DOI 10.52209/1609-1825_2024_1_57 ӘОЖ 669.184

Темір-көміртекті қорытпалардағы негізгі элементтермен және металл емес қосындылармен сирек жер металдарының әрекеттесуін зерттеу

[1]**ЖОЛДУБАЕВА Жумагуль Дюсембаевна,** *PhD, доцент, Zhuma-77@mail.ru,*
[1]***МАЖИТОВА Ляззат Ашарбековна,** *докторант, liazzat1984@mail.ru,*
[2]**СИРГЕТАЕВА Гульжан Ермековна,** *PhD, аға оқытушы, gulzhan_karakeev@mail.ru,*
[3]**БЕЛОВ Владимир Дмитриевич,** *т.ғ.д., профессор, vdbelov@mail.ru,*
[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,
[2]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,
[3]Ұлттық зерттеу технологиялық университеті «Болат және қорытпалар Мәскеу институты», Ленин даңғылы, 4, Мәскеу, Ресей,
**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Ұсынылып отырған мақала сирек жер металдардың темір-көміртекті қорытпалардағы негізгі элементтермен және металл емес қосылыстармен өзара әрекеттесуін зерттеуге арналған. Мақалада қорытпа компоненттері арасындағы өзара әрекеттесудің сипаты мен механизмдері қарастырылады, сирек кездесетін металдар мен металл емес қоспалардың материалдың қасиеттеріне әсері талданады. Сондай-ақ, темір-көміртекті қорытпаларын сирек жер металдарымен модификациялау әдісі қарастырылған. Рентгеноспектральды әдіспен иттриймен модификацияланған және құрамында иттрий бар материалды енгізбестен (СИИТМИШ-1) 09Г2ФБ және 17Г1СУ маркалы болаттарда қалыптасқан металл емес қосындылардың сапалық құрамы зерттелді. Сирек жер металын еңгізу арқылы күрделі қосылыстар түзіле отырып, соның нәтижесінде қорытпа металл емес қосындылардан тазартылады. Осы саладағы зерттеулер жақсартылған сипаттамалары бар жаңа материалдарды әзірлеуге және оларды өндіру мен өңдеу процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.*

Кілт сөздер: *сирек жер металдары, металл емес қосындылар, модификация, иттрий, сапалық құрам, рентгендік спектрлік талдау.*

Кіріспе

Темір-көміртекті қорытпалар өнеркәсіпте кеңінен қолданылады және оларды жақсарту өзекті мәселе болып табылады. Сирек жер металдары ерекше қасиеттерге ие және қорытпалардың құрылымы мен қасиеттеріне әсер етуі мүмкін.

Соңғы уақытта таза сирек-жер металдарын да, олардың басқа элементтермен қорытпалары да, сонымен қатар ферроқорытпалар және күрделі негізгі қорытпалар түрінде пайдалану көбейді және көбеюде.

Болаттарды СЖМ-мен тазарту тиімділігі олардың зиянды қоспаларға жақындық дәрежесімен анықталады.

Бір элементтің екінші элементке химиялық белсенділігі электртерістігінің айырмашылығымен анықталады [1], яғни элементтердің иондық және коваленттік байланыстардың түзілуімен өзара әрекеттесу қабілеті [2] және электртерістігі бойынша келесі ретпен орналасады:

Жоғарыда айтылғандарға сүйенетін болсақ, болатты O, S, P, H, N-дан тазарту үшін СЖМ (Y, Ce) ең тиімді қоспалар болып табылады.

1-суретте сирек кездесетін металдардың оттегіге жақындығы балқу температурасы диапазонында болат маркаларының көпшілігінің негізі болып табылатын химиялық элементтердің жақындығынан айтарлықтай асып түсетіні көрсетілген.

Айта кетерлік бір жай, металлургияда ең көп қолданылатын СЖМ-ның барлық тізімінің ішінде иттрий оттегіге ең жоғары жақындыққа ие және бұл артықшылық есептеу үшін қолданылатын температуралардың барлық диапазонында, яғни іс жүзінде оның өмір сүруінің әртүрлі кезеңдерінде барлық түсетін химиялық элементтердің белсенді әрекеттесуінің бүкіл аймағында сақталады.

