

УДК 622.7:621.793

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ 45ХЛ,
РАСКИСЛЕННОЙ ФЕРРОСИЛИКОБАРИЕМ****Квон С.С., Филиппова Т.С., Куликов В.Ю.***РГП на ПХВ «Карагандинский государственный технический университет», Караганда,
e-mail: confucius_kstu@mail.ru*

В работе исследовались неметаллические включения в стали 45ХЛ, раскисленной ферросиликобарием, полученным по технологии, разработанной в ХМИ им. Абишева (Казахстан). Природу неметаллических включений изучали по стандартным методикам, при этом рассматривалось распределение неметаллических включений по объему зерна (оси и междендритное пространство), природа и величина. Рассчитывался индекс загрязненности. Сравнение проводилось со сталью 45ХЛ, раскисленной обычным способом. Помимо неметаллических включений также исследовались механические свойства: предел прочности на разрыв, предел текучести, ударная вязкость и твердость. В результате проведенных исследований было установлено, что раскисление ферросиликобарием благотворно влияет на индекс загрязненности, распределение неметаллических включений, уменьшает дисперсность и регулирует форму. Более диспергированная форма и равномерное распределение неметаллических включений приводит к улучшению механических свойств.

Ключевые слова: неметаллические включения, ферросиликобарий, индекс загрязненности, оси дендритов, предел прочности, ударная вязкость, распределение, дисперсность

**INVESTIGATION OF NONMETALLIC INCLUSIONS IN STEEL 45 CR-M,
DEOXIDATED BY FERROSILIKOBARY****Kvon S.S., Filippova T.S., Kulikov V.Y.***Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: confucius_kstu@mail.ru*

We investigated the non-metallic inclusions in steel 45 Cr-M deoxidized by ferrosilikobarium obtained on technology developed at the CMI named Abisheva (Kazakhstan). Nature nonmetallic inclusions was studied by using standard procedures, wherein the distribution of inclusions was seen in terms of grain (and the interdendritic space and axis), the nature and quantity. The pollution index was calculated. Comparison was made with steel 45XM, deoxidized conventional manner. In addition to research nonmetallic inclusions also the mechanical properties were studied: tensile strength, yield strength, toughness and hardness. As a result of studies was founded the deoxidation by ferrosilikobarium beneficial effect on the pollution index, the distribution of non-metallic inclusions, reduce dispersion and regulates the form was founded. Furthermore, the dispersed form and uniform distribution of nonmetallic inclusions leads to improved mechanical properties.

Keywords: non-metallic inclusions, ferrosilikobary, pollution index, the axis of dendrites, tensile strength, impact strength, distribution, dispersion

Большее или меньшее количество включений существует в любой стали в соответствии с её составом и условиями производства. Обычно количество неметаллических включений в стали не превышает 0,1%. Однако в связи с их малыми размерами число включений, в целом, очень велико.

Неметаллические включения в стали являются инородными телами, нарушающими однородность её структуры, поэтому их влияние на механические и другие свойства может быть значительным. При деформации в процессе прокатки,ковки, при локальных местных нагрузках неметаллические включения, особенно неправильной формы с острыми краями и углами, играют роль концентраторов напряжения и могут вызвать образование трещин, являющиеся в последующем очагом разрушения стали. Крайне негативное влияние оказывают неметаллические включения на ударную вязкость стали.

Решающее значение при изучении влияния неметаллических включений на качество стали имеют их свойства: размер, форма, природа, а также характер их расположения.

Анализ причин выхода из строя деталей из конструкционных марок сталей показывает, что одним из определяющих факторов, влияющих на надежность и долговечность литых деталей, является концентрация вредных примесей как растворенных в стали, так и находящихся в виде неметаллических включений. Поэтому актуальной задачей в настоящее время является совершенствование существующих и создание новых марок сталей путем ввода в их состав элементов, обеспечивающих очищение от вредных примесей, позволяющих управлять структурой и природой неметаллических включений с целью улучшения физико – механических и служебных свойств литых изделий.

Одним из эффективных путей повышения качества стали и чугуна является обработка их активными металлами. В связи с этим в последние годы за рубежом и в Казахстане широкое развитие получили модифицирование и легирование стали кальций- и барий-содержащими сплавами [1, 2]. Если сплавы с кальцием применяют широ-

ко и продолжительное время [3, 4], то влияние сплавов с барием на свойства и микроструктуру сталей изучено недостаточно.

