

## МЕТАЛУРГІЯ СТАЛІ

УДК 669.18.020

©Харлашин П.С.<sup>1</sup>, Носенко О.А.<sup>2</sup>, Яценко А.Н.<sup>3</sup>

### РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ СПОКОЙНЫХ МАРОК СТАЛИ

*В статье выполнен анализ эффективности раскисления стали различными материалами. Приведены данные опытно-промышленных плавов; предложены рациональные варианты и технологии ввода раскислителей с целью получения качественного металла*

**Ключевые слова:** раскисление, ферросплавы, сталь, неметаллические включения, жидкая лигатура, порошкообразные материалы.

*Харлашин П.С., Носенко О.О., Яценко А.М. Розробка раціональної технології розкислення різних марок сталей. У статті виконаний аналіз ефективності розкислення сталі різними матеріалами. Наведені дані дослідно-промислових плавов; запропоновані раціональні варіанти і технології введення розкислювачів з метою отримання якісного металу*

**Ключові слова:** розкислення, феросплави, сталь, неметалеві включення, рідка лігатура, порошкоподібні матеріали

*P.S. Kharlashin, O.O. Nosenko, A.M. Yatsenko. Development of rational technology of deoxidation of various steel grades. The article contains the analysis of the efficiency of steel deoxidation by different material..The data of experimental-industrial heats are also given. Rational variants and processes of oxidizers introduction are described with the aim obtaining high quality metal.*

**Keywords:** deoxidation, ferroalloys, steel, nonmetallic inclusions, liquid alloy, powder materials

**Постановка проблемы.** При производстве качественной стали большую роль играет содержание в металле неметаллических включений, особенно оксидных (до 90% от общего количества). Оксидные включения в литом металле, имеющие острые грани, служат центром концентрации напряжений, поэтому при производстве качественных сталей стремятся максимально уменьшить количество оксидных включений в металле.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Количество оксидных включений зависит главным образом от содержания кислорода в металле перед раскислением и от степени удаления продуктов раскисления. Чем больше содержание кислорода в металле и хуже условия удаления продуктов раскисления, тем больше оксидных включений в готовой стали.

В зависимости от соотношения введенного в металл раскислителя и содержащегося в расплаве кислорода можно сформировать неметаллические включения различного состава, размера и количества. Чем больше введенного в металл раскислителя, тем больше образующихся включений, а их размер уменьшается при одном и том же содержании кислорода в расплаве.

**Целью настоящей работы явилось** опытное исследование различных вариантов раскисления с возможностью дальнейшей оптимизации технологического процесса и повышения качества металлопродукции.

Для оценки влияния вариантов раскисления стали марки СтЗсп на остаточное содержание

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> магистр, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

кислорода в металле проведена серия опытных лабораторных плавов в высокотемпературной печи Таммана.

**Изложение основного материала.** В качестве исходного материала использовали пробы металла, отобранные из 350-тонного конвертера комбината ОАО «МК«Азовсталь» перед раскислением с массовой долей, %: углерода 0,04 - 0,07; марганца 0,07 - 0,14; серы 0,020-0,030; фосфора 0,008 - 0,015. Навеску металла массой 0,6 - 0,7 кг помещали в алундовом тигле в печь и расплавляли. Плавление проводили в атмосфере чистого аргона (99,8 % Ar), который подавали со скоростью 0,05 м<sup>3</sup>/ч в рабочую зону печи для создания в ней нейтральной атмосферы. Температуру контролировали термопарой ПР 30/6, работающей в комплексе с переносным потенциометром Р307, применение которого исключало влияние токов наводки на показания приборов.

Раскисление стали опытных плавов проводили по одному из вариантов:

- кусковыми материалами (осаждающее раскисление);
- порошкообразными раскислителями;
- жидкими ферросплавами;
- экзотермическими смесями.

По каждому варианту раскислений проведено 5 плавов, в ходе которых отбирали по 12 проб. Первую пробу отбирали после достижения заданной температуры непосредственно перед раскислением. После раскисления по любому из вариантов металл перемешивали в течение 5 с аргоном и отбирали пробы через каждые 2 мин в течение 20 мин. Отбор проб производили путем засасывания в кварцевую трубку диаметром 8 мм. При отборе первой пробы в кварцевую трубку предварительно помещали алюминиевую стружку в количестве 1 % массы пробы (0,2-0,3 г). Из каждой пробы металла изготавливали по три стандартных образца цилиндрической формы (диаметром и высотой 6 мм) для определения в них содержания кислорода методом вакуум-плавления на эксхалографе «Бальцерс» ЕА-1 и аппарате ТС-136 фирмы «Леко».

Данные химических анализов на содержание кислорода из каждых пяти параллельно проведенных плавов с применением одного из вариантов раскисления подвергали статистической обработке с целью исключения непредставительных данных и получения кривой нормального распределения.

