

УДК.541.118; 541.123

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ФЕРРОСПЛАВА ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМОБАРИЯ НА МЕТАЛЛОГРАФИЮ РАСКИСЛЕННОЙ СТАЛИ

А.Х. Нурумгалиев¹, А.А. Аменова², А.Р. Толеуова³, Г.Е. Ахметова⁴, Ф.Ж. Абилканова⁵, У.А. Садуакас⁶

¹ доктор технических наук, профессор, руководитель лаборатории, ² PhD, инженер высшей категории, ³ PhD, инженер высшей категории, ⁴ магистр материаловедения и технологии новых материалов, инженер высшей категории, ⁵ магистр естественных наук, инженер высшей категории, ⁶ студент
РГП на ПХВ Карагандинский государственный, индустриальный университет (Темиртау), Казахстан

***Аннотация.** В статье приведен сравнительный анализ образцов раскисленных комплексным ферросплавом ферросиликоалюмобарием и традиционным ферросплавом. В результате анализа показано, что при раскислении комплексным ферросплавом ферросиликоалюмобарием, улучшаются качественные характеристики стали, снижается остаточное содержание кислорода, установлено улучшение механических свойств.*

***Ключевые слова:** комплексный ферросплав, неметаллические включения, ферросиликоалюмобарий, раскисление, микроструктура.*

Цель работы

Основная цель исследования состояла в поиске путей улучшения качества стали, раскисленной комплексным ферросплавом ферросиликоалюмобарием. На основании исследования химического анализа, механических свойств, количественной оценки неметаллических включений сравнить стали, раскисленные традиционными и комплексными ферросплавами.

Повышение качества конструкционных сталей с целью улучшения их прочностных характеристик и снижения металлоемкости, изготавливаемых из них машин, оборудования и металлоконструкции является мировой проблемой в металлургической отрасли. Одним из основных, важных факторов повышения качества конструкционных сталей является использование ферросплавов. Поэтому развитие теории и технологии производства ферросплавов является ведущим направлением в металлургии специальных сталей. Традиционный металлургический процесс основан на использовании таких стандартных сплавов как ферросилиций, ферромарганец, силикомарганец и чушковый алюминий.

Дальнейшее развитие металлургии стали и сплавов требует получения и использования высокоэффективных ферросплавов, которые позволяют значительно повысить качество стали при меньшем удельном расходе, чем по традиционной технологии. В связи с этим, в современных условиях в ферросплавном производстве идет развитие получения комплексных сплавов. Использование комплексных сплавов для раскисления и модифицирования стали и чугуна сокращает их расход, улучшает кинетику раскисления, увеличивает раскисляющую способность элементов, входящих в сплав, снижает расход тепла на его растворение, улучшает качество обрабатываемого металла[1].

Актуальность проблемы

Сплавы с барием получают все большее применение при модифицировании чугуна, сталей и сплавов.

В природе барий распространен достаточно широко и входит в состав большого числа минералов. Он сопутствует многим рудным скоплениям, встречается в различных минеральных ассоциациях. Использование в промышленности обусловлено их полезными технологическими свойствами: высокое содержание оксида бария, повышенная плотность, способность поглощать рентгеновские лучи. В настоящее время в мире насчитывается более двух тысяч различных процессов и веществ, в которых применяется соединения бария.

Для бария и других щелочноземельных элементов характерны высокое сродство к кислороду, сере, фосфору и высокая поверхностная активность в расплавах железа. В связи с этим сплавы с щелочноземельными элементами используются для рафинировочных целей и измельчения микроструктуры металла.

Из-за малой растворимости бария в железе большинство бариевых ферросплавов изготавливаются с кремнием и алюминием. Барий в составе комплексных модификаторов повышает их растворимость и усвояемость, устраняет необходимость вторичного модифицирования, перлитизирует металлическую матрицу, повышает прочность и пластичность чугуна, улучшает обрабатываемость отливок резанием.

Обработка жидкого металла ферросплавами с целью его раскисления и модифицирования остается, одним из основных методов воздействия на качество стали и чугуна, что повышает значение ферросплавов и требует улучшения их свойств и расширения сортамента[1].

Методы исследования

Работа выполнена с применением современных методов исследований: элементный химический анализ на электронном растровом микроскопе JEOL 5910, микроструктурный анализ на настольном оптическом микроскопе LEICA.

Ферросплавы вводят в жидкий металл с целью получения готового продукта определенного химического состава и структуры с заданными физическими, химическими и механическими свойствами.

