



УДК 669.18

DOI 10.17073/0368-0797-2024-5-549-555



Оригинальная статья

Original article

ФОРМИРОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ 08X18N10T

А. Ю. Ем¹, О. А. Комолова^{1,2}, К. В. Григорович^{1,2}, С. Б. Румянцева¹¹ Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (Россия, 119991, Москва, Ленинский пр., 49)² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)✉ tony.yem1994@gmail.com

Аннотация. Коррозионностойкие стали востребованы в современном мире из-за их высоких эксплуатационных свойств и широкого спектра применения. К таким областям применения относятся кухонная утварь, мебель, медицинское оборудование, ядерные реакторы, космические аппараты и т. д. Кислород в стали, особенно в коррозионностойкой, является одним из самых вредных элементов. Оксидные включения нарушают однородность металла, отрицательно влияют на пластичность, вязкость разрушения, усталостную прочность и коррозионную стойкость стали. В коррозионностойких сталях неметаллические включения (НВ) приводят к образованию дефектов в холоднокатаном листе. Включения алюминатов также приводят к засорению сталеразливочного оборудования. В работе выполнен анализ технологии производства коррозионностойкой стали 08X8N10T с целью определения причин образования НВ, влияющих на разливаемость стали и ее качество. В ходе исследований определено содержание общего кислорода и азота, а также кислорода, связанного в различные НВ на стадиях ковшевой обработки и непрерывной разливки стали. После введения в расплав титановой проволоки общее содержание азота снижается за счет образования и последующего удаления нитридов титана. При этом увеличивается содержание оксидов титана в расплаве. Показано, что причинами засорения сталеразливочных стаканов при непрерывной разливке являются комплексные НВ на основе оксидов титана, которые осаждались на внутренней поверхности разливочного стакана-дозатора. В работе даны рекомендации по корректровке технологии выплавки стали в ДСП и ковшевой обработки. По результатам электронно-микроскопического анализа установлено, что перемешивание рафинирующего жидкоподвижного шлака в агрегатах ковшевой обработки стали способствовало ассимиляции НВ шлаком и уменьшению их размеров в металле. После внедрения корректирующих рекомендаций засорения сталеразливочных стаканов при непрерывной разливке не наблюдалось.

Ключевые слова: коррозионностойкая сталь, фракционный газовый анализ, оксидные неметаллические включения, качество стали

Для цитирования: Ем А.Ю., Комолова О.А., Григорович К.В., Румянцева С.Б. Формирование неметаллических включений при производстве коррозионностойкой стали 08X18N10T. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2024;67(5):549–555.

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-5-549-555>

FORMATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN PRODUCTION OF 08KH18N10T CORROSION-RESISTANT STEEL

A. Yu. Em¹, O. A. Komolova^{1,2}, K. V. Grigorovich^{1,2}, S. B. Rumyantseva¹¹ Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences (49 Leninskii Ave., Moscow 119991, Russian Federation)² National University of Science and Technology “MISIS” (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)✉ tony.yem1994@gmail.com

Abstract. Corrosion-resistant steels are in demand in the modern world due to their high performance properties and a wide range of applications. Such areas of application include kitchenware, furniture, medical equipment, nuclear reactors, spacecraft, etc. Oxygen in steel, especially in corrosion-resistant steel, is one of the most harmful elements. Oxide inclusions disrupt the homogeneity of the metal, negatively affect the ductility, fracture toughness, fatigue strength and corrosion resistance of steel. In corrosion-resistant steels, non-metallic inclusions (NI) lead to the formation of defects in cold-rolled sheets. Aluminate inclusions also lead to clogging of steel-casting equipment. An analysis of the production technology of corrosion-resistant steel 08Kh8N10T was carried out in order to determine the causes of NI formation that affect the pourability of steel and its quality. The studies determined the content of total oxygen and nitrogen, as well as oxygen bound in various non-metallic inclusions at the stages of ladle processing and continuous steel casting. It was shown that after the introduction of titanium wire into the melt, the total nitrogen content decreases due to the formation and subsequent removal of titanium nitrides. At the same time, the content of titanium oxides in the melt increases. It was shown that the causes of clogging of steel-pouring nozzles during continuous casting are complex non-metallic inclusions based on titanium

oxides, which were deposited on the inner surface of the pouring nozzle-doser. Recommendations were made to adjust the technology of steel melting in EAF and ladle processing. Based on the results of electron microscopic analysis, it was established that mixing of refining liquid-mobile slag in ladle steel processing units contributed to the assimilation of non-metallic inclusions by slag and a decrease in their sizes in the metal. After the implementation of the corrective recommendations, clogging of steel-pouring nozzles during continuous casting was not observed.

Keywords: corrosion-resistant steel, fractional gas analysis, non-metallic oxide inclusions, steel quality

For citation: Em A.Yu., Komolova O.A., Grigorovich K.V., Rumyantseva S.B. Formation of non-metallic inclusions in production of 08Kh18N10T corrosion-resistant steel. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2024;67(5):549–555. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-5-549-555>

ВВЕДЕНИЕ

В 2023 г. общий объем производства стали в мире составил 1,489 млрд т, при этом на долю коррозионностойких марок сталей приходилось около 60 млн т. Коррозионностойкие стали играют одну из ключевых ролей в промышленности из-за их высоких эксплуатационных свойств и различных областей применения [1 – 3].

В период с 2015 по 2019 гг. производство коррозионностойкой стали непрерывно увеличивалось. Снижение производства в 2020 г. объясняется пандемией коронавируса в первой половине 2020 г., так как во многих странах был объявлен локдаун. Однако после восстановления мировой экономики в 2021 г. мировое производство коррозионностойкой стали выросло на 11,6 % по отношению к 2020 г., что позволило не только вернуться к самым высоким показателям (52,2 млн т за 2019 г.), но и увеличить их до отметки 56,8 млн т в год [4].