Соңғы зерттеулер мен жарияланымдарды талдау

Сирек-жер металдары оттегіге химиялық жақындығы бойынша титан, кремний, марганец, алюминий сияқты белгілі тотықсыздандырғыштардан әлдеқайда асып түсетіні және диаграммадағы төменгі аймақты алатыны анықталды (1-сурет).

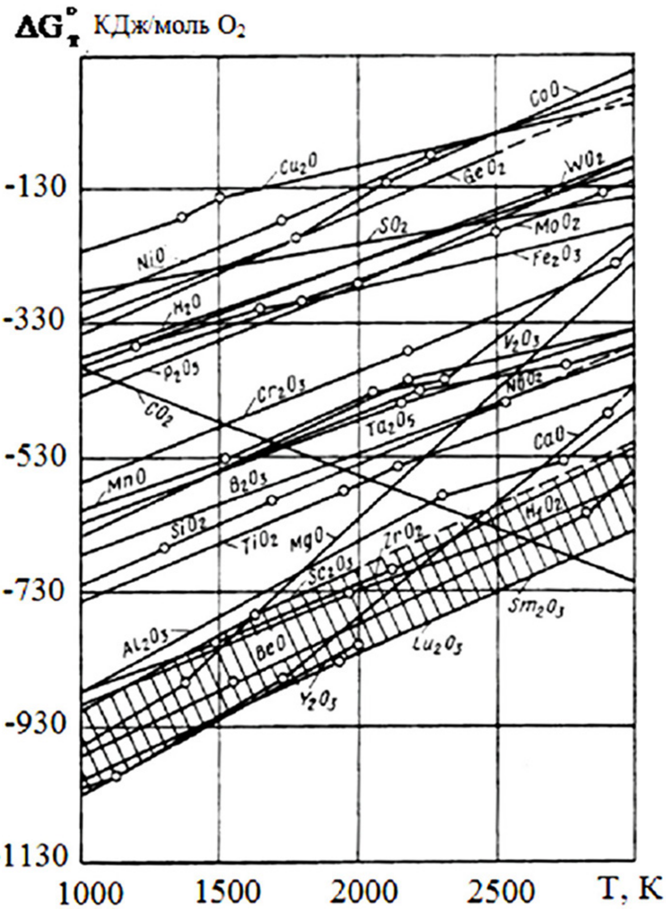
Температурасы 1600 К дейін сирек кездесетін металдардың ең белсендісі иттрий болып табылады. 1600-1700 К температура диапазонында, Lu, Sm, Y кему ретімен.

Металлургия өнеркәсібінде кеңінен қолданылатын ең күшті тотықсыздандырғыш болып табылатын алюминий сирек жер металдарынан айтарлықтай төмен және сирек жер мен Ti, Si, B, Mn тобының арасындағы диаграммада орналасқан.

МЕҚ морфологиясына, құрамына, таралуына және өлшемдеріне СЖМ (Ce, La) әсерін зерттеу көптеген жұмыстарда жақсы көрсетілген [3], алайда иттрий мен иттрий бар материалдардың әсерін зерттеу жеткіліксіз болып табылады және түзілетін МЕҚ-

1-кесте – Элементтердің электртерістігі бойынша орналасуы

Y	Ce	Al	Ti	Mn	V	Cr	W	Si	Mo
1,1	1,2	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8
Fe	**Ni**	**Cu**	**B**	**P**	**H**	**C**	**S**	**N**	**O**
1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,1	2,5	2,5	3,0	3,5



1-сурет – Кейбір оксидтердің түзілуінің изобарлы-изотермиялық потенциалы

дың морфологиясын, құрамын, таралуын және мөлшерін одан әрі зерттеу қажет.

