

3. Буторина И.В. Поиск путей устойчивого развития металлургической отрасли методом математического моделирования / И.В. Буторина, П.С. Харлашин // Электromеталлургия. – 2003. – № 4. – С. 56-60.
4. Буторина И.В. Расчёт выбросов оксидов азота в металлургическом производстве / И.В. Буторина // Сталь. – 2004. – № 3. – С. 70-72.
5. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали : учебник / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. – 454 с.
6. Андо Д. Проблемы загрязнения окружающей среды оксидами серы и азота и современные меры сокращения их выброса в различных странах / Д. Андо // Черметинформация. – 1987. – Т. 23. – № 7. – С. 3-13.

Bibliography:

1. Kharlashin P.S. Metallurgy (problems, theory, technology, quality) : textbook for universities / P.S. Kharlashin, V.S. Voloshin, G.S. Yershov, T.N. Chaudri, V.P. Tarasov, A.M. Skrebtsov, V.I. Kapranov, V.A. Royanov, L.K. Leschinsky, V.P. Sudaryev. – Mariupol : PSTU, 2004. – 723 p. (Ukr.)
2. Butorina I.V. Framework for sustainable development of the metallurgical industry / I.V. Butorina. – Donetsk : Kashtan, 2005. – 332 p. (Rus.)
3. Butorina I.V. Finding ways to sustainable development of the metallurgical industry by mathematical modeling / I.V. Butorina, P.S. Kharlashin // Electrometallurgy. – 2003. – № 4. – P. 56-60. (Rus.)
4. Butorina I.V. The calculation of emissions of nitrogen oxides in metallurgical production / I.V. Butorina // Steel. – 2004. – № 3. – P. 70-72. (Rus.)
5. Boychenko B.M. Converter steel production: textbook / B.M. Boychenko, V.B. Okhotsky, P.S. Kharlashin. – Dnepropetrovsk : FDA «Dnipro-VAL», 2006. – 454 p. (Rus.)
6. Ando D. The problems of environmental pollution of sulfur and nitrogen oxides, and modern-reduction measures of their release in different countries / D. Ando // Chermetinformatiya. – 1987. – V. 23. – № 7. – P. 3-13. (Rus.)

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

Статья поступила 21.03.2012

УДК 669.15-194.2

©Тарасюк Л.И.¹, Морнева В.В.², Карлос Вера Мендоза³

ВЛИЯНИЕ ИТТРИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ

Проведены исследования механических свойств трубной стали (предела прочности, относительного удлинения, ударной вязкости при +20°C и -40°C), выплавленной в полупромышленных условиях и модифицированной иттрием.

Ключевые слова: *трубная сталь, модифицирование, иттрий, механические свойства.*

Тарасюк Л.И., Морнева В.В., Карлос Вера Мендоза. *Вплив іттрію на механічні властивості трубної сталі. Проведені дослідження механічних властивостей трубної сталі (межі міцності, відносного подовження, ударної в'язкості при +20°C і -40°C), виплавленої в напівпромислових умовах і модифікованої іттрієм.*

Ключові слова: *трубна сталь, модифікування, іттрій, механічні властивості.*

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ доктор философии (PhD), начальник подразделения Корпорации по исследованию материалов для газонефтедобывающей отрасли (COMIMSA), г. Салтильо, Мексика

L.I. Tarasyuk, V.V. Morneva, C.V. Mendoza. Effect of yttrium on the mechanical properties of pipe steel. The investigation of mechanical properties of pipe steel (breaking point, relative elongation, impact strength at 20°C and –40°C), which melted in the semi-industrial conditions and modified with yttrium.

Keywords: tube steel, modification, yttrium, mechanical properties.

Постановка проблеми. Переизбыток стального проката на мировом рынке вызывает замедление производства и потребления стали, повышаются затраты на сырье и энергию, ужесточается конкуренция. При сложившейся тенденции происходит снижение цен на стальной прокат, а также повышение требований к качеству металла. Прежде всего, на качество стали оказывают влияние содержание вредных примесей, физическая и химическая неоднородностью заготовки (слитка), неметаллические включения (их количество, морфология и распределение).

Появление новых технологий выплавки и обработки стали приводит к изменению параметров влияющих на качество стали, что сказывается на механических свойствах проката. Одним из основных способов физико-химического воздействия на затвердевшую сталь, способствующих улучшению ее механических и пластических свойств в литом и деформированном состояниях, является модифицирование. В качестве модификаторов в большинстве случаев используют редкоземельные металлы (РЗМ), однако большая часть сведений, имеющихся в научной литературе, относится к рафинирующему воздействию РЗМ, причем в обобщенном виде. Информация же об особенностях взаимодействия каждого компонента комплексных сплавов с РЗМ ограничена и нуждается в дальнейших исследованиях.

