оксидной фазы в ней. В настоя-

щей работе была изучена возможность определения композиции включений (содержания в них оксида применяемого раскислителя) по данным о химическом составе стали.

Объектом исследования были два модельных сплава хромистой стали с 3 и 9 % Cr (далее X3 и X9), а также хромистая сталь следующих марок: 1X13M2БФ (ЭП142), 01X14H5MФ, X17H14M3, 01X18M2Б (ЭП882), 01X18Ю (ЭП994) и 15X2HMFА. Методика выплавки и анализа отобранных проб металла и включений в стали X3 и X9 приведена в работе [1]. Сталь остальных марок выплавляли на Краматорском заводе "Энергомашспецсталь" в промышленной вакуумной индукционной печи ВИП-30 в 30-т тигле (сталь 01X14H5MФ — в 7-т тигле). Разливку металла вели сифонным методом в вакууме. Пробы на анализ неметаллических включений отбирали из слитка. Реакторную сталь 15X2HMFА выплавляли в условиях ООО "ОМЗ—Спецсталь" в дуговой печи садкой 50 т, подвергали двухстадийному

1. Параметры взаимодействия первого порядка [3]

e'_i	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	V	Al
e'_{Si}	0,180	0,11	0,002	0,056	0,11	-0,0003	-0,0088 [4]	0,025	0,058
e'_{Al}	0,091	0,0056	-0,0129 [4]	0,030	0,033 [5]	0,012 [6]	0,0128 [7]	—	0,045

вакуумированию на установке ASEA-SKF и разливали в изложницу в вакуумной камере. Пробы отбирали из ковша перед разливкой, а также от верха, середины и низа центральной выдавливаемой части слитка.

Общее количество и химический состав включений в стали всех марок, кроме стали X3 и X9, определяли, анализируя осадок, высаженный при электролитическом растворении образцов. Примененные методы выделения включений, отделение оксидных фаз от карбидных и определение содержания оксидов в осадке подробно описаны в работе [2].

Активность кремния и алюминия определяли расчетом, по данным анализа химического состава стали с использованием имеющихся в литературе сведений о параметрах взаимодействия первого порядка (табл. 1).

Полученные результаты были обобщены и сопоставлены с литературными данными, относящимися к хромистой стали следующих марок: 15X1M1Ф [8—10], X15H25M3B6 [11]; 1X18H12 [12—14] и X20H45B [12—14].

Результаты исследования неметаллических включений в стали X3 и X9 изложены в работе [1], где было показано, что в зависимости от содержания в металле раскислителя состав, форма и размер неметаллических включений в нем могут изменяться. Систематизация и обобщение данных, полученных ранее и в настоящей работе, позволили выделить определенные диапазоны значений активности наиболее сильного раскислителя (кремния или алюминия), при которых доминирует какой-либо определенный тип оксидных включений (табл. 2 и 3), т. е. были определены пороговые значения активности раскислителей, при которых происходит смена основного типа неметаллических включений в стали.

Следует отметить, что данные, относящиеся к металлу, раскисленному только кремнием, получены в ходе исследования проб стали X3 и X9, отобранных в кварцевые стаканчики, т. е. охлажденных с относительно высокой

скоростью. Учитывая то, что включения SiO_2 при таких концентрациях кремния и соответствующей активности кислорода выделяются в процессе кристаллизации, и поэтому их количество зависит от скорости охлаждения, следует ожидать, что в медленно охлажденном металле, раскисленном кремнием, кривая на графике зависимости доли SiO_2 в неметаллических включениях от a_{Si} , будет несколько сдвинута влево, т. е. в сторону большего содержания SiO_2 .

2. Зависимость вида оксидных включений от активности кремния в стали X3 и X9

Область	a_{Si} , %	Основной тип включений в стали
I	<0,08	Хроммарганцовистая шпинель Силикаты марганца со шпинельными вкраплениями
II	0,08—0,20	
III	0,20—0,40	Однородные силикаты марганца Силикаты марганца с кварцевой составляющей внутри (в виде многочисленных вкраплений) или на поверхности (в виде сплошной и неполной оболочки) Кремнезем
IV	0,40—0,80	
V	>0,80	

3. Зависимость вида оксидных включений от активности алюминия и кремния в хромистой стали различных марок

Обл.	a_{Al} , %	a_{Si} , %	Основной тип включений в стали
I	<0,006	<0,10	Хроммарганцовистая шпинель Кремнезем и гетерогенные силикаты Mn
		0,35	
II	0,006—0,010	<0,10	Алюмохроммарганцовистая шпинель Гетерогенные включения, содержащие Al, Si и Mn
		0,35	
III	0,010—0,020	<0,10 0,35	Алюминаты хрома Алюмосиликаты
IV	>0,020	<0,10	Корунд Корунд
		0,35	