Казахстан обладает достаточными запасами баритовых руд, которые по свойствам, химическому составу и запасам могут служить надежной рудной базой для промышленного производства баритовых сплавов.

Сравнение физико-химических свойств бария и кальция позволяют предположить, что воздействие бария на жидкий металл должно быть более эффективным, и, следовательно, более сильным должно быть его влияние на формирование микроструктуры и свойств сплава после кристаллизации.

Основная цель исследования – изучение влияния введения ферросиликобария на металлургическое качество стали, в частности на количество и распределение неметаллических включений.

Ферросиликобарий – это ферросплав, содержащий 57–60% Si, 15–22% Ba, остальное – Fe. В данной работе для металлографического исследования использовались образцы, изготовленные из стали 45ХЛ при модифицировании ферросиликобарием марки ФС65Ba15. Сплав был получен по технологии, разработанной в Химико-металлургическом институте им. Абишева (Караганда, Казахстан) [5, 6].

Сталь 45ХЛ используется для изготовления литых деталей, работающих в условиях ударных нагрузок и абразивного износа, в частности для изготовления звездочек ленточных конвейеров для транспортировки угля и горных пород. В соответствии с условиями эксплуатации сталь должна обладать хорошим комплексом прочности, твердости, износостойкости и ударной вязкости. Последний показатель особенно сильно зависит от количества и характера распределения неметаллических включений в стали.

Плавку опытных образцов проводили в печи Таммана, ферросиликобарий вводили за несколько минут до окончания плав-

ки. Дополнительное раскисление стали осуществляли алюминием. После охлаждения из полученных образцов изготавливались стандартные металлографические шлифы. В качестве эталона использовался образец стали 45ХЛ, раскисленной марганцем, кремнием и алюминием.

Неметаллические включения, их форму и характер распределения изучались согласно общепринятым методикам, индекс загрязненности определяли по формуле [7]:

$$I = \frac{b \sum a_i \cdot m_i}{l} \quad (1)$$

где b – цена деления окулярной шкалы при данном увеличении в мкм;

a_i – среднее значение размеров включений в делениях окулярной шкалы;

m_i – количество включений данной группы;

l – длина подсчета в мкм.

Природу неметаллических включений определяли методом рентгенофазового анализа. Результаты проведенных исследований показаны в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1 и рис. 1, минимальный индекс загрязненности неметаллическими включениями и максимальное значение ударной вязкости присутствуют для образцов, модифицированных 0,1–0,2% ферросиликобарием.

В сталях, раскисленных обычными способами, основная часть включений (более 60%) располагается на границах зерен [2]. Это приводит к тому, что границы зерен сами по себе являющиеся дефектной составляющей, т.к. на этих участках скапливается повышенное число дислокаций, становятся концентраторами напряжений в силу повышенного содержания неметаллических включений. Модифицирование ферросиликобарием приводит к росту доли включений в осях дендритов и очищению границ литого зерна. При оптимальных присадках лигатуры с барием на границах литых зерен остается около 35% включений.

Таблица 1

Влияние модифицирования на распределение неметаллических включений

№ п/п	Присадка ФС65Ba15, %	Индекс загрязненности $I_{\text{общ}} \cdot 10^{-3}$		
		граница	оси дендритов	общий
1	0 (эталон)	1,87/62	1,15/38	3,02/100
2	0,05	1,15/67	0,67/37	1,71/100
3	0,10	0,55/38,4	0,88/61,6	1,43/100
4	0,20	0,46/33,6	0,91/66,4	1,37/100
5	0,30	0,95/34,2	1,82/65,8	2,77/100
6	0,40	0,95/35,3	1,74/64,7	2,69/100

Примечание. Числитель – абсолютные значения, знаменатель относительный процент.

