

Изучение микроструктуры стали 08ПС, раскисленной стандартными ферросплавами, и перспективы замены их комплексными раскислителями

¹НУРУМГАЛИЕВ Асылбек Хабдашевич, д.т.н., профессор, as_nurum@mail.ru,

²МУХАМБЕТГАЛИЕВ Ербол Кенжегалиулы, к.т.н., PhD, зав. лабораторией, mr._west@inbox.ru,

¹ҚУАТБАЙ Ербол Қуатбайұлы, магистр, научный сотрудник, kazakh_84@mail.ru,

^{1*}ЖҮНІСҚАЛИЕВ Талғат Тоқашұлы, PhD, старший научный сотрудник, talgat.zhuniskaliev@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан, Темиртау, пр. Республики, 30,

²Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, Казахстан, Караганда, ул. Ермакова, 63,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Данная исследовательская работа посвящена к изучению микроструктуры стали 08ПС, раскисленной с использованием стандартных ферросплавов и перспективы замены их комплексными раскислителями. Целью исследования было определение влияния процесса раскисления на микроструктуру стали и оценка замены комплексными раскислителями. Методы исследования включали металлографический анализ образцов стали и метод энергодисперсионного анализа (EDX) для определения состава неметаллических включений. Анализ проводился на образцах стали до и после раскисления, исследовалась микроструктура, размеры неметаллических включений и их состав.

Ключевые слова: сталь, ферросплав, микроструктура, раскисление, неметаллические включения, комплексные раскислители, энергодисперсионный анализ, металлографический анализ.

Введение. Сталь занимает ведущую позицию среди строительных материалов в народном хозяйстве и находит широкое применение в различных отраслях промышленности, включая автомобильное производство, судостроение и машиностроение. Ее качество в значительной степени зависит от микроструктуры, которая непосредственно влияет на механические свойства и поведение материала в условиях эксплуатации. В современной индустрии также уделяется внимание влиянию неметаллических включений, присутствующих в стали, на ее микроструктуру и свойства. Понимание и контроль этих факторов становятся все более важными, поскольку они способны обеспечить высокое качество и надежность стальных конструкций [1-2].

Неметаллические включения в стали представляют собой несмешивающиеся фазы, такие как оксиды, сульфиды, карбиды, силикаты, алюминаты и нитриды. Присутствие неметаллических включений оказывает отрицательное влияние на свойства стали, включая прочность, ударную вязкость, усталостную прочность и склонность к коррозии [3-5].

Цель данного исследования заключается в из-

учении результатов раскисления полуспокойной марки стали 08ПС со стандартными раскислителями и влияния их на образования неметаллических включений, на микроструктуру стали, для определения основных задач по оптимальному составу комплексного раскислителя, который позволит получить сталь с улучшенными механическими и эксплуатационными свойствами. Основной акцент исследования будет сделан на анализе влияния неметаллических включений на микроструктуру стали 08ПС. Будут изучены различные параметры микроструктуры, включая зерновую структуру и размеры зерен, а также особенности неметаллических включений.

Методы исследования. В ходе данного исследования были проведены металлографические анализы образцов стали 08ПС с целью выявления и оценки наличия неметаллических включений, а также изучения микроструктуры опытных образцов стали. Пробы стали предоставлены кислородно-конвертерным цехом АО «АрселорМиттал Темиртау» на плавильных агрегатах «Конвертер» и «Печь-ковш». Химический состав образцов сталей представлен в таблицах 1 и 2.

В процессе исследования микроструктуры

стали 08ПС применялись методы, соответствующие требованиям ГОСТ 1778-70. Согласно указанному стандарту, были подготовлены образцы для металлографического анализа, включающего определение микроструктуры и химического состава материала. Определение состава неметаллических включений осуществлялось с использованием метода энергодисперсионного анализа (EDX) в лаборатории металловедения и дефектоскопии Центра аналитического контроля, АО «АрселорМиттал Темиртау».

Этот метод позволяет анализировать элементный состав материала, определяя энергию и интенсивность рассеянных рентгеновских лучей при взаимодействии с образцом. Проведение EDX-анализа позволяет идентифицировать и количественно оценить присутствующие элементы в неметаллических включениях, такие как оксиды, сульфиды, карбиды и другие соединения. Таким образом, метод энергодисперсионного анализа (EDX) представляет эффективный инструмент для определения состава неметаллических включений в стали и обеспечивает дополнительную информацию для изучения их влияния на микроструктуру и свойства материала.