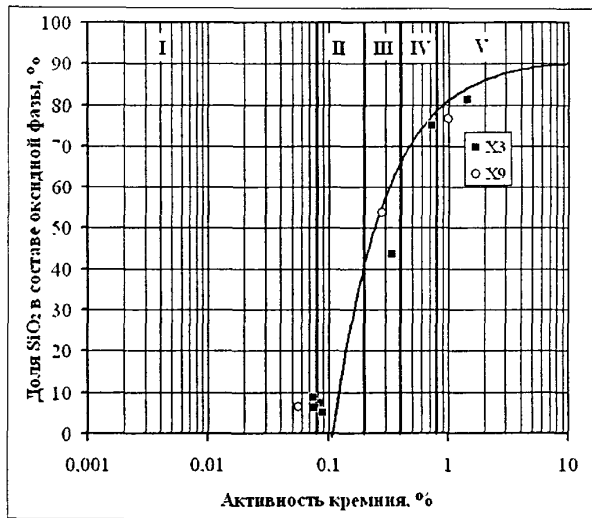


Рис. 1. Зависимость содержания SiO_2 в оксидной фазе в хромистой стали X3 и X9, раскисленной кремнием, от его активности; I—V — диапазон активности кремния, которому соответствует определенный тип неметаллических включений (согласно табл. 2)

Данные по составу включений в стали, раскисленной алюминием (а также алюминием и кремнием), получены как на быстроохлажденном металле (сталь X3 и X9), так и на охлажденном с существенно меньшей скоростью (сталь марок 1X13M2БФ, 01X14H5MФ, X17H14M3, 01X18M2Б, 01X18Ю и 15X2HMФА).

Результаты количественного анализа состава включений при различной активности кремния в стали X3 и X9 (рис. 1) показали следующее изменение состава включений. При активности кремния менее 0,1 %, т. е. когда основным типом неметаллических включений является хромомарганцовистая шпинель и гетерогенные силикаты марганца (табл. 2), содержание SiO_2 в оксидной фазе мало и не превышает 10 %. При больших значениях a_{Si} доля SiO_2 возрастает и достигает 80 % при a_{Si} , равной $\approx 1,0$ %. В целом зависимость содержания оксида кремния в неметаллической фазе от активности этого элемента в металле при значениях a_{Si} более 0,12 % удовлетворительно описывается уравнением

$$(\text{SiO}_2) = 91,5 - 10,1/a_{\text{Si}} \quad (r = 0,94). \quad (1)$$

Сопоставление данных о составе неметаллических включений в хромистой стали с различным содержанием алюминия показало

следующее изменение состава оксидной фазы. В относительно узком диапазоне значений активности алюминия (от 0,006 до $\approx 0,020$ %) резко возрастает (от 10 до 80 %) содержание Al_2O_3 в оксидной фазе. При $a_{\text{Al}} > 0,02$ % характер зависимости содержания (Al_2O_3) от a_{Al} существенно меняется, далее содержание (Al_2O_3) в неметаллических включениях асимптотически приближается к 100 % (рис. 2). В целом, при $a_{\text{Al}} > 0,005$ % зависимость $\text{Al}_2\text{O}_3 - a_{\text{Al}}$ удовлетворительно описывается уравнением

$$(\text{Al}_2\text{O}_3) = 96,8 - 0,41/a_{\text{Al}} \quad (r = 0,861). \quad (2)$$

На рис. 2 также отмечены пороговые значения активности алюминия, соответствующие смене доминирующего типа включений. В случае, когда оксидная фаза представлена включениями, соответствующими областям II и III (табл. 2), диапазон колебаний доли оксида алюминия наиболее велик и достоверное определение состава неметаллической фазы при таких значениях активности алюминия маловероятно. При таких концентрациях алюминия на состав включений существенное влияние может оказывать скорость охлаждения металла. При ее больших значениях ввиду уменьшения развития ликвационных процессов при кристаллизации и, соответственно за-труднения образования сложных включений,

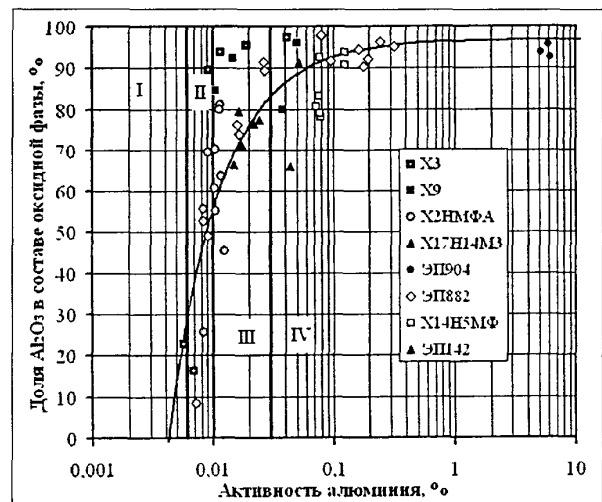


Рис. 2. Зависимость содержания в неметаллической фазе оксида алюминия от его активности в хромистой стали различных марок (I—IV — номера областей значений a_{Al} , характеризующих определенным типом включений согласно табл. 3)

содержащих SiO_2 , Cr_2O_3 и MnO , доля Al_2O_3 будет выше. При высоких значениях активности алюминия почти весь кислород связывается еще до начала кристаллизации и поэтому в данном случае влияние скорости охлаждения гораздо менее существенно.

