



Technology of differentiated deoxidation of cord types of steel is worked out, allowing to reduce non-metallic steel pollution and, as a result, to reduce end breakage at metal cord laying.

Э. В. ИВАНОВ, Д. С. ЯКШУК, В. В. ФИЛИППОВ,
Е. И. ЛЕЙНВЕБЕР, А. Н. ПАРШИКОВ, РУП "БМЗ"

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ РАСКИСЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРДОВОЙ СТАЛИ

УДК 669.187

Одним из главных критериев получения качественной кордовой стали является чистота стали по неметаллическим включениям. Повышенные требования к качеству данной стали определяют необходимость поиска способов снижения неметаллических включений и вредного их влияния на свойства стали. Значительное влияние на механические и физические свойства стали оказывают как их общее количество, так и размер, форма, химический состав.

Образование оксидных неметаллических включений в стали происходит в основном в результате взаимодействия растворенного кислорода с элементами-раскислителями и легирующими в процессе выпуска и внепечной обработки.

Один из методов снижения содержания неметаллических включений в стали — уменьшение содержания растворенного кислорода за счет раскисления углеродом на всех этапах производства — выпуске, внепечной обработке на "печи-ковше", а также в процессе вакуумирования до пределов, позволяющих избежать образование неметаллических включений при последующем введении легирующих.

По способу раскисления металла можно выделить следующие технологические варианты производства кордовой стали:

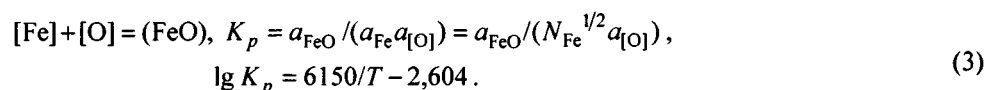
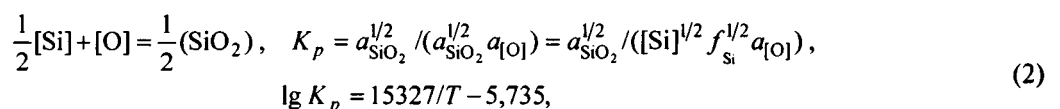
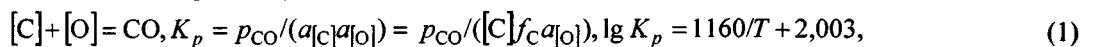
- выплавка в сталеплавильном агрегате и выпуск низкоуглеродистого полупродукта, легирование марганцем в процессе выпуска, раскисление металла углеродом при вакуумировании и легирование кремнием и марганцем до заданных их значений [1];

- выплавка в сталеплавильном агрегате и выпуск низкоуглеродистого полупродукта, науглероживание и легирование стали в процессе выпуска до заданных содержаний углерода, кремния и марганца [2].

Правильный выбор режимов раскисления металла и шлака при выпуске на установке "печь—ковш" и при вакуумировании является залогом качества готового металла.

Ниже изложены результаты термодинамического анализа раскисления стали.

При выплавке кордовые марки сталей, как правило, раскисляют марганцем, кремнием, углеродом. Для разработки и совершенствования технологии важно выявить элементы, определяющие содержание (активность) кислорода в металлическом расплаве на различных этапах производства. Так как кремний и углерод обладают более высоким сродством к кислороду, чем марганец, то будем рассматривать реакции взаимодействия с кислородом расплава только углерода и кремния [3]:



Коэффициенты активности углерода и кремния определим через параметры взаимодействия первого порядка:

$$\lg f_C = e_C^O [C] + e_C^{Si} [Si] + e_C^{Mn} [Mn] + e_C^P [P] + e_C^S [S] + e_C^{Cr} [Cr] + e_C^{Ni} [Ni] + e_C^{Cu} [Cu] = e_C^C [C] + \sum e_C^i [i], \quad (4)$$

$$\lg f_{Si} = e_{Si}^{Si}[Si] + e_{Si}^O[O] + e_{Si}^C[C] + e_{Si}^{Mn}[Mn] + e_{Si}^P[P] + e_{Si}^S[S] + e_{Si}^{Cr}[Cr] + e_{Si}^{Ni}[Ni] + e_{Si}^{Cu}[Cu] = e_{Si}^{Si}[Si] + \sum e_{Si}^i[i]. \quad (5)$$

Используя уравнения (1)–(5), рассчитаем равновесные активности кислорода с углеродом и кремнием под шлаком заданного состава:

$$\lg a_{[O]}^C = -\lg K_p - \lg[C] - e_C^C[C] - \sum e_C^i[i] + \lg p_{CO}, \quad (6)$$

$$\lg a_{[O]}^{Si} = -\lg K_p - \frac{1}{2} \lg[Si] - \frac{1}{2} e_{Si}^{Si}[Si] - \frac{1}{2} \sum e_{Si}^i[i] + \frac{1}{2} \lg a_{(SiO_2)}, \quad (7)$$

$$\lg a_{[O]}^{Fe} = -\lg K_p - \lg N_{[Fe]} + \lg a_{(FeO)}. \quad (8)$$

Активность компонентов шлака рассчитаем по теории как фазы с коллективизированными электронами. Содержание и активность компонентов в шлаках при внепечной обработке стали приведены в таблице.