Полученные результаты. Результаты анализа образцов стали марки 08ПС, при использовании стократного увеличения микроскопа подтверждают следующее: образец № 1 (проба стали

до проведения раскисления) демонстрирует наличие недеформированных неметаллических частиц – силикатов и алюминатов, оцененных на 5 баллов в соответствии со шкалой ГОСТ 1778-70. А образец № 2 (проба стали после раскисления) показывает значительное снижение уровня указанных частиц до значения ниже 2 баллов.

Известно, что воздействие процесса раскисления проявляется в снижении числа неметаллических включений, уменьшении их балла, а также увеличении содержания железа в них. Размер неметаллических включений образца № 1 составляет менее 6,1 мкм, в то время как у образца № 2 этот размер снижается до менее 1,9 мкм (см. рисунки 3 и 4).

Микроструктура исследуемых образцов стали характеризуется преимущественным присутствием ферритной фазы, оцененной в диапазоне 2-4 балла (образец № 1, рисунок 5). А микроструктура образца № 2 (после раскисления, рисунок 6) претерпевает изменения и состоит в основном из фазы видманштетта, оцененной в 3-4 балла согласно шкале ГОСТ 5639-82.

По результатам энергодисперсионного анализа в образце стали до раскисления было обнаружено наличие двух типов неметаллических включений: сложных силикатов на основе кремния и алюминия, а также алюмината (корунда) на основе алюминия. Силикат сложного состава,

Таблица 1 – Химический состав стали опытного образца из конвертера, %

C	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
0,05	0,05	0,007	0,018	0,01	0,02	0,03	Ост.

Таблица 2 – Химический анализ стали до и после доводки на установке «Печь-Ковш»

	C	Mn	S	P	Si	Al	Fe
До доводки	0,04	0,34	0,023	0,009	0,0095	0,05	Ост.
После доводки	0,05	0,38	0,018	0,014	0,069	0,35	Ост.