Жұмыс авторлары [3] алюминиймен жақсы тотықсыздандырылған болатқа аздаған СЖМ қосқанда СЖМ ең алдымен оттегі мен күкіртпен белсенді әрекеттесіп, (Re, Al)$_2$O$_3$(Re-СЖМ) типті кешенді оксидтерді, Re$_2$O$_2$S оксисульфидтерін және глобулярлы Re$_2$S$_3$ және ReS сульфидтерін түзетінін анықтады, олар әдетте сульфидті қабықпен қоршалған оксидтерден немесе оксисульфидтерден тұрады.

Алюминиймен жақсы тотықсыздандырылған болатқа [3] аздаған СЖМ қосқанда СЖМ ең алдымен оттегі мен күкіртпен белсенді әрекеттесіп, (Re, Al)$_2$O$_3$(Re-СЖМ) типті кешенді оксидтерді, Re$_2$O$_2$S оксисульфидтерін және глобулярлы Re$_2$S$_3$ және ReS сульфидтерін түзетінін анықтады, олар әдетте сульфидті қабықпен қоршалған оксидтерден немесе оксисульфидтерден тұрады.

Оттегі мен күкіртке жоғары жақындығы бар иттрий қосымша кристалдану орталықтарының рөлін атқара алатын отқа төзімді қосылыстар түзеді. Бұл жағдайда иттрий оксидтері (тығыздығы иттрий сульфидтерінен жоғары) құйма көлемінде баяу қалқып шығады және кристалдану орталықтары ретінде көбірек қызмет етеді [4-5].

[3] жұмыс авторларының ойынша қосындылардың табиғаты мен құрамы негізінен [СЖМ] / S > 3 қатынасында СЖМ және күкірт мөлшеріне байланысты, ал марганец сульфидтері мен [СЖМ, Mn] S күрделі сульфидтер іс жүзінде түзілмейді. Сонымен қатар марганец СЖМ бар болаттағы глобулярлы сульфидтерде де кездеседі, олар бір фазалы глобулярлар түрінде болып, оксисульфидті қосылыстардың қабығын құрады. Марганецтің қосындылардың көлденең қимасы бойынша гетерогенді таралуы анықталды.

Иттрийдің модификациялық қабілеті туралы зерттеулер [7-8] еңбектерінде келтірілген, онда авторлар иттрий қосылған дайын прокатта күрделі құрамды металл емес қосындылары болады деген қорытындығa келеді, сонымен қатар қосындылардың морфологиясы да әртүрлі. (Al$_2$O$_3$·Y$_2$O$_3$)·S және Y$_2$O$_2$S·(Fe,Mn)S типті металл емес қосындылар пайда болады.

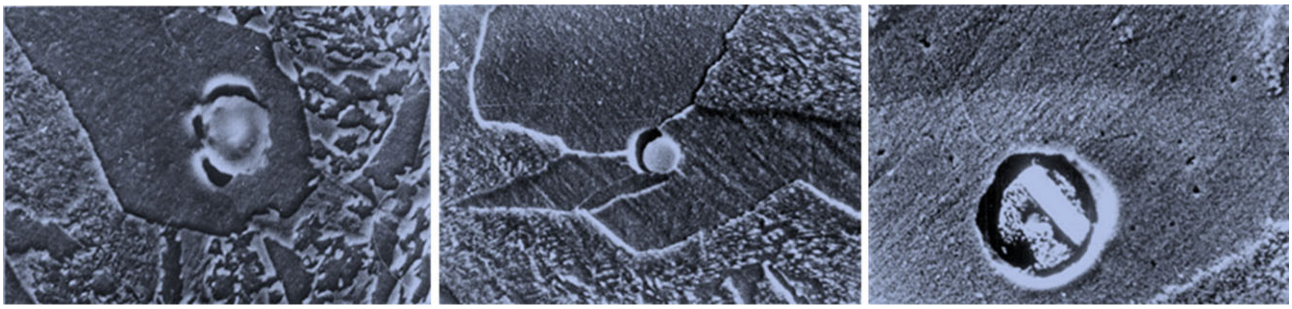
Күрделі қосындылардағы иттрийдің мөлшері қосылған модификатордың мөлшерін арттыру арқылы 6~8%-дан 60~70%-ға дейін ауытқиды. Қосындылардың пішіні негізінен шар тәрізді болып, иттрий мен күкірт олардың ішінде біркелкі таралады.