Содержание и активность компонентов шлака, %

Номер пробы	T, K	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO
До вакуумирования	1857	56,1	31,7	8,4	3,1	0,43	0,3
		0,61	0,34	0,12	0,036	0,014	0,004
После вакуумирования	1863	52,8	36,4	7,3	2,8	0,30	0,3
		0,58	0,39	0,11	0,032	0,009	0,004

Примечание. В числителе приведено содержание, в знаменателе — активность компонентов шлака.

Графическое решение уравнений (6)–(8) (относительно углерода, кремния и (FeO) в шлаке) показано на рис. 1.

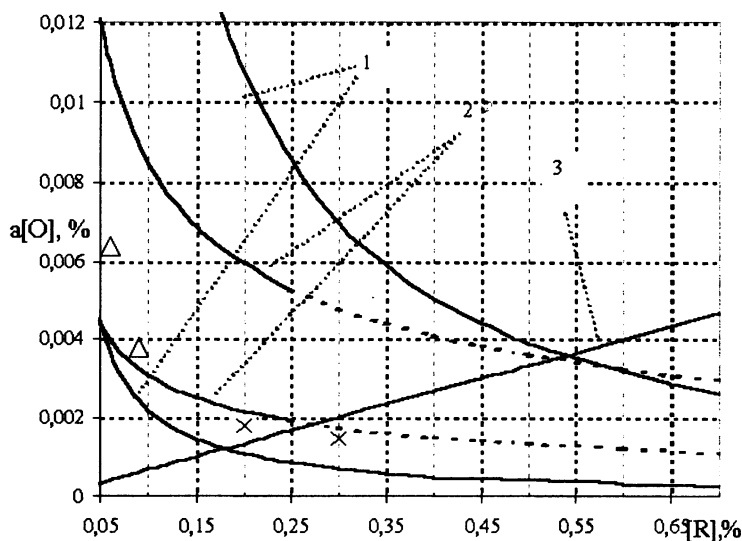


Рис. 1. Активность кислорода в равновесии с углеродом, кремнием и (FeO) в шлаке: 1 — с углеродом при давлениях $P\{CO\}$, 10^5 Па, температуре 1650°C и 10^4 Па и 1600°C ; 2 — с кремнием при температуре 1650 , 1550°C ; 3 — с (FeO) в шлаке; Δ — фактическая измеренная активность кислорода в металле при производстве кордовой стали до вакуумирования; \times — после вакуумирования

Так как в практике производства стали принято комплексное раскисление углеродом и кремнием, то определяющим активностью кислорода будет тот элемент, в равновесии с которым будет получена минимальная активность кислорода.

При содержании углерода 0,35% равновесная с ним активность кислорода составляет 0,0060%, что соответствует содержанию кремния 0,20% при температуре 1650°C . При охлаждении металла с 1650 до 1550°C в равновесии с данным содержанием кремния активность кислорода составит 0,0022%. Раскисление металла кремнием в данных условиях приведет к значительному образованию продуктов раскисления.

При вакуумной обработке стали с содержанием углерода 0,35% активность кислорода (расчетная) составит 0,0008%. Последующее легирование металла кремнием до содержания 0,20% не приведет к образованию продуктов раскисления (равновесная активность кислорода с данным содержанием кремния составляет 0,0020%).

Фактическая активность кислорода, измеренная датчиками "Celox", после вакуумирования кордовой стали составляет 0,0012—0,0022%. Равновесная активность кислорода со шлаком при содержании (FeO) 0,3% составляет 0,0021%. Таким образом, после вакуумирования при содержании (FeO) в шлаке более 0,3% шлак является окислителем по отношению к металлу, что приводит к дополнительному загрязнению стали неметаллическими включениями.

Следовательно, при определенном химическом составе металла и шлака можно добиться углеродного раскисления металла на всех участках раскисления и исключить вторичное окисление металла шлаком.

В 2000 г. специалистами РУП "БМЗ" разработана и внедрена новая технология производства кордовых марок сталей с использованием дифференцированного раскисления металла в процессе выпуска, внепечной обработки на "печи—ковше" и вакуумирования.

На рис. 2 показана загрязненность стали неметаллическими включениями в зависимости от технологии раскисления.