Большой интерес для модифицирования железоуглеродистых расплавов вызывает исследование иттрия, который обладает комбинированными свойствами и является комплексным модификатором. Иттрий при взаимодействии с металлическим расплавом, образует тугоплавкие кристаллические системы оксидов, нитридов и карбонитридов, что положительно сказывается на процессах превращения в твердом состоянии и общий уровень качества металла [1].

Результатом модифицирующего воздействия иттрия, как и других РЗМ, на неметаллические включения и структуру металла должно быть благоприятное влияние иттрия на механические свойства стали. Но если изменение механических свойств и особенно ударной вязкости при низких температурах в большей мере изучено при использовании церия, лантана, то влияние иттрия изучено слабо, хотя допускается, что его действие аналогично другим РЗМ. Для такого утверждения основания есть, однако необходимы экспериментальные исследования, которые могут дать ответ на вопрос о степени изменения механических свойств металла в конкретных условиях.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [2-4] рассмотрено влияния РЗМ на механические свойства трубной стали. Исследования показывают, что прочностные свойства продольных и поперечных образцов из опытного металла, модифицированного РЗМ и обычного практически одинаковы при всех вариантах модифицирования.

Более того, при добавке РЗМ иттриевой группы в количестве 0,3-0,6 кг/т стали ударная вязкость продольных образцов при температуре от –40°C до –80°C возрастает на 20-25%, поперечных – на 30-60%. При этом заметное уменьшение анизотропии и повышение ударной вязкости металла, обработанного РЗМ, наблюдается лишь при –80°C. Рост ударной вязкости поперечных образцов и снижение анизотропии при модифицировании РЗМ объясняется образованием недеформирующихся и неупорядоченно располагающихся оксисульфидов РЗМ вместо пластичных сульфидов марганца эвтектического типа, а также уменьшением неоднородности сляба.

В работе [5] исследовано изменение плотности трубной стали, модифицированной иттрием, и установлено, что при присадке 0,01% иттрия плотность стали увеличивается на 18,2 кг/м³, а при присадке 0,02% иттрия – на 21,0 кг/м³.

Как видно из литературного обзора влияние присадок иттрия на характеристики механических свойств металла изучены недостаточно.

Цель статьи. Исследование влияния иттрия на механические свойства трубных марок стали.

Изложение основного материала. Для изучения влияния иттрия на механические свойства стали было проведено исследование, которое включало выплавку металла, отливку слит-

ков, их прокатку в лабораторных условиях, изготовление образцов и проведение испытаний. Трубную сталь, соответствующую по химическому составу стали 09Г2ФБ выплавляли в индукционной печи емкостью 160 кг. Температура металла на выпуске составила 1640°C, химический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали перед выпуском из индукционной лабораторной печи

Содержание элементов, %									
C	Mn	Si	Nb	V	S	P	Cr	Ni	Cu
0,14	1,69	0,27	0,03	0,06	0,015	0,01	0,3	0,3	0,3

Сталь, полученная в лабораторных условиях, отличалась от стали 09Г2ФБ промышленного производства по содержанию углерода (+0,03%) и по содержанию серы (+0,009%). Полученный металл разливали по изложницам, уширенным кверху с прибыльными надставками (предварительно подогретыми до 100-150°C). Первый слиток (сравнительный) отливали без присадки СИИТМИШ-1 (сплав, содержащий иттрий). Последующие слитки отливали по такой технологии: после наполнения ковша на 1/3 в металл вводили, не прерывая выпуска металла из печи, СИИТМИШ-1 в расчетном количестве (таблица 2) в виде порошковой ленты, после полного заполнения ковша металлом, его разливали в изложницы сверху. Масса слитков составляла 16 кг.

Таблица 2

Расчетные величины присадок СИИТМИШ-1 в опытные слитки

Номер слитка	Расчетное содержание СИИТМИШ-1, %	Расход СИИТМИШ-1 с учетом угара, г/кг металла
1	-	-
2	0,04	12,8
3	0,06	18,3
4	0,08	19,2
5	0,10	23,0
6	0,12	25,5
7	0,14	29,8
8	0,16	34,0

Полученные слитки прокатали на листы толщиной 6 мм при степени обжатия 14 с одним промежуточным нагревом. Из листов изготовили стандартные продольные и поперечные образцы для определения механических свойств стали (предела прочности, относительного удлинения, ударной вязкости при +20°C и -40°C). Для каждого определения прочностных и пластических свойств использовали по два образца, а для определения ударной вязкости – 2÷4 образца.