*Раскисление стали осаждающим методом.* Основными элементами-раскислителями в осаждающем способе были кремний и марганец, которые вводили в виде ферросилиция в сочетании с силикомарганцем или металлическим марганцем, и алюминий. Раскислители подавали на поверхность металлической ванны в кусках размером 5 - 10 мм.

Химический анализ проб металла выявил, что массовая доля углерода в указанной серии плавов изменялась в пределах от 0,05 перед раскислением до 0,16 - 0,13 % в конце раскисления. Содержание кремния и марганца в этих сталях изменялось в пределах, допустимых для стали марки Ст3сп.

Из приведенных в таблице усредненных данных по изменению содержания алюминия, кремния и кислорода в жидком металле следует, что растворение ферросплавов протекает в течение 3 - 4 мин и несмотря на перемешивание аргоном состав стали до конца процесса изменяется незначительно. Снижение содержания кислорода в металле протекает интенсивно в начальный период раскисления. Начиная с 18 мин после раскисления наблюдается повторное окисление металла кислородом.

Минимальный уровень окисленности при данном способе раскисления составил 0,007 % кислорода.

*Раскисление порошкообразными материалами.* В качестве раскислителей в этой серии плавов использовали фракции 0,25 мм алюминия и силикокальция, а для окончательного окисления дополнительно - ферросилиция и металлического марганца. Навеску порошкообразных раскислителей из расчета 1,0 кг на тонну стали помещали в кварцевую трубку диаметром 3,5-4,0 мм и выдували струей аргона в течение времени, не превышающего 5 с.

Данные по изменению состава ванны и содержания кислорода приведены в табл., из которой следует, что процесс раскисления стали при данном варианте заканчивается на 10-12 мин после ввода раскислителей.

Характерной особенностью процесса раскисления по данному варианту является более быстрое, по сравнению с осаждающим способом, очищение металла от кислорода. Минималь-

ная массовая доза кислорода была достигнута на 12-й минуте и составила 0,003 %. По сравнению с первым вариантом уровень окисленности ниже в два с лишним раза.

*Раскисление жидкими лигатурами.* Для приготовления жидких лигатур в графитовом тигле одновременно сплавляли передельный чугун, ферросилиций, силикомарганец и алюминий в отношениях, обеспечивающих получение необходимого химического состава комплексного раскислителя. Раскисление проводили путем перелива жидких ферросплавов из графитового тигля в алундовый с расплавленным металлом. После смешения расплавов металл перемешивали путем продувки аргоном.

Усредненные данные по изменению состава металла и содержания в нем кислорода приведены в таблице, из которой следует, что при рассматриваемом способе раскисления изменение состава ванны протекает равномерно. Металл постепенно очищается от металлических включений.

Наименьшее содержание кислорода достигается за более длительное по сравнению с описанными выше способами - 16 мин; оно составляет 0,0022 %. Другие способы раскисления не обеспечивают такого эффективного снижения уровня окисленности.

Необходимо учесть, что данный способ раскисления является единственным при производстве качественной высокоуглеродистой стали из фосфористого чугуна, поскольку жидкая лигатура позволяет вводить в металл необходимое количество углерода.

Таблица

Изменение состава ванны по ходу раскисления различными способами

Время*	массовая доля элемента в пробах металла, %											
	способ раскисления											
	осаждающий			порошкообразные материалы			экзотермические ферросплавы			жидкие лигатуры		
	Al	Si	[O]	Al	Si	[O]	Al	Si	[O]	Al	Si	[O]
2	-	0,07	0,0214	-	0,05	0,0210	-	0,06	0,0233	-	0,05	0,0131
4	0,054	0,31	0,0210	0,054	0,24	0,0136	0,052	0,25	0,0066	0,048	0,31	0,0079
6	0,054	0,31	0,0092	0,060	0,25	0,0123	0,053	0,25	0,0045	0,048	0,31	0,0081
8	0,050	0,31	0,0094	0,051	0,23	0,0105	0,051	0,29	0,0042	0,047	0,33	0,0065
10	0,055	0,29	0,0112	0,044	0,25	0,0076	0,053	0,30	0,0042	0,048	0,32	0,0065
12	0,053	0,33	0,0098	0,048	0,22	0,0076	0,053	0,25	0,0051	0,045	0,31	0,0063
14	0,051	0,23	0,0074	0,044	0,21	0,0046	0,060	0,23	0,0045	0,046	0,30	0,0057
16	0,048	0,24	0,0076	0,043	0,23	0,0030	0,037	0,27	0,0048	0,043	0,30	0,0052
18	0,049	0,30	0,0072	0,047	0,22	0,0058	0,042	0,32	0,0060	0,044	0,31	0,0041
20	0,049	0,25	0,0070	0,045	0,23	0,0079	0,047	0,30	0,0066	0,045	0,33	0,0022
22	0,048	0,24	0,0088	0,047	0,23	0,0063	0,051	0,33	0,0078	0,044	0,32	0,0035
25	0,048	0,24	0,0100	0,045	0,24	0,0066	0,040	0,36	0,0085	0,042	0,33	0,0021