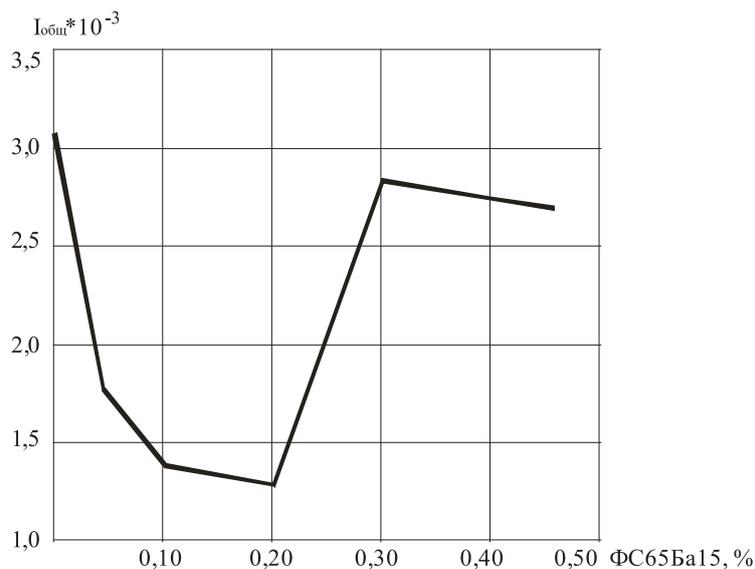


Рис. 1. Влияние модифицирования ферросиликобарием на распределение неметаллических включений

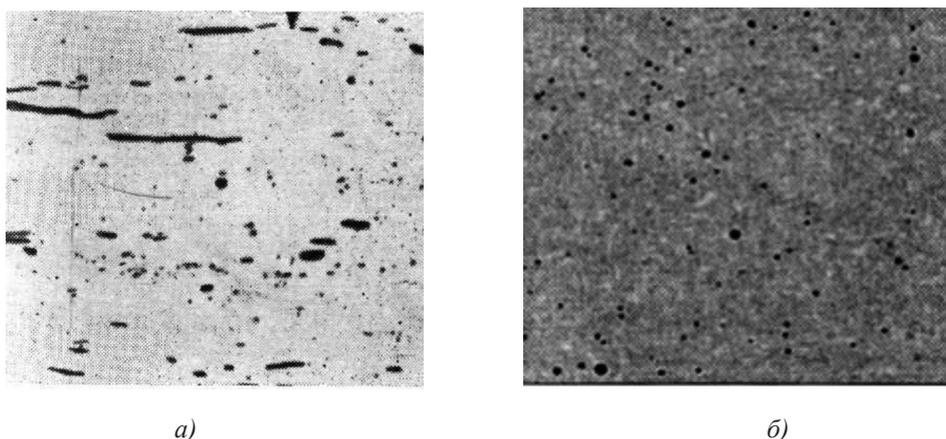


Рис. 2. Распределение и форма неметаллических включений в исходной (а) и опытной стали (б) 45ХЛ х400

Таблица 2

Механические свойства стали, раскисленной ферросиликобарием, после улучшения

№ п/п	Механические свойства			
	δ_b , МПа	δ_T , МПа	НВ	KCU, МДж/м ²
1	850	750	320	0,6
2	830	720	310	0,71
3	840	730	310	0,9
4	880	750	330	1,05
5	800	730	320	0,63
6	810	730	310	0,65

Исследования природы неметаллических включений показали, что в стали при всех вариантах модифицирования присутствуют сульфиды, комплексные фазы типа оксисуль-

фидов, силикаты и корунд. С добавлением ферросиликобария включения приобретают округлую форму и более равномерное распределение по матрице сплава (рис. 2).