Зерттеу әдістері

Рентгендік спектрлік әдіс зертханалық жағдайларда СИИТМИШ-1 қосылмаған қайта балқытылған 09Г2ФБ және 17Г1СУ болаттарына тән металл емес қосындыларды, сондай-ақ модификацияланған металдың металл емес қосындыларын зерттеу үшін қолданылды. Марганец сульфиді, темір сульфиді, титан сульфиді, алюминий тотығы, кремний оксиді және титан нитриді зертханалық жағдайларда және өнеркәсіптік өндірісте қайта балқытылған 09Г2ФБ және 17Г1СУ болат үлгілеріндегі (иттрий қоспасы жоқ) типтік қосындылар болып табылады (1-сурет). Металлографиялық зерттеу көрсеткендей, металлға 09Г2ФБ және 17Г1СУ болаты үшін 0,06% және 0,05% мөлшерінде (иттрий бойынша есептегенде) СИТМИШ-1 енгізілгенде, оксисульфидтер түзу үшін металл емес қоспалардың глобуляризация процесі басталады. 0,06% мөлшерінде (иттрий бойынша) СИИТМИШ-1 қоспасы бар 09Г2ФБ болаттан жасалған модификацияланған құймада иттрий қоспасы жоқ салыстырмалы құймаға ұқсас металл емес қосындылар және СЖМ оксисульфидті түрдегі жаңа қосындылар кездеседі, осы қосындылардың фотосуреттері 2-суретте көрсетілген.

09Г2ФБ және 17Г1СУ маркалы төмен легирленген болатты СИИТМИШ-1 оңтайлы мөлшерде 0,07-0,08% (иттрий бойынша есептегенде) модификациялаған кезде иттрий күрделі құрамды оксидтер мен оксисульфидтер түзу арқылы металл емес қосылыстардың глобуляризация процесіне жағымды әсер етеді.

Металл емес қосылыстардың түзілуі мен морфологиясы, ал металда күрделі оксидтер мен оксисульфидтер түзу үшін металл емес қосылыстардың глобуляризация процесі байқалады. Белгілі болғандай, қосындыларды глобуляризациялау шарттарының бірі олардың металда сұйық күйде түзілуі болып табылады, бұл Y$_2$O$_3$-Al$_2$O$_3$-SiO$_2$ жүйесінің күй диаграммасын қарастыру арқылы расталады. Металдың шамамен 1800 К температурада тотықсыздандырылуын ескере отырып, күрделі құрамдағы ықтимал қосылыстардың көпшілігі сұйық күйде түзілуі мүмкін (Y$_2$O$_3$-Al$_2$O$_3$-SiO$_2$ жүйесінің химиялық қосылыстарының балқу температурасы 1600-ден 2100 К аралығында болады). Айта кету керек, төмен легірленген болатты оңтайлы мөлшерде 0,07-0,08% СИИТМИШ – 1 модификациялау кезінде (иттрий бойынша есептегенде) балқу температурасы жеткілікті төмен, бірақ илемдеу температурасынан жоғары оксисульфидті типтегі металл емес қосындылар түзіледі, сондықтан глобулярлы пішінді СЖМ оксидтері мен оксисульфидтері деформацияланбайды және ыстық деформация кезінде сызықтарға созылмайды. Иттрий бойынша есептегенде СИИТМИШ-1 шығынының 0,07-0,08%-дан асуы қосындылардың тез өсуіне және олардың санының өсуіне алып келеді.



2-сурет – Құрамында 0,06% Y бар 09Г2ФБ болатындағы күрделі СЖМ оксисульфидтері

Қорытынды

1. Құрамында иттрий бар материалдың металға қосылуы СЖМ-ның күрделі оксисульфидті қосындыларының түзілуіне алып келеді, ал МЕҚ глобуляризациясы бос оксидтер мен сульфидтер толығымен жойылғанша жүреді.