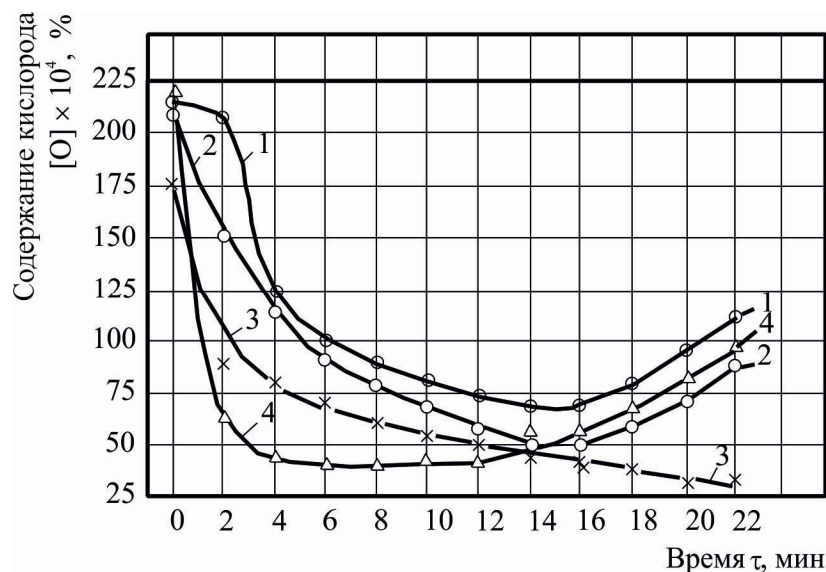


Рисунок – Изменение содержания кислорода по ходу раскисления стали СтЗсп различными способами: 1-осаждающим; 2-порошко-образными материалами; 3 – жидкими лигатурами; 4 – экзотермическими ферросплавами

\*- время отбора проб по ходу раскисления, мин.

*Раскисление стали экзотермическими ферросплавами.* Изучение процесса раскисления стали экзотермическими ферросплавами проводили на трех опытных плавках.

В экзотермических ферросплавах топливом служил порошок алюминия, окислителем - натриевая селитра. В качестве флюса использован плавиковый шпат.

Минимальная массовая доля кислорода при этом способе раскисления составляет 0,0042 %, что является более низкой, чем при осаждающем способе, но уступает глубине раскисления порошкообразными раскислителями и жидкими лигатурами.

Процесс раскисления протекает быстро и заканчивается на 4 - 6 минуте, что можно объяснить ускорением процесса плавления ферросплава за счет теплоты экзотермических добавок. Изменение содержания кислорода, характеризующее глубину раскисления по различным способам, представлено на рисунке, из которого следует, что наиболее низкое содержание кислорода в металле обеспечивают два способа раскисления: жидкими лигатурами и порошкообразными раскислителями.

Эти же способы обеспечивают и наименьшее количество неметаллических включений в металле. Кроме того, включения в стали, раскисленной порошкообразным алюминием и силикокальцием, имеют глобулярную форму.

### **Выводы**

1. Эффективность процессов раскисления оценивали по следующим критериям:

а) минимальному содержанию кислорода в раскисленной стали; б) форме и количеству неметаллических включений в готовой стали; в) стоимости варианта раскисления, гр/т; г) величине угара раскислителей.

2. Принимая во внимание высокую эффективность и экономичность способа раскисления стали СтЗсп порошкообразными раскислителями, а также наименьшую загрязненность и благоприятную форму неметаллических включений в стали следует рекомендовать этот способ к промышленному производству малоуглеродистых сталей.

Для производства средне- и высокоуглеродистых сталей рекомендуется использовать менее экономичный, но позволяющий вводить в сталь дополнительное количество углерода способ раскисления жидкими лигатурами.

3. Из сравниваемых вариантов осаждающий способ и способ раскисления стали порошкообразными раскислителями более экономичны.

Самый низкий угар был получен при раскислении стали порошкообразными материалами: угар кремния - 14,2, марганца - 0, алюминия - 94 %.

### **Список использованных источников:**

1. П.С.Харлашин Мышьяк в металлургических расплавах, процессах, технологиях / Донецк : Норд-Пресс. - 2007.-538с.

2. В.Н. Хребин Исследование влияния технологий раскисления малоуглеродистой стали на качество непрерывной заготовки. / В.Н.Хребин, Е.Н.Тюленев, В.А.Лавров и др. // Сталь. – 2006. - №6. – С.49-50.

### **Bibliography:**

1 Harlashin P.S. Arsenic in iron and steel melts, processes, technology/ Donetsk: Nord-Press.-2007.- 538p. (Rus.)

2 Hrebin V.N. The study of the influence of deoxidation of mild steel in continuous quality of the workpiece. / Hrebin V.N., Tyulenev E.N., Lavrov V.A. and others/ /Steel.-2006.- №6.-P.49-50. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов,  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 07.11.2011