Рисунок 1 – Микроструктура образца № 1 до травления, 100х

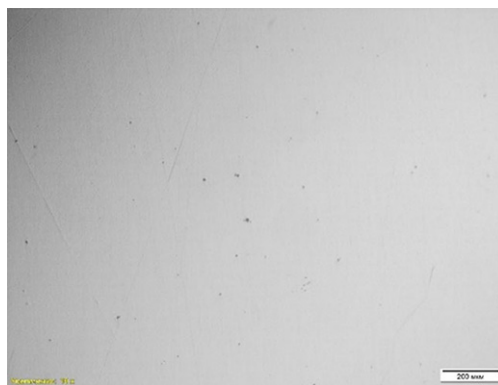


Рисунок 2 – Микроструктура образца № 2 до травления, 100х

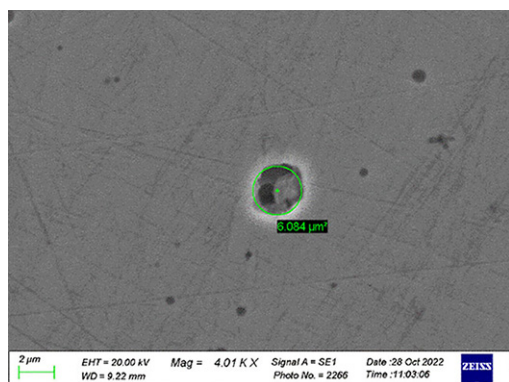


Рисунок 3 – Размеры неметаллических включений образца № 1, 4000х

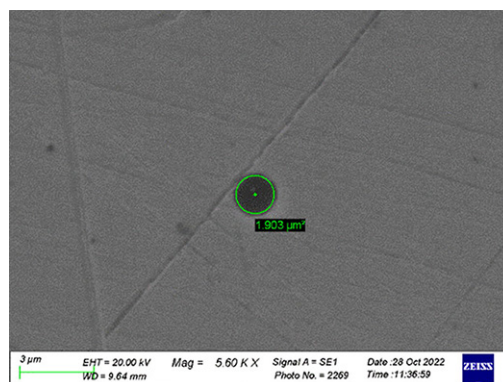


Рисунок 4 – Размеры неметаллических включений образца № 2, 5600х



Рисунок 5 – Микроструктура образца № 1 после травления, 100х

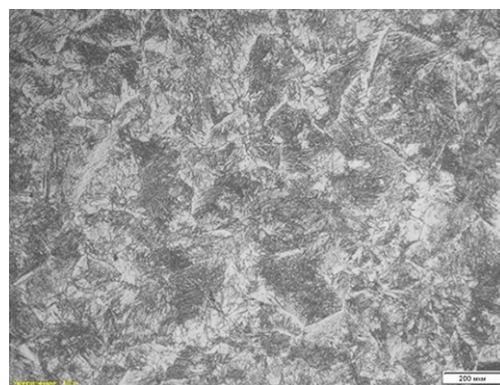


Рисунок 6 – Микроструктура образца № 2 после травления, 100х

представленный на рисунке 7, характеризуются следующим химическим составом: Fe – 45,36%, O – 30,34%, Si – 16,67% и Al – 7,63%. Эти включения представляют собой сложное сочетание кремния и алюминия, что может указывать на разнообразный химический состав силикатов в образце (таблица 3).

Эти результаты подчеркивают разнообразие неметаллических включений в исследуемом образце стали. Силикаты, вероятно, могут образовываться в процессе обработки и сплавления, что может приводить к различной химической структуре. Алюминаты, в свою очередь, могут быть связаны с наличием алюминия в исходных материалах или с применяемыми методами обработки.

Аналогичные действия были выполнены для проведения энергодисперсионного анализа образца № 2. В этом случае также выявлены сложные силикаты, содержащие кремний и алюминий, а также более простые силикаты с кремнием и железом. На основе полученных результатов энергодисперсионного анализа химического состава образца стали № 2 (рисунок 8) после раскисления можно вывести следующий вывод, что силикаты сложного состава тоже представлены кремнием и алюминием (таблица 3).

Исходя из полученных результатов энергодис-

персионного анализа, можно проанализировать, на сколько снизились неметаллические включения сложного состава на основе кремния, алюминия в составе стали до и после раскисления (рисунки 7 и 8).

Содержание силикатов сложного состава на основе кремния и алюминия: Fe значительно увеличилось с 45,36% до 65,22%, O снизилось с 30,34% до 19,68%, Si и Al также снизилось с 16,67% до 10,52% и с 7,63% до 4,58% соответственно. Снижение содержания неметаллических включений (O, Si, Al) показал эффективность процесса раскисления в уменьшении неметаллических примесей. Результаты свидетельствуют о том, что процесс раскисления оказывает положительное влияние на снижение содержания неметаллических включений в составе стали.

Как известно, в настоящее время в сталеплавильном производстве раскисление стали обычно осуществляется с применением стандартных видов ферросплавов: ферросилиция ФС45, ФС65, ФС75, а также ферромарганца ФМн70, ФМн78 и чушкового алюминия, получаемых из высококачественных сырьевых материалов. В то время как мировые стандарты по качеству постоянно повышаются, производители в условиях конкуренции стремятся снизить стоимость производства ме-