В качестве изучаемого материала использовалась сталь марки RR St 37-2 (аналог стали 3сп), обрабатываемая новым ферросплавом ферросиликоалюмобарием.

Для экспериментов были взяты образцы нераскисленной стали с химическим составом, указанным в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав нераскисленной стали, %

№ образца	Al	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
1	0,13	0,09	0,06	0,024	0,019	0,02	0,04	0,05
2	0,21	0,03	0,02	0,025	0,021	0,01	0,05	0,05
3	0,18	0,06	0,02	0,019	0,011	0,01	0,04	0,06
4	0,33	0,18	0,04	0,037	0,017	0,02	0,05	0,06
5	0,30	0,18	0,03	0,038	0,017	0,02	0,05	0,06

Была проведена серия экспериментов по раскислению и модифицированию стали в лабораторных установках кафедры «Металлургия и Материаловедение» Карагандинского Государственного Индустриального Университета.

В соответствии с технологической инструкцией по выплавке стали ТИ 38005 был проведен расчет необходимого количества ферросплава ферросиликоалюмобария [2].

В ходе экспериментов испытуемый образец помещался в алундовый тигель и медленно нагревался (порядка одного часа). После того, как металл расплавлялся (около 1600 °С), добавлен ферросиликоалюмобарий через корундовую трубку в расплавленный металл. Жидкий металл выдерживался не более 7-8 мин. После охлаждения и кристаллизации стали проводилась подготовка макрошлифа (темплета).

Анализ образцов раскисленных, традиционными и комплексными ферросплавами, производился согласно методике количественного определения включений в стали методом подсчета и по эталонным шкалам [3]. Расчетные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

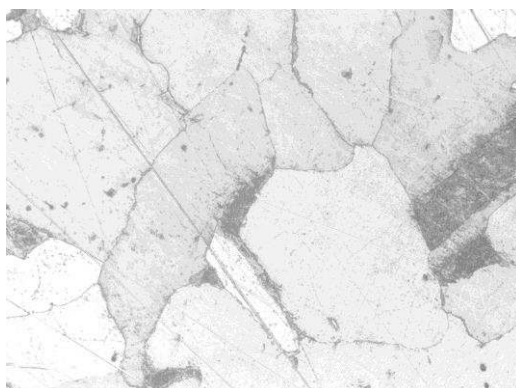
Определение неметаллических включений по эталонным шкалам

Порядковый номер №	Название ферросплава	Количество баллов по шкале					Общее количество	Количество включений в весовых процентах, $Q \times 10^{-3}, \%$	Площадь поля зрения 100×100
		1	2	3	4	5			
		Число полей зрения, приведенная в (%)							
1	FeSi и Al	20	25	34	21	40	140	0,060	
2	FeSiAlBa+FeMn	1	6	19	18	27	72	0,045	

В результате проведенных исследований образцов по методу количественного определения включений по эталонным шкалам, было выявлено, что сталь, раскисленная комплексным ферросплавом, отличается меньшим количеством неметаллических включений.

С помощью микроскопа LEICA также было выявлено, что неметаллические включения в стали раскисленной ФСАБ-ем, по сравнению со сталью раскисленной традиционным ферросплавом являются по форме мелкими и шаровидными.

В процессе исследования темплета образца (№1), полученного в результате плавки, выявили характерную дендритную структуру литой стали, полученную в результате выдержки стали в течении 15 минут после введения ферросплава. Как видно из рисунка 1, данная выдержка не является оптимальной, так как она способствует получению крупной дендритной структуры [4].

Рис. 1. Дендритная структура, $\times 200$

Дендритное строение обуславливается присутствующими в металле примесями и отражает, первичную структуру стали. После отжига и вторичных превращений оси дендрита, обогащенные углеродом, превращаются в перлит; в межосных пространствах наряду с ферритом, в котором растворен ликвировавший фосфор, сосредоточены неметаллические включения. Таким образом перлитные участки образуют как бы сетку или петли, внутри которых находятся целые группы ферритных зерен. Структура сетчатого перлита исправима длительным отжигом при высокой температуре [5].

Далее при исследовании структуры образца № 2, была выявлена видманштеттова структура, характерная для литой стали.

Более длительная выдержка (образец №2, время выдержки 17 минут) приводит к перегреву: появлению дефектной видманштеттовой структуры (рисунок 2).