Эти положения подтверждаются тем, что, как видно из рис. 2, расположение точек, относящихся к сталям ХЗ и Х9, не вполне соответствует общей тенденции: в целом их положение несколько завышено и разница уменьшается по мере роста активности алюминия в металле. Но следует отметить, что это также может быть связано с применением различных методов анализа: при микрорентгено-спектральном анализе изучали не все неметаллические частицы, а лишь наиболее распространенные из них, поэтому усредненное содержание Al_2O_3 несколько превышает соответствующие значения, полученные при анализе осадка включений, высаженного при электролитическом растворении образцов металла.

Сопоставление полученных данных с литературными [8—14] приведено на рис. 3.

Видно, что по литературным данным точки, отображающие взаимосвязь $(\text{Al}_2\text{O}_3) - a_{\text{Al}}$, смещаются вправо и существенно увеличивается разброс опытных данных. По-видимому, это связано с особенностями выплавки, разливки и отбора проб металла. Во всех ранее проводившихся исследованиях неметаллических включений металл выплавляли в условиях неконтролируемой атмосферы и разливку вели открытой струей на воздухе. Это обуславливало значительное вторичное окисление металла и значительный угар не только алюминия, но и других элементов, имеющих сродство к кислороду — кремния, хрома, марганца, ванадия и др. Это, в свою очередь, привело к увеличению содержания оксидов этих элементов и уменьшению доли Al_2O_3 .

Проведенные исследования показали, что при раскислении металла кремнием и алюминием возможно выявление достоверной количественной зависимости содержания оксидов кремния и алюминия в неметаллической фазе от активности этих элементов в металле. Наличие подобных зависимостей позволяет при заданном способе отбора пробы (при определенной скорости ее охлаждения) и надежной

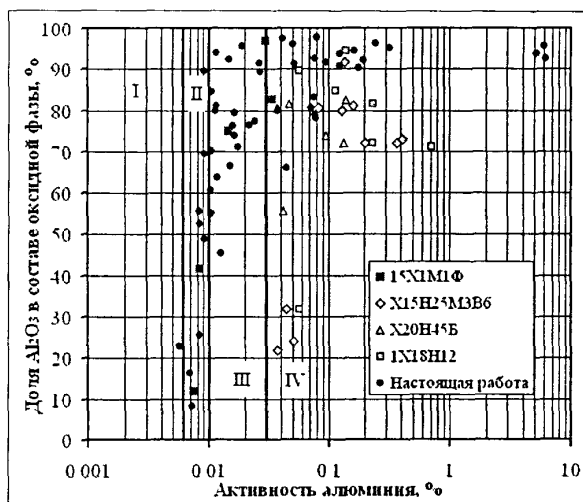


Рис. 3. Сравнение полученных данных о зависимости $(\text{Al}_2\text{O}_3) - a_{\text{Al}}$ с литературными [8—14]

защите металла от вторичного окисления прогнозировать состав формирующейся оксидной неметаллической фазы по данным о составе металла.

Список литературы

- 1 Дуб А. В., Волков В. Г., Ромашкин А. Н. // Электрометаллургия 2006 № 12 С 22—28
- 2 Тулепова И. В., Орлова Е. М. // Научно-исследовательская информация ЦНИИТМАШ, № 67 1967 С 64—69
- 3 Sizworth G. K., Elliot J. F. // Metal Science 1974 V 8 № 2 P 298—310
- 4 Балковой Ю. В., Алеев Р. А., Баканов В. К. Параметры взаимодействия первого порядка в расплавах на основе железа Обзор информ / Ин-т "Черметинформация" М 1987 42 с
- 5 Recommended values of equilibrium constant for the reactions in steelmaking // Jap Soc Sci 19th Committee Tokyo, 1984
- 6 Kishi M., Inoue R., Suito H. // ISIJ Int 1994 V 34 № 11 P 859—867
- 7 Снитко Ю. П., Суровой Ю. Н., Лякишев Н. П. О связи параметров взаимодействия с атомными характеристиками компонентов // Доклады АН СССР 1983 Т 268 № 5 С 1154—1156
- 8 Фарафонова Т. А. // Труды ЦНИИТМАШ, № 139 1977 С 74—87
- 9 Иодковский С. А., Куликов А. Я., Мариненко Л. С. // Тяжелое машиностроение 2002 № 4 С 22—25
- 10 Иодковский С. А., Куликов А. П., Фарафонова Т. А. // Электрометаллургия 1999 № 5 С 8—21
- 11 Дуб В. С. Исследование влияния раскисления кремнием и алюминием на свойства высоколегированных сталей аустенитного класса Автореф дисс канд техн наук М 1966 177 с
- 12 Тулепова И. В. Исследование оксидных включений в легированных сталях Автореф дисс канд техн наук М 1971 175 с
- 13 Иодковский С. А., Дуб В. С., Новицкая Р. М. и др Физико-химические основы производства стали М Наука, 1968 С 318—323
- 14 Иодковский С. А., Дуб В. С., Новицкая Р. М. и др // Труды ЦНИИТМАШ, № 124 1975 С 31—42