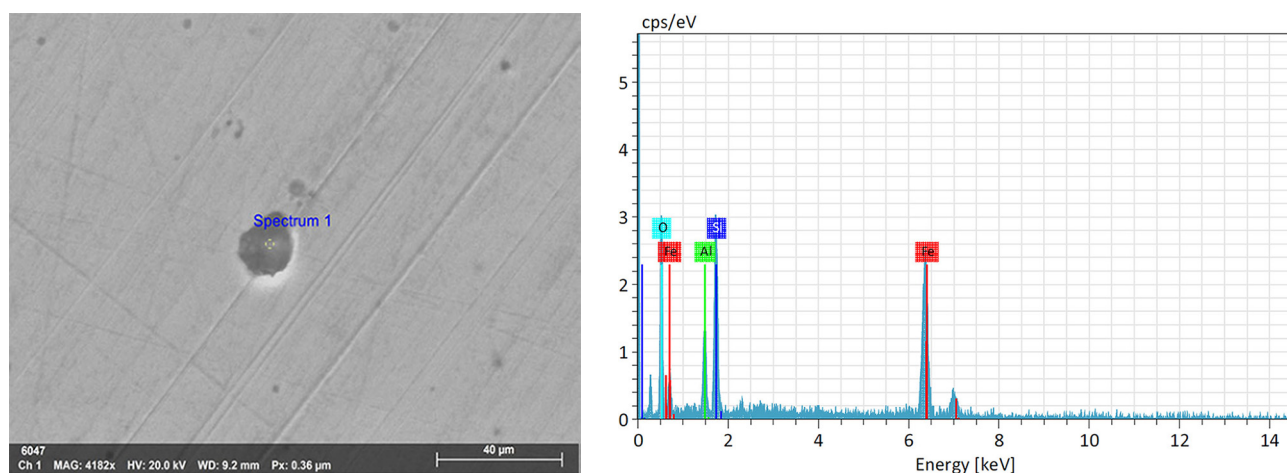


Рисунок 7 – Силикаты сложного состава образца № 1

Таблица 3 – Результаты энергодисперсионного анализа образцов № 1 и № 2

Element	At. No	Netto	Mass [%]	Atom [%]
Силикаты сложного состава на основе кремния, алюминия (рисунок 7)				
Fe	26	3779	45,36	22,66
O	8	1886	30,34	52,89
Si	14	2968	16,67	16,56
Al	13	1180	7,63	7,89
Силикаты сложного состава на основе кремния, алюминия (рисунок 9)				
Fe	26	6002	65,22	39,69
O	8	1380	19,68	41,81
Si	14	1906	10,52	12,73
Al	13	676	4,58	5,77

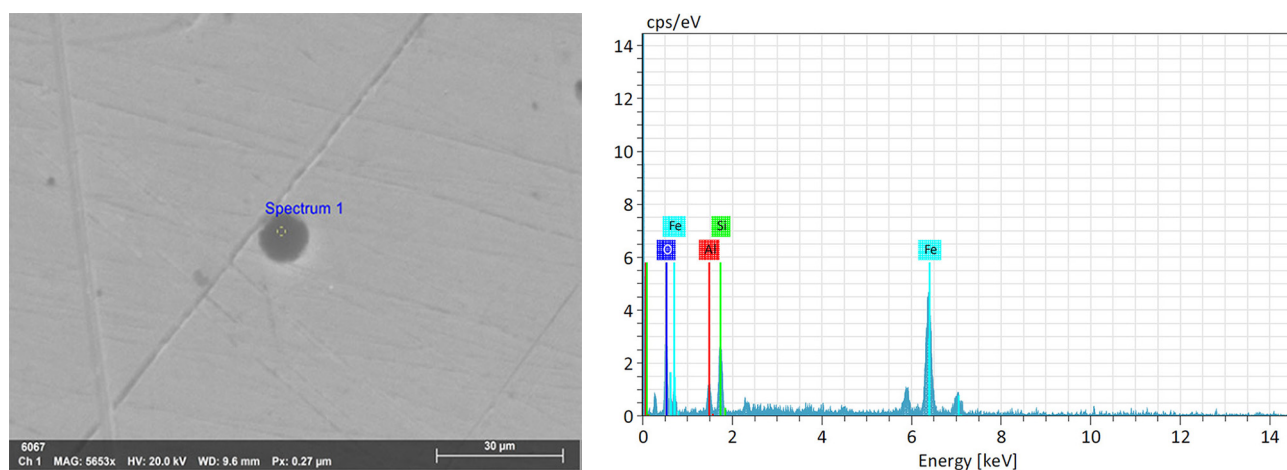


Рисунок 8 – Силикат сложного состава на основе кремния, алюминия образца № 2

таллопродукции путем экономии энергоресурсов и материалов, сохраняя при этом высокое качество. Истощены природные ресурсы и мировые запасы на высококачественные сырьевые материалы в связи с высоким спросом и потребностями за

многие годы, также заметно снижаются объемы добычи высококачественных руд в РК, а спрос на качественные виды ферросплавов возрастает.

Важным направлением развития ферросплавной отрасли Казахстана может стать производ-

ство комплексных раскислителей, получаемых из некондиционных марганцевых руд и высокозольных углей. Это позволит уменьшить затраты на процесс получения сплава и последующее раскисление. Комплексный раскислитель на этапе раскисления способствуют эффективной очистке стали от кислорода и неметаллических включений [6, 7].