Неметаллические включения

Дендритное строение

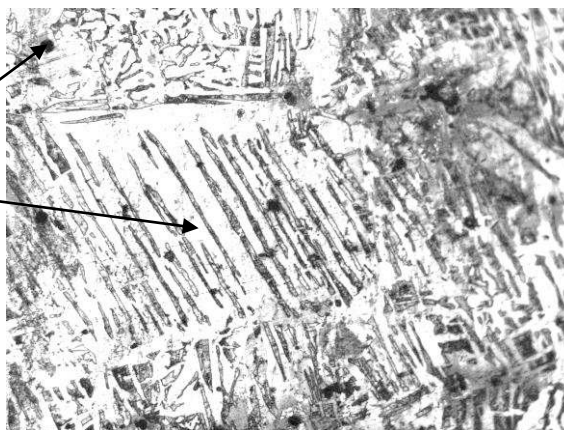


Рис. 2. Видманштеттова структура, $\times 200$

Сталь после литья отличается видманштеттовой структурой. Характерным признаком этой структуры является ориентированное, направленное расположение пластин феррита в стали. Образование видманштеттовой структуры обусловлено наличием крупных зерен аустенита, возникающих в литом состоянии. Сталь с видманштеттовой структурой в виду ее крупнозернистости и пластинчатого строения структурных составляющих обладают низкими механическими свойствами, главным образом, низкой ударной вязкостью. Видманштеттовую структуру можно исправить соответствующей термической обработкой.

Образец №3 вовремя плавки выдерживался в течение 15 минут. Далее подвергался полному отжигу в течение 10 минут при температуре 900°C .

После полного отжига, при фазовой перекристаллизации, измельчается зерно и устраняется видманштеттовая структура, строчечность, вызванная ликвацией. Данный отжиг способствует полному прогреву и завершению фазовых превращений в объеме металла при последующем медленном охлаждении на воздухе. После отжига сталь имеет низкую твердость и прочность при высокой пластичности. Полному отжигу подвергают доэвтектоидную сталь с целью создания мелкозернистой структуры.

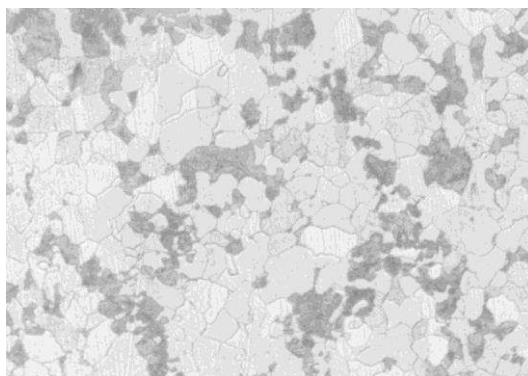


Рис. 3. Феррито-перлитная структура, $\times 200$

Образец №4 во время плавки выдерживался в течение 7-8 минут. Данное время является оптимальным для получения дендритов среднего размера (см. рисунок 4).

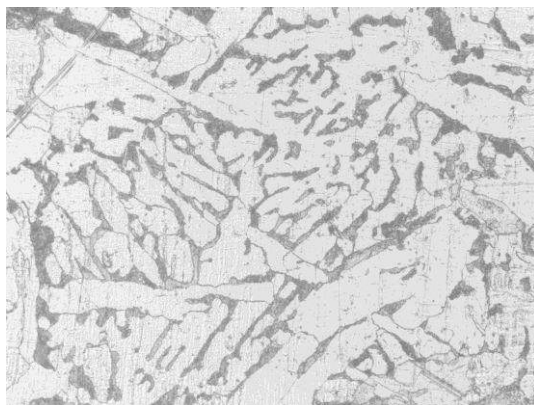


Рис. 4. Среднезернистая дендритная структура, $\times 200$

Далее образец подвергался нормализационному отжигу для устранения крупнозернистой структуры, полученной при литье. Оптимальное время выдержки, с учетом размеров образца, 10 минут при температуре 900°C .

При нагреве до температуры нормализации низкоуглеродистых сталей происходят те же процессы, что и при полном отжиге, т. е. измельчение зерен. Но, кроме того, вследствие более быстрого охлаждения и получающегося при этом переохлаждения строение перлита получается более тонким (дисперсным), а его количество большим. Механические свойства при этом оказываются более высокими.

Нормализация по сравнению с полным отжигом - более экономичная операция, так как не требует охлаждения вместе с печью. В связи с указанными преимуществами нормализация получила широкое применение вместо полного отжига низкоуглеродистых и даже среднеуглеродистых сталей [5].