Анализ результатов испытаний механических свойств трубной стали показал, что присадки иттрия оказывают существенное влияние на ударную вязкость металла при +20°C и -40°C (как продольных, так и поперечных образцов), а на предел прочности и относительное удлинение при +20°C практически не влияют.

Зависимость ударной вязкости металла вдоль направления прокатки при -40°C от присадки СИИТМИШ-1 имеет линейный характер (рис. 1). Для оценки достоверности обнаруженной зависимости провели корреляционный анализ, в результате которого определен коэффициент корреляции, который равен $r = 0,783$ при средней ошибке определения коэффициента корреляции $m_r = \pm 0,082$. Показатель достоверности равен: $\Theta = r/m_r = 0,783/0,082 = 9,5 \gg 2,306$, т.е. установленная связь достоверна с вероятностью 0,95. Ударная вязкость металла вдоль направления прокатки сравнительного слитка при -40°C составила 73 Дж/см², по мере увеличения расхода СИИТМИШ-1 растет и достигает 121 Дж/см² (при расходе СИИТМИШ-1 0,16% (в расчете по иттрию)), т.е. возрастает на 65%. Полученные значения согласуются с данными, приве-

денными в работе [6], в которой авторы установили повышение ударной вязкости в 1,5-2 раза и более для стали 20Х13Л, обработанной СИИТМИШ-1 из расчета 0,15 % иттрия, а также в работе [7], где авторы сообщают о повышении ударной вязкости на 44% в стали 20, раскисленной комплексным модификатором, содержащим РЗМ.

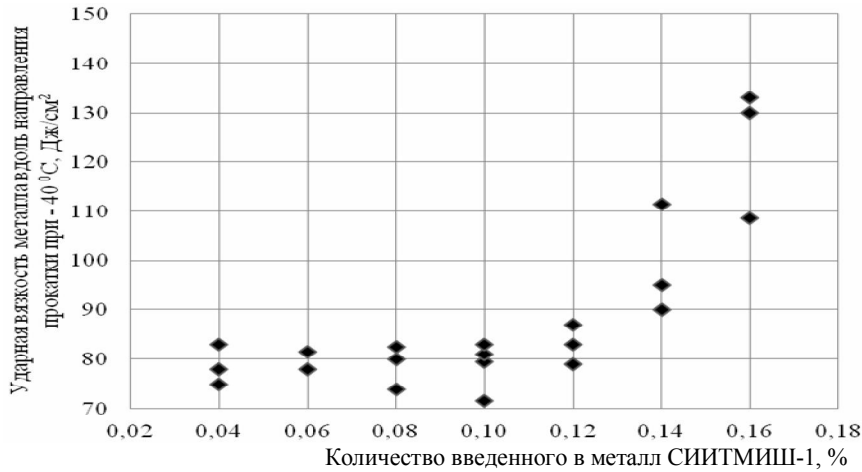


Рис. 1 – Зависимость ударной вязкости опытного металла вдоль направления деформации при – 40°C от количества СИИТМИШ-1, введенного в металл

Зависимость ударной вязкости металла поперек направления деформации при – 40°C от количества СИИТМИШ-1, введенного в металл, более сложная (рис. 2). При этом ударная вязкость поперек направления деформации более низкая, чем ударная вязкость вдоль направления деформации. С ростом расхода СИИТМИШ-1 до 0,1% (в расчете по иттрию) наблюдается небольшой рост ударной вязкости, а затем наблюдается резкое возрастание, достигая при расходе СИИТМИШ-1 0,16% (в расчете по иттрию) среднего значения 114 Дж/см². Таким образом, при среднем значении ударной вязкости поперек направления деформации металла без присадки иттрия при –40°C, равном 66 Дж/см², ударная вязкость при расходе СИИТМИШ-1 0,16% (в расчете по иттрию) возрастает на 72%.