В процессе раскисления стали с использованием комплексных сплавов с Si, Mn и Al образуется соединение с более низкой температурой плавления, что способствует быстрой коагуляции и образованию благоприятных морфологических форм неметаллических включений. Эти крупные глобулы легко удаляются из стали на ее поверхность.

Изучив опыт использования комплексных раскислителей, можно констатировать о том, что вышеуказанные результаты можно получить, применяя комплексные раскислители, которые позволят решить следующие задачи: улучшение качества стали путем уменьшения неметаллических включений; эффективное использование каждого компонента в составе комплексного раскислителя за счет защиты и взаимовлияния

элементов; улучшение состава и формы неметаллических включений для их быстрого удаления из металлической фазы и др.

Выводы. В данной работе исследована микроструктура стали 08ПС, подвергнутой раскислению стандартными ферросплавами, а также рассмотрены перспективы замены их комплексными раскислителями. Результаты показали, что неметаллические включения существенно влияют на микроструктуру стали, оказывая положительное и отрицательное воздействие. Контроль над включениями может улучшить качество стали и повысить надежность материала.

Металлографический и энергодисперсионный анализ выявил состав неметаллических включений. Переход к комплексным раскислителям может улучшить качество стали и создать надежные конструкции. Это исследование открывает путь для дальнейших исследований в оптимизации составов и процессов обработки стали для оптимальных характеристик материала.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP13268863).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. – М.: Мир, АСТ, 2003. – 528 с.
2. Дюдкин Д.А., Кисленко В.В. Производство стали. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки. – М.: Теплотехник. – 2008.
3. Казаков А.А. и др. Управление процессами образования неметаллических включений при производстве конвертерной стали // Черные металлы. – 2014. – № 4. – С. 43-48.
4. Харлашин П.С. и др. Разработка рациональной технологии раскисления спокойных марок стали // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (23). – С. 52-55.
5. Рябчиков И.В. и др. Критерии оценки качества раскислителей и модификаторов для стали // Сталь. – 2015. – № 2. – С. 24-27.
6. Ахметов А.Б., Юдакова В.А. О физико-химических основах процессов раскисления и модифицирования стали комплексными сплавами // Труды университета. – 2015. – № 1. – С. 53-56.
7. Мухамбеталиев Е.К., Есенжулов А.Б., Рощин В.Е. Получение комплексного сплава из высококремнистой марганцевой руды и высокозольных углей Казахстана // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2018. – Т. 61. – № 9. – С. 695-701.
8. Жучков В.И., Гасик М.И., Шешуков О.Ю. Разработка рациональных составов ферросплавов для обработки стали и чугуна // Сборник докладов Литейного консилиума № 2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отличков из черных сплавов». – Челябинск: Челябинский Дом печати, 2007. – С. 88.

Стандартты ферроқорытпалармен оттекіздендірілген 08ПС маркалы болаттың микроқұрылымын зерттеу және оларды кешенді оттекіздендіргіштермен ауыстыру перспективасы

¹НУРУМГАЛИЕВ Асылбек Хабадашевич, т.ғ.д., профессор, as_nurum@mail.ru,

²МУХАМБЕТГАЛИЕВ Ербол Кенжеғалиұлы, т.ғ.к., PhD, зертхана меңгерушісі, mr._west@inbox.ru,

¹ҚУАТБАЙ Ербол Қуатбайұлы, магистр, ғылыми қызметкер, kazakh_84@mail.ru,

¹*ЖҮНІСКАЛИЕВ Талғат Тоқашұлы, PhD, аға ғылыми қызметкер, talgat.zhuniskaliyev@mail.ru,

¹«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Теміртау, Республика даңғылы, 30,

²Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қазақстан, Қарағанды, Ермеков көшесі, 63,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Бұл зерттеу жұмысы стандартты ферроқорытпаларды қолдана отырып оттекіздендірілген, 08ПС маркалы болаттың микроқұрылымын және оларды кешенді оттекіздендіргіштермен алмастыру перспективаларын зерттеуге арналған. Мақсаты – болаттың микроқұрылымына оттекіздендіру процесінің әсерін анықтау және кешенді оттекіздендірумен алмастыруды бағалау. Зерттеу әдістеріне болат ұл-

гілерінің металлографиялық талдауы және металл емес қосындылардың құрамын анықтау үшін энергодисперсионды талдау (EDX) әдісі кірді. Талдау оттексіздендірілгенге дейін және одан кейінгі болат үлгілерінде жүргізілді, микроқұрылымы, металл емес қосындылардың өлшемдері және олардың құрамы зерттелді.