2. Сульфидті эвтектиканың жойылуымен қатар жүретін қосындылардың толық сфероидизациялану процесі 09Г2ФБ және 17Г1СУ СИИТМИШ-1 типті құбыр болатқа сәйкесінше 0,08% және 0,07% иттрий енгізілгенде жүреді.

3. Металл емес қосындылардың рентгендік спектрлік талдауы 09Г2ФБ және 17Г1СУ СИИТМИШ-1 болаттарын модификациялау кезінде иттрий және негізгі қорытпаның құрамына кіретін басқа да сирек жер металдары сульфидтермен және оксидтермен белсенді әрекеттесіп, глобулярлы деформацияланбайтын оксисульфидтер түзетінін көрсетеді.

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар атынан тиісті автор мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Белов Б.Ф., Троцан А.И., Крейденко Ф.С. и др. Снижение флокено-чувствительности конструкционной стали, микролегированной церием // Металлург. 2004. 9. С. 40-41.
2. Григорович, К.В. Влияние технологии раскисления трубных сталей на состав и количество неметаллических включений / К.В. Григорович, Т.В. Шибаева, А.М. Арсенкин // Металлы. – 2011. – № 5. – С. 164-170.
3. Модифицирование неметаллических включений в стали 17Г1С / Ю.Я. Скок [и др.] // Сталь. – 1983. – № 8. – С. 63-66.
4. Михайлов, Г.Г. Термодинамика процессов взаимодействия иттрия, кальция, магния и алюминия с кислородом в жидкой стали / Г.Г. Михайлов, Л.А. Макровец, Л.А. Смирнов // Вестник ЮУрГУ, сер. «Металлургия». – 2016. – Т. 16. № 2. – С. 5-13.
5. Модифицирование стали для отливок и слитков / В.А. Голубцов, В.В. Лунев. – Челябинск; Запорожье: Запорож. нац. техн. ун-т, 2009. – 356 с.
6. Тен Э.Б., Киманов Б.М., Жолдубаева Ж.Д. Механизм фильтрационного рафинирования металлического расплава от мелкодисперсных неметаллических включений // Материалы междунар. научно-практич. конф. «Проблемы и перспективы развития горно-металлургической отрасли: теория и практика». – Караганда, 2013. – С. 135-138.
7. 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.
8. Формирование неметаллических включений в сталях, модифицированных иттрием / Л.И. Тарасюк [и др.] // Вісник ПДТУ. – Вип. 23. – 2011. – С. 27-33.

Исследование взаимодействия редкоземельных металлов с основными элементами и неметаллическими включениями в железоуглеродистых сплавах

[1]**ЖОЛДУБАЕВА Жумагуль Дюсембаевна,** *PhD, доцент, Zhuma-77@mail.ru,*
[1]***МАЖИТОВА Ляззат Ашарбековна,** *докторант, liazzat1984@mail.ru,*
[2]**СИРГЕТАЕВА Гульжан Ермековна,** *PhD, старший преподаватель, gulzhan_karakeev@mail.ru,*
[3]**БЕЛОВ Владимир Дмитриевич,** *д.т.н., профессор, vdbelov@mail.ru,*
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
[2]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,
[3]Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Ленинский проспект, 4, Москва, Россия,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Предлагаемая статья посвящена изучению взаимодействия редкоземельных металлов с основными элементами и неметаллическими соединениями в железоуглеродистых сплавах. Рассматривается метод модифицирования железоуглеродистых сплавов редкоземельными металлами, характер и механизмы взаимодействия компонентов сплава. Анализируется влияние редкоземельных металлов и неметаллических смесей на свойства материала. Рентгеноспектральным методом изучали качественный состав неметаллических включений, образующихся в стали марок 09Г2ФБ и 17Г1СУ, модифицированных иттрием и без ввода иттрийсодержащего материала (СИИТМИШ-1) с образованием комплексных соединений путем внесения редкоземельного металла, в результате чего происходит очистка сплава от неметаллических соединений. Исследования в этой области позволяют разрабатывать новые материалы с улучшенными характеристиками и оптимизировать процессы их производства и переработки.*