На рисунке 5 указана мелкозернистая феррито-перлитная структура после нормализационного отжига образца № 4 (в течение плавки время выдержки составило 7–8 минут).

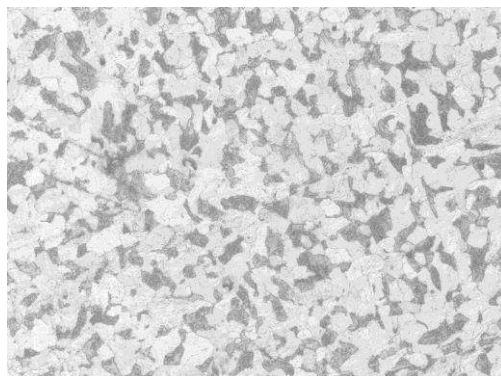


Рис. 5. Мелкозернистая феррито-перлитная структура, $\times 200$

Образец № 5 является сталью, раскисленной традиционным ферросплавом ферросилицием в условиях производства. Применяемая термообработка – нормализационный отжиг.



Рис. 6. Феррито-перлитная структура, $\times 200$

В результате сталь (образец №4), раскисленная комплексным ферросплавом ферросиликоалюмобарием и сталь, раскисленная традиционным ферросплавом (образец №5) ферросилицием с добавлением алюминиевой катанки по структуре являются мелкозернисто феррито-перлитными. Было исследовано, что сталь марки RR St 37-2 (аналог Зсп), раскисленная ферросиликоалюмобарием имеет балл зерна равный 6, а сталь раскисленная традиционным ферросплавом – 4-ем.

Сравнительные данные образцов раскисленных комплексным ферросплавом с последующей термообработкой с образцом, раскисленным традиционным ферросплавом представлены в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительный анализ образцов, раскисленных комплексными и традиционными ферросплавами

№ образца	Термообработка	Твердость НВ	Балл зерна	Примечание
№ 3	Полный отжиг	100	4	Низкая твердость, прочность, высокая пластичность.
№ 4	Нормализационный отжиг	150	6	Высокая прочность и твердость, равноосность зерен.
№ 5	Нормализационный отжиг	131	5	Неравноосная структура, сравнительно низкие прочностные характеристики

Следующим этапом исследований является химический анализ опытных образцов. Химический состав стали определили на настольном оптическом эмиссионном спектрометре «СПЕКТРОЛАБ» и на электронном растровом сканирующем микроскопе JSM 5910. В таблице 4 приведены химические составы опытных образцов, раскисленных соответствующим ферросплавом.

Таблица 4

Химический состав стали после обработки сплавами FeSi+Al, FeSiAlBa+ FeMn

Наименование ферросплава	Химический состав раскисленной стали марки RR St 37-2, %						
	C	Mn	Si	Al	P	S	Ba
FeSi + Al	0,12	0,40	0,30	0,042	0,022	0,020	-
FeSiAlBa+FeMn	0,14	0,40	0,35	0,039	0,011	0,018	0,0052

А на рисунке 7 изображен энергетический спектр во вторичных электронах (ферросиликоалюмобария).