Кілт сөздер: болат, ферроқорытпа, микроқұрылым, оттексіздендіру, металл емес қосынды, кешенді оттексіздендіргіш, энергодисперсионды талдау, металлографиялық талдау.

Study of the Microstructure of 08PS Steel Deoxidized with Standard Ferroalloys and Prospects for Replacing Them with Complex Deoxidants

¹**NURUMGALIYEV Asylbek**, Dr. of Tech. Sci., Professor, as_nurum@mail.ru,

²**MUKHAMBETGALIYEV Yerbol**, Cand. of Tech. Sci., PhD, Head of Laboratory, mr._west@inbox.ru,

¹**KUATBAY Yerbol**, Master, Researcher, kazakh_84@mail.ru,

^{1*}**ZHUNISKALIYEV Talgat**, PhD, Senior Researcher, talgat.zhuniskaliyev@mail.ru,

¹NPJSC «Karaganda Industrial University», Kazakhstan, Temirtau, Republic Avenue, 30,

²Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Kazakhstan, Karaganda, Ermekov Street, 63,

*corresponding author.

Abstract. The annotation This research work is devoted to the study of the microstructure of 08PS steel deoxidized using standard ferroalloys and the prospect of replacing them with complex deoxidifiers. The purpose of the study was to determine the impact of the deoxidation process on the microstructure of steel and to assess the replacement with complex deoxidants. Research methods included metallographic analysis of steel samples and energy dispersion analysis (EDX) to determine the composition of non-metallic inclusions. The analysis was carried out on steel samples before and after deoxidation, the microstructure, the size of non-metallic inclusions and their composition were studied.

Keywords: steel, ferroalloy, microstructure, deoxidation, non-metallic inclusions, complex deoxidizers, energy dispersion analysis, metallographic analysis.

REFERENCES

1. Kudrin V.A. Teoriya i tekhnologiya proizvodstva stali: Uchebnik dlya vuzov. – Moscow: Mir, ACT, 2003. – 528 p.
2. Dyudkin D.A., Kisilenko V.V. Proizvodstvo stali. Processy vypavki, vnepechnoj obrabotki i nepreryvnoy razlivki. – Moscow: Teplotekhnika. – 2008.
3. Kazakov A.A. i dr. Upravlenie processami obrazovaniya nemetallicheskih vkhlyuchenij pri proizvodstve konverternoj stali // Chernye metally. – 2014. – No. 4. – Pp. 43-48.
4. Harlashin P.S. i dr. Razrabotka racional'noy tekhnologii raskisleniya spokojnykh marok stali // Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – No. 2 (23). – Pp. 52-55.
5. Ryabchikov I.V. i dr. Kriterii ocenki kachestva raskislitelej i modifikatorov dlya stali // Stal'. – 2015. – No. 2. – Pp. 24-27.
6. Ahmetov A.B., Yudakova V.A. O fiziko-himicheskikh osnovah processov raskisleniya i modifitsirovaniya stali kompleksnymi splavami // Trudy universiteta. – 2015. – No. 1. – Pp. 53-56.
7. Muhambetgaliev E.K., Esenzhulov A.B., Roshchin V.E. Poluchenie kompleksnogo splava iz vysokokremnistoy margancevoj rudy i vysokozol'nykh uglej Kazahstana // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Chernaya Metallurgiya. – 2018. – T. 61. – No. 9. – Pp. 695-701.
8. Zhuchkov V.I., Gasik M.I., Sheshukov O.Yu. Razrabotka racional'nykh sostavov ferrosplavov dlya obrabotki stali i chuguna. // Sbornik dokladov Litejnogo konsiliuma No. 2 «Teoriya i praktika metallurgicheskikh processov pri proizvodstve otlivok iz chornykh splavov». – Chelyabinsk: Chelyabinskij Dom pečati, 2007. – P. 88.