Ключевые слова: *редкоземельные металлы, неметаллические соединения, модификация, иттрий, качественный состав, рентгеноспектральный анализ.*

Research of the Interaction of Rare-earth Metals with Main Elements and Non-metallic Compounds in Iron-carbon Alloys

[1]**ZHOLDUBAYEVA Zhumagul,** *PhD, Associate Professor, Zhuma-77@mail.ru,*
[1]***MAZHITOVA Lyazzat,** *Doctoral Student, liazzat1984@mail.ru,*
[2]**SIRGETAYEVA Gulzhan,** *PhD, Senior Lecturer, gulzhan_karakeev@mail.ru,*
[3]**BELOV Vladimir,** *Dr. of Tech. Sci., Professor, vdbelov@mail.ru,*
[1]NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56, Karaganda, Kazakhstan,
[2]NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», Zhenis Avenue, 62, Astana, Kazakhstan,
[3]National University of Science and Technology «Moscow Institute of Steel and Alloys», Leninsky Avenue, 4, Moscow, Russia,
**corresponding author.*

Abstract. *The proposed article is devoted to the study of the interaction of rare earth metals with basic elements and non-metallic compounds in iron-carbon alloys. The article discusses the method of modifying iron-carbon alloys with rare-earth metals, the nature and mechanisms of interaction of alloy components. The influence of rare earth metals and non-metallic mixtures on the properties of the material is analyzed. The qualitative composition of non-metallic inclusions formed in steel grades 09G2FB and 17G1SU modified with yttrium and without the introduction of yttrium-containing material (SIITMISH-1) was studied by the X-ray spectral method. With the formation of complex compounds by the introduction of rare earth metal, as a result of which the alloy is purified from non-metallic compounds. Research in this area makes it possible to develop new materials with improved characteristics and optimize the processes of their production and processing.*

Keywords: *rare earth metals, non-metallic compounds, modification, yttrium, qualitative composition, X-ray spectral analysis.*

REFERENCES

1. Belov B.F., Trotsan A.I., Kreydenko F.S. Reducing the flock sensitivity of structural steel microalloyed with cerium // Metallurgist. 2004. 9. Pp. 40-41.
2. Grigorovich, K.V., Shibaeva, T.V., Arsenkin, A.M. Influence of pipe steel deoxidation technology on the composition and amount of non-metallic inclusions // Metals. 2011. No. 5. Pp. 164-170.
3. Modification of non-metallic inclusions in steel 17G1S / Yu.Ya. Skok [and others] // Steel. – 1983. – No. 8. – Pp. 63-66.
4. Mikhailov, G.G. Thermodynamics of processes of interaction of yttrium, calcium, magnesium and aluminum with oxygen in liquid steel / G.G. Mikhailov, L.A. Makrovets, L.A. Smirnov // Vestnik SUSU, ser. «Metallurgy». 2016. V. 16. No. 2. Pp. 5-13.
5. Modification of steel for castings and ingots / V.A. Golubtsov, V.V. Lunev. – Chelyabinsk; Zaporozhye: Zaporozhye nat. tech. un-t, 2009. – 356 p.
6. Ten E.B., Kimanov B.M., Zholdubaeva Zh.D. The mechanism of filtration refining of a metal melt from finely dispersed non-metallic inclusions // Materials of the Intern. scientific and practical. conf. «Problems and prospects for the development of the mining and metallurgical industry: theory and practice». – Karaganda, 2013. – Pp. 135-138.
7. Improvement of foundry heat-resistant chromium-aluminum steels by microalloying and modification / M.M. Yamshinsky [et al.] // New materials and technologies in mechanical engineering. 9th International Scientific and Technical Conference. – Kyiv, 2009. – Pp. 20-24.
8. Formation of non-metallic inclusions in steels modified with yttrium / L.I. Tarasyuk [et al.] // Bulletin of PDTU. – Vip. 23. – 2011. – Pp. 27-33.