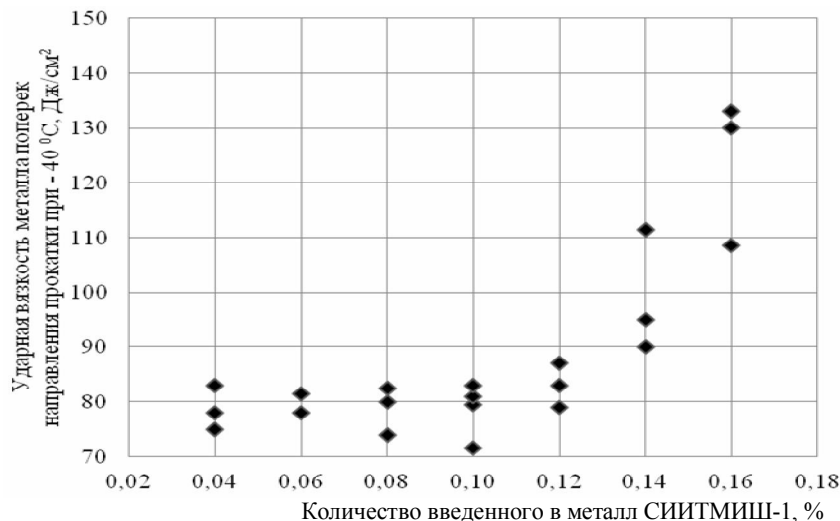


Рис. 2 – Зависимость ударной вязкости металла поперек направления деформации при – 40°C от количества СИИТМИШ-1, введенного в металл

Хорошо известно, что повышение механических свойств металла при модифицировании обусловлено: снижением содержания неметаллических включений, изменением их морфологии, формы и распределения, глобуляризацией сульфидных и окисульфидных включений, что

снижает возможность трещинообразования металла.

Исчезают сульфидные пленки по границам зерен, а образующиеся окисьюльфидные глобулярные включения, которые не деформируются и не вытягиваются в строчки при горячей деформации, так как имеют температуру плавления выше температуры прокатки. Повышение ударной вязкости металла связано с повышением содержания вязкой составляющей в изломе стали. С целью исследования зависимости вязкой составляющей в металле с различным содержанием иттрия провели изучение изломов ударных продольных и поперечных образцов металла без присадки СИИТМИШ-1 (сравнительный слиток) и с присадками СИИТМИШ-1 0,06%, 0,10% и 0,16% (в расчете по иттрию).

На рисунках 3 и 4 представлены фотографии изломов, продольных и поперечных образцов, полученные с помощью микроскопа РЭМ-200. На фотографиях хорошо виден рост вязкой составляющей по мере роста расхода СИИТМИШ-1 и хорошо заметны глобулярные включения окисьюльфидного типа, недеформирующиеся при горячей деформации. Таким образом, при увеличении расхода иттрия заметно снижается уровень анизотропии свойств модифицированного металла как в продольных, так и в поперечных образцах.

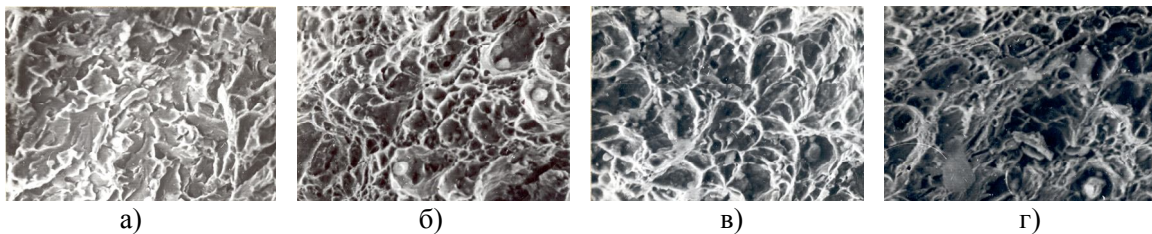


Рис. 3 – Виды изломов продольных образцов из полупромышленной стали 09Г2ФБ ($\times 800$): а) – без присадки СИИТМИШ-1; б) – с присадкой СИИТМИШ-1 (0,06% в расчете по Y); в) – с присадкой 0,10% в расчете по Y; г) – с присадкой 0,16% в расчете по Y