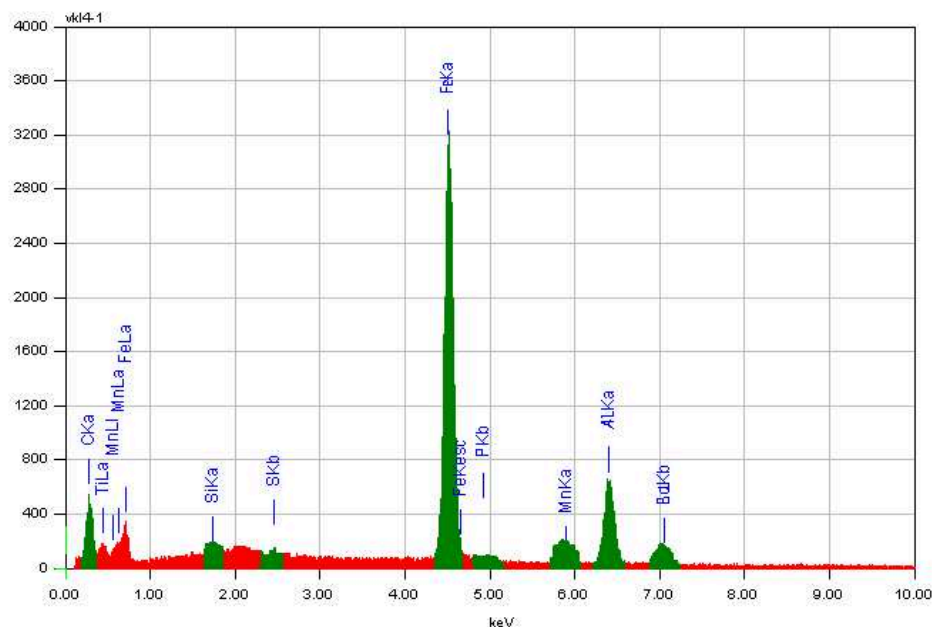


Рис. 7. Энергетический спектр во вторичных электронах

В результате было выявлено, что по химическому составу сталь RR St 37-2, раскисленная ферросиликоалюмобарием соответствует ГОСТу 380-94.

Поскольку барий быстро удаляется из металла, расходуясь частично на раскисление, а частично на восстановление других окислов, то с помощью только бария невозможно получить устойчиво глубокораскисленный металл. Поэтому, барий применяют совместно с другими раскислителями, в виде сплавов с кремнием, алюминием и железом. Минимальное содержание кислорода при раскислении железа барием равно $4,3 \cdot 10^{-7} \%$ [6].

Выводы:

Выявлено оптимальное время выдержки стали спокойной марки (Зсп), после раскисления ферросплавом ферросиликоалюмобарием.

В результате проведенных исследований образцов по методу количественного определения включений по эталонным шкалам выявлено, что сталь, раскисленная комплексным ферросплавом, отличается меньшим количеством неметаллических включений. С помощью микроскопа LEICA было выявлено, что неметаллические включения в стали раскисленной ФСАБ-ем, по сравнению со сталью раскисленной традиционным ферросплавом являются по форме мелкими и шаровидными. Присутствие бария в стали позволило снизить количество неметаллических включений НВ от $0,060 \cdot 10^{-3}$ до $0,045 \cdot 10^{-3}$.

Обнаружено, что увеличение количества бария в стали (0,0052 %) позволило снизить остаточное содержание кислорода равного $4,3 \cdot 10^{-7} \%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватолин, Н. А., Лякишев, Н. П. Производство и применение барийсодержащих ферросплавов / Н. А. Ватолин, Н. П. Лякишев. – Институт металлургии УНЦ АН СССР, ЦНИИчермет и НИИМ, № 8, 1984 г.
2. Виноград, М. И., Громова, Г. П. Включения в легированных сталях и сплавах / М. И. Виноград, Г. П. Громова. – М.: Металлургия. 1971, с. 216.
3. Червяков, А. Н., Киселева, С. А. Металлографическое определение включений в стали / А. Н. Червяков, С. А. Киселева. – Москва 1962, 248 с.
4. Геллер, Ю. А. Металловедение / Ю. А. Геллер и др. – Издательство «Металлургия».
5. Гуляев, А. П. Металловедение, учебник, 6-е издание, перераб. и доп. / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986, 541 с.
6. Куликов, И. С. Раскисление металлов / И. С. Куликов. – М.: Металлургия, 1975, с. 504.

Материал поступил в редакцию 26.11.14.

INFLUENCE OF COMPLEX FERROALLOY FERRO SILICO ALUMINO BARIUM ON THE METAL PLATE OF STEEL DEOXIDATION

A.Kh. Nurumgaliev¹, A.A. Amenova², A.R. Toleuova³, G.E. Ahmetova⁴, F.Zh. Abilkanova⁵, U.A. Saduakas⁶

¹ Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory, ² PhD, engineer of the highest category,

³ PhD, Engineer of the Highest Category, ⁴ Master of Materials Science and Technology of New Materials,

Engineer of the Highest Category, ⁵ Master Degree Student, Engineer of the Highest Category, ⁶ Student

RSE on the basis of economic control rights Karaganda State Industrial University (Temirtau), Kazakhstan

***Abstract.** The paper presents a comparative analysis of complex samples deoxidized with ferrosilicoaluminobarium traditional and ferroalloys. The analysis shows that the deoxidation by complex ferroalloy ferrosilicoaluminobarium can improve the quality characteristics of steel, reduce the residual oxygen content and set improvement in mechanical properties.*

***Keywords:** integrated ferroalloy, non-metallic inclusions, ferrosilicoaluminobarium, deoxidation, microstructure.*