Результаты анализа приведены ниже.

Показатель	А — опытный	Б — рядовой
Количество плавков	100	100
Плотность включений :		
минимальная	89	125
максимальная	946	2097
средняя	336	637

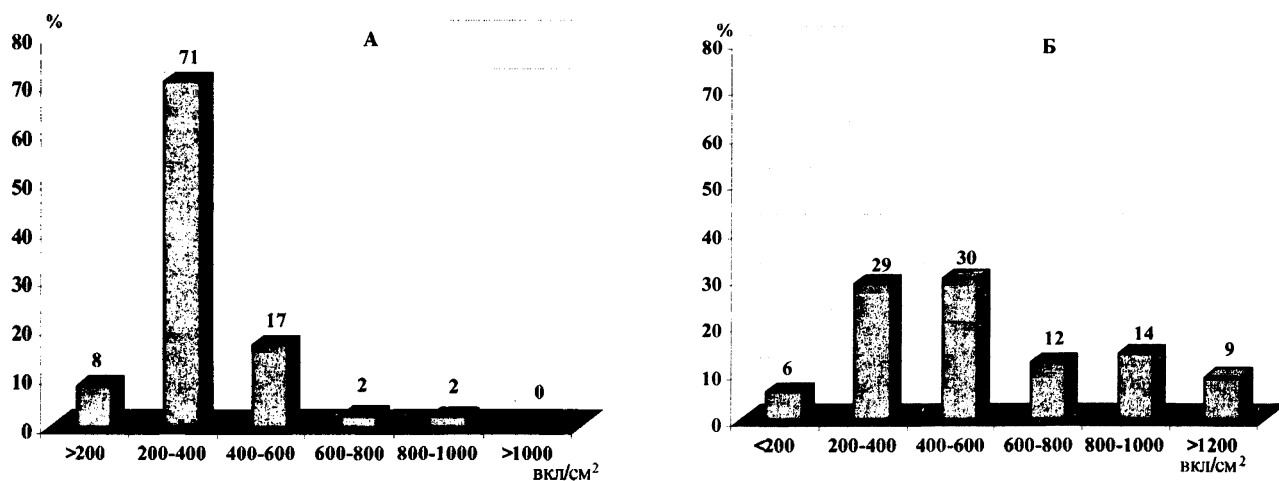


Рис. 2. Распределение плотности включений в стали в зависимости от способа раскисления: А — опытный; Б — рядовой



Рис. 3. Обрывность проволоки при производстве металлокорда

Очевидно, что загрязненность стали неметаллическими включениями по новой технологии производства снизилась в 1,9 раза, средняя плотность включений составила 336 вкл/см².

Анализ обрывности в сталепроволочных цехах по причине неметаллических включений показал, что при свивке металлокорда обрывность снижена в 1,7 раза (рис.3).

Выводы

Разработанная в 2000 г. технология дифференцированного раскисления металла в процессе выпуска, внепечной обработки на "печи—ковше" и вакуумирования кордовой стали позволила уменьшить загрязненность металла неметаллическими включениями в 1,9 раза, что привело к снижению обрывности проволоки по неметаллическим включениям при свивке металлокорда в 1,7 раза. Для получения требуемой чистоты стали по неметаллическим включениям необходимо поддерживать содержание (FeO) в шлаке не более 0,3 %.

Литература

1. Кн ю п е л ь Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. М.: Metallurgia, 1984.
2. S t e r c k e n К., B a n d u s c h Л. Науглероживатели для выплавки высокоуглеродистой стали в дуговой печи // Электроталлургия. 1999. № 12. С. 43—44.
3. Р ы ж о н к о в Д. И., П а д е р и н С. Н., С е р о в Г. В. Твердые электролиты в металлургии. М.: Metallurgia, 1992.



ПРОДУКЦИЯ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА БОРТОВАЯ ПРОВОЛОКА

Республика Беларусь, 247210
г. Жлобин, ул. Промышленная, 37
Тел.: (375 2334) 5-65-15, 5-46-72, факс (375 2334) 5-60-61
E-mail: br.osm@bmz.gomel.by, belk.osm@bmz.gomel.by
<http://www.bmz.gomel.by>, <http://www.rusmet.ru/bmz>

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ	СОРТАМЕНТ	МАРКА СТАЛИ	НТД НА ПРОДУКЦИЮ (основной НТД)
Проволока стальная латунированная для бортовых колец шин	1Л, 1ЛА, 1ЛП	70Б, 80Б	ТУ РБ 04778771-025-95
Проволока бронзированная для бортовых колец шин	0,89; 0,965; 1,00; 1,30; 1,50	70Б, 80Б	ТУ РБ 04778771-011-99