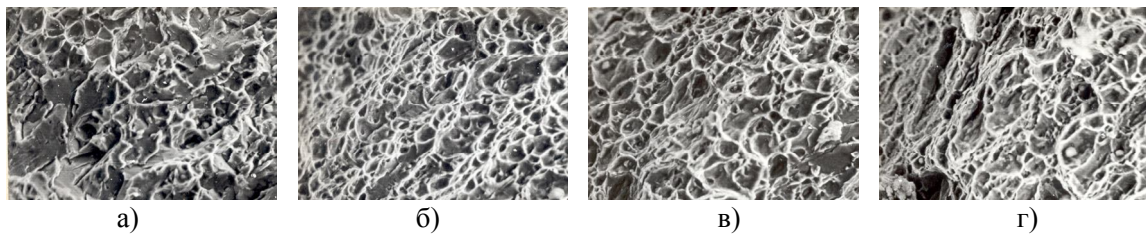


Рис. 4 – Виды изломов поперечных образцов из полупромышленной стали 09Г2ФБ ($\times 800$): а) – без присадки СИИТМИШ-1; б) – с присадкой СИИТМИШ-1 (0,06% в расчете по Y); в) – с присадкой 0,10% в расчете по Y; г) – с присадкой 0,16% в расчете по Y

Выводы

1. Модифицирование металла иттрием оказывает существенное влияние на ударную вязкость стали при -40°C и позволяет увеличить изотропию свойств стали. Зависимость ударной вязкости вдоль направления деформации при -40°C от количества введенного иттрия носит линейный характер и возрастает на 65%. Зависимость ударной вязкости поперек направления деформации при -40°C от количества введенного в металл иттрия носит более сложный характер, при введении иттрия до 0,10% ударная вязкость слабо изменяется, а при расходе иттрия более 0,10% возрастает на 72%.
2. Существенного влияния на предел прочности и относительное удлинение в зависимости от содержания иттрия при $+20^{\circ}\text{C}$ не установлено.
3. Повышение механических свойств металла при модифицировании иттрием обусловлено снижением содержания неметаллических включений, изменением их морфологии, формы и распределения, глобуляризацией сульфидных и окисьюльфидных включений, которые не

- деформируются при горячей деформации, исчезают сульфидные пленки по границам зерен.
4. Повышение ударной вязкости металла связано с повышением содержания вязкой составляющей в изломе металла при минусовых температурах (-40°C).

Список использованных источников:

1. Совершенствование литейных жаростойких хромоалюминиевых сталей микролегированием и модифицированием / М.М. Ямшинский [и др.] // Новые материалы и технологии в машиностроении. 9-я Международная научно-техническая конференция. – Киев, 2009. – С. 20-24.
2. Свойства экономнолегированной малоперлитной стали для газопроводных труб большого диаметра в северном исполнении / Н.П. Лякишев [и др.] // Сталь. – 1980. – №9. – С. 809-813.
3. Влияние иттрия на плотность металла / Л.С. Этелис [и др.] // Изв. Вузов. Чер. Metallургия. – 1972. – № 11. – С. 50-53.
4. Структура и свойства литой углеродистой стали, легированной иттрием / А.П. Любченко [и др.] // Изв. АН СССР. Металлы. – 1986. – № 5. – С. 150-154.
5. Тарасюк Л.И. Исследование и разработка методов физико-химического воздействия на процесс кристаллизации металла, обеспечивающих улучшение качества крупных слитков и литых слябов : Диссертация канд. техн. наук. – Жданов, 1982. – 160 с.
6. Скок Ю.Я. О механизме модифицирования стали / Ю.Я. Скок, В.А. Ефимов // Проблемы стального слитка : труды VII конференции по слитку. – М., 1978. – С. 43-47.
7. Влияние модифицирования на механические свойства литой и деформированной трубной малоуглеродистой стали / А.Г. Габисиани [и др.] // Труды VII конф. Проблемы стального слитка. – М., 1978. – С. 174-176.
8. Modification of nonmetallic inclusions in steel with yttrium / L.I. Tarasyuk [e. a.] // Journal of University of Science and Technology Beijing. – 1989. – Vol. 11. – № 6. – P. 539-543.

Bibliography:

1. Improvement of heat-resistant cast steels chromoaluminievyyh microalloying and modification / M.M Yamshinsky [and others] // New materials and technologies in mechanical engineering. The 9th International Scientific Conference. – Kiev, 2009. – P. 20-24. (Rus.)
2. Properties of little pearlitic gas pipes steel of large diameter for northern regions / N.P. Lyakishev [and others] // Steel. – 1980. – № 9. – P. 809-813. (Rus.)
3. Influence of yttrium on the density of the metal / L.S. Etelis [and others] // Math. Universities. Cher. Metallurgy. – 1972. – № 11. – P. 50-53. (Rus.)
4. Structure and properties of cast carbon steel, alloyed with yttrium / A.P. Lubchenco [and others] // News of USSR Academy of Sciences. Metals. – 1986. – № 5. – P. 150-154. (Rus.)
5. Tarasyuk L. Research and development of methods of physico-chemical effects on the crystallization of the metal, providing improved quality of large ingots and cast slabs : Ph.D. Thesis. Technical. Sciences. – Zhdanov, 1982. – 160 p. (Rus.)
6. Skok Y.Y. On the mechanism of modification of steel / Y.Y. Skok, V.A. Efimov // Problems of steel ingot : Proceedings of the VII Conference on ingot. – M., 1978. – P. 43-47. (Rus.)
7. Effect of modification on the mechanical properties of cast and deformed low carbon steel tube / A. Gabisiani [and others] // Proceedings of the VII Conf. The problems of the steel ingot. – M., 1978. – P. 174-176. (Rus.)
8. Modification of nonmetallic inclusions in steel with yttrium / L.I. Tarasyuk [e.a.] // Journal of University of Science and Technology Beijing. – 1989. – Vol. 11. – № 6. – P. 539-543.

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

Статья поступила 30.03.2012

УДК 669.184

©Тарасюк Л.И.¹, Морнева В.В.², Карлос Вера Мендоза³**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ВКЛЮЧЕНИЙ В МЕТАЛЛЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ИТТРИЕМ**

Рентгеноспектральным методом изучали качественный состав неметаллических включений, образующихся в стали марок 09Г2ФБ и 17Г1СУ, модифицированных иттрием и без ввода иттрийсодержащего материала (СИИТМИШ-1).

Ключевые слова: неметаллические включения, модифицирование, иттрий, качественный состав, рентгеноспектральный анализ.

Тарасюк Л.И., Морнева В.В., Карлос Вера Мендоза. Дослідження якісного складу неметалевих включень у металі, модифікованим ітрієм. Рентгеноспектральним методом вивчали якісний склад неметалевих включень, що утворюються в сталі марок 09Г2ФБ і 17Г1СУ, модифікованих ітрієм і без введення матеріалу, що містить ітріій (СІІТМІШ-1).

Ключові слова: неметалеві включення, модифікування, ітріій, якісний склад, рентгеноспектральний аналіз.

L.I. Tarasyuk, V.V. Morneva, C.V. Mendoza. Investigation of the quality composition of the nonmetallic inclusions in metals, modified with yttrium. Using the X-ray spectral method the quality composition of the nonmetallic inclusions formed in the steel grades 09G2FB and 17G1SU was investigated, modified with yttrium and without insertion of material, containing yttrium (SIITMISH-1).

Keywords: nonmetallic inclusions, modification, yttrium, quality composition, X-ray spectral analysis method.

Постановка проблемы. За счет накопления знаний существенно изменились подходы к высоконадежным конструкционным материалам. Известно, что качество стали в значительной мере зависит от содержания, формы, размера и распределения в ней неметаллических включений (НВ). Ввиду внедрения в сталеплавильную практику эффективных технологических приемов десульфурации обеспечивает получение стали с содержанием серы на уровне 0,003%, что в значительной степени понижает отрицательное влияние сульфидных НВ на свойства металла. Вместе с тем, как следствие глубокой десульфурации, существенно повышается влияние кислорода, который связан в оксидные и оксисульфидные НВ, на качественные показатели металла. Поэтому среди факторов, в наибольшей мере снижающих срок эксплуатации металлоизделий, все большее значение приобретают оксидные НВ.

Неметаллические включения практически не влияют на «объемные» процессы пластической деформации и упрочнения, но разнообразно проявляют себя в локальных процессах - в разрушении, а также в формировании зерна и фазового состава стали. От НВ во многом зависят как технологические (технологическая пластичность, разливаемость), так и механические (ударная вязкость) и эксплуатационные свойства (стойкость к коррозии) стали.

В настоящее время для раскисления стали наиболее широко используют алюминий. При высоких остаточных концентрациях алюминия химический состав оксидных включений в стали приближается к чистому глинозему, что часто является нежелательным как с точки зрения технологических, так и потребительских свойств металла. Поэтому во время внепечной обработки, как правило, проводят технологические мероприятия, направленные на изменение природы НВ.

В настоящее время для модифицирования НВ в раскисленной алюминием стали все чаще

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ доктор философии (PhD), начальник подразделения Корпорации по исследованию материалов для газонефтедобывающей отрасли (COMIMSA), г. Салтильо, Мексика