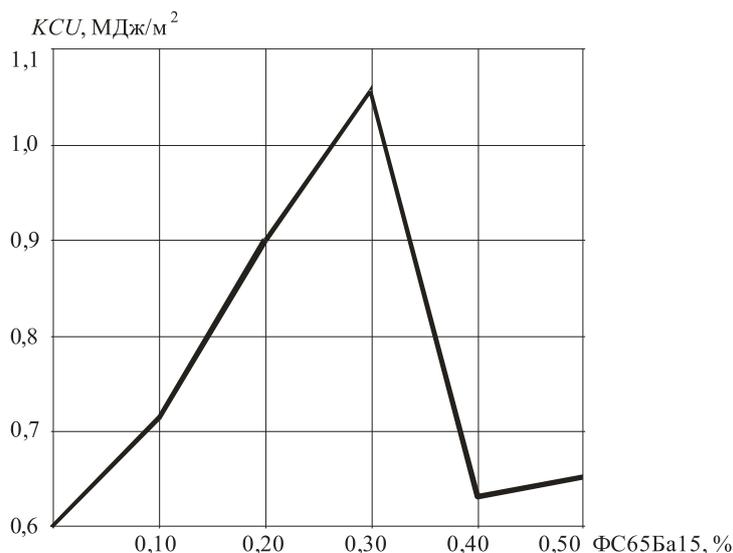


Рис. 3. Влияние модифицирования ферросиликобарием стали на ударную вязкость

Логично предположить, что изменение характера распределения неметаллических включений приведет к некоторому изменению механических свойств. С этой целью были измерены предел прочности и ударная вязкость стали. В качестве образцов использовались сплавы согласно табл. 1. Образцы были подвергнуты упрочняющей термообработке, состоящей из закалки (840°С, масло) и высокого отпуска (550°С, воздух). Испытания на предел прочности, ударную вязкость и твердость проводили согласно соответствующим ГОСТам. Полученные данные приведены в табл. 2.

Заключение

Как видно из данных (табл. 2, рис. 3) прочностные свойства стали – эталона и стали, модифицированной ферросиликобарием, различаются незначительно. Влияние модифицирования проявляется на изменении ударной вязкости: во всех образцах ударная вязкость выше, чем в эталоне, при этом для образцов с минимальным индексом загрязненности (образцы 3 и 4) ударная вязкость возрастает на 30% и 42% соответственно. Это достаточно легко объясняется, если учитывать, что влияние неметаллических включений особенно велико на ударную вязкость [3].

Механизм влияния ферросиликобария при модифицировании им стали на распределение неметаллических включений и, следовательно, на свойства представляется следующим образом [8]. При введении в сталь ферросиликобария частицы сплава после расплавления вступают в активное взаимодействие с основным метал-

лом. Надо учесть, что железо и кремний растворяются в стали, оставшиеся частицы нерастворимого бария имеют высокую химическую активность и вступают во взаимодействие с кислородом и другими элементами. При этом значительно снижается межфазное натяжение, что может привести к самодиспергированию частиц Ва до весьма малых размеров, вплоть до наночастиц.

В результате указанных процессов в стали на весьма короткое время, равное времени пребывания в ней Ва, образуется высокодисперсная самоорганизующаяся система из частиц Ва, поведение которой и определяет характер протекания процессов модифицирования. Именно возникновение огромного множества микро- и наночастиц Ва в металлическом расплаве при локальном характере введения модификаторов позволяет объяснить и понять возможность осуществления изменения микростроения и свойств всего объема жидкой стали, которые в дальнейшем скажутся на изменении свойств готовых изделий.

Атомы или наночастицы бария в металле и при выходе на границу металл-шлак соединяются с адсорбированными поверхностно-активными металлоидами (O, S и P) и в виде соединений BaO, BaS, Ba₃P₂ переходят в шлак. В силу малых размеров они легко поглощаются шлаком, способствуя снижению содержания кислорода, серы и фосфора в стали [8].

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что использование ферросиликобария в качестве раскислителя и модификатора уменьшает

индекс загрязненности неметаллическими включениями и повышает ударную вязкость.

Его введение приводит к повышению пластических свойств металлической матрицы и более благоприятному виду неметаллических включений, что должно способствовать повышению эксплуатационной стойкости стали в целом.

Список литературы

1. Голубцов В.А. Теория и практика введения добавок в сталь. – Челябинск, 2006. – 422 с.
2. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
3. Мизин В.Г., Агеев Ю.А. Условия формирования, состав и свойства неметаллических включений в кальций-содержащих сталях // Изв. АН СССР. Металлы. – 1981. – № 5. – С. 15.
4. Заславский А.Я., Гусева З.Ф. Барий в кальциевой стали // Изв. АН СССР. Металлы. – 1985. – № 5. – С. 74.
5. Привалов О.Е., Дубровин А.С., Байсанов С.О., Такенов Т.Д. Промышленные испытания технологии выплавки ферросиликобария и ферросилиция с барием // Известия Евразийского университета. – 2000. – С. 82–86.
6. Такенов Т.Д., Толымбеков М.Ж., Привалов О., Байсанов С. Специфика углеродотермии сплавов системы Fe – Si – Ba и фазовые соотношения в техногенных продуктах их выплавки // Журнал Промышленность Казахстана. – 2000. – № 12. – С. 110.
7. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений
8. Дерябин А.А., Могильный В.В., Годик Л.А. Эффективность и механизм модифицирования рельсовой стали барием // Журнал ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2007. – № 6. – С. 59.