Производство коррозионностойкой стали в России в период с 2015 по 2023 гг. непрерывно возрастало и достигло отметки 278,2 тыс. т в год. В то же время потребление коррозионностойкой стали в России практически в 2,5 раза превышало производство. Вопрос об увеличении объема производства коррозионностойкой стали в России является весьма актуальным [4].

При выплавке коррозионностойкой стали марки 08X18N10T производители сталкиваются с такими проблемами, как зарастание сталеразливочных стаканов-дозаторов, низкий выход годного, а также образование дефектов поверхности [5 – 8]. Содержание кислорода в стали и, особенно, в коррозионностойкой, является одним из главных показателей качества готового продукта [9 – 11]. Растворенный кислород в металле взаимодействует с раскислителями и образует неметаллические включения (НВ). Неметаллические включения нарушают целостность металла, неблагоприятно влияют на пластичность, ударную вязкость, усталостную прочность и коррозионную стойкость стали [12 – 14]. В коррозионностойких сталях НВ являются причиной образования дефектов в виде «задигов» в холоднокатаном листе, включения Al_2O_3 приводят также к «зарастанию» сталеразливочной оснастки в процессе разливки [15 – 17].

Глубокие поверхностные дефекты в стали формируются из-за высокого содержания НВ, таких как оксиды хрома, марганца, кремния, алюминия, титана,

а также нитридов титана. В работах [11 – 12] авторы утверждают, что глубокие поверхностные дефекты появляются за счет попадания грубых шлаковых корок, находящихся в кристаллизаторе, в металл. Причиной образования грубых шлакометаллических корок являются оксиды и нитриды титана. Они образуются в результате взаимодействия растворенных в металле кислорода и азота с титаном, который является легирующим элементом [18].

В работе проведен анализ технологии выплавки, ковшевой обработки и разливки коррозионностойкой стали 08X18N10T с целью выявления факторов, оказывающих неблагоприятное влияние на качество стали и образование НВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения причин загрязнения коррозионностойкой стали 08X18N10T различными НВ был выполнен анализ информации из паспортов промышленных плавов и производственных данных, отобраны пробы металла по всей технологической цепочке ковшевой обработки стали и проведены их исследования. Контроль изменения содержания основных типов оксидных НВ в пробах металла, отобранных на всех этапах ковшевой обработки, разливки и от непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) осуществляли методом фракционного газового анализа (ФГА). Исследование проводили на газоанализаторе LECO TC600 с использованием оригинального программного обеспечения OxSeP Pro. Фракционный газовый анализ представляет собой модификацию метода восстановительного плавления исследуемого образца в графитовом тигле в токе несущего газа при заданной линейной скорости нагрева [19 – 21].

Для определения морфологии и химического состава основных типов НВ, встречающихся в отобранных пробах металла, использовали растровый электронный микроскоп с рентгеновским микроанализом Jeol JXA-ISP100 EPMA, оснащенный энерго- и волновыми дисперсионными спектрометрами.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения работы были проанализированы пробы металла, отобранные по всей технологической цепочке производства для двух плавов коррозионностойкой стали 08X18N10T:

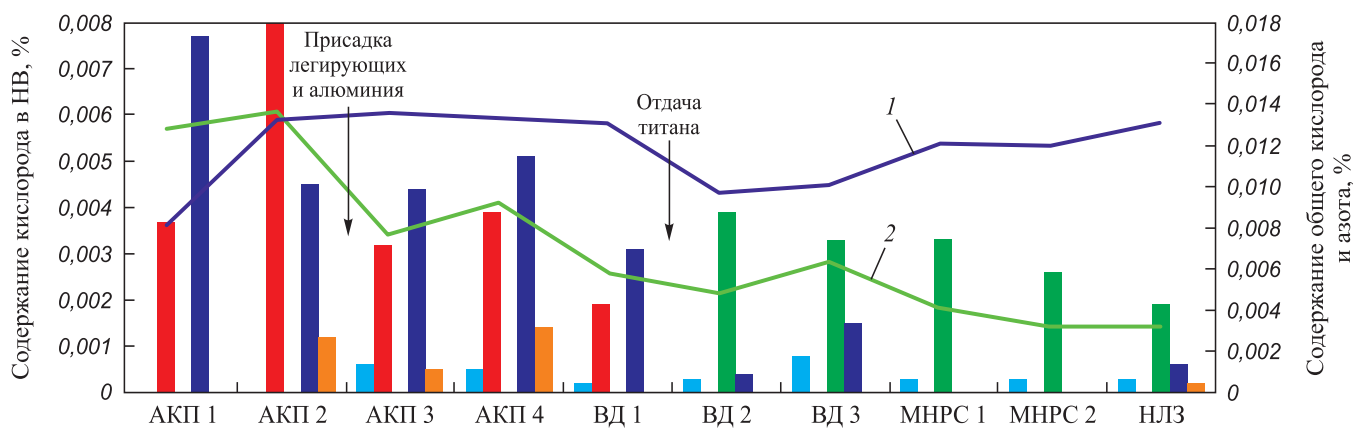


Рис. 1. Результаты ФГА проб металла плавки 1:

■ – оксиды хрома; ■ – силикаты; ■ – оксиды титана; ■ – алюминаты; ■ – шпинели; 1 – общий N; 2 – общий O

Fig. 1. FGA results of the metal samples of heat 1:

■ – chromium oxides; ■ – silicates; ■ – titanium oxides; ■ – aluminates; ■ – spinels; 1 – total N; 2 – total O

– плавка 1 до изменения технологических параметров производства стали;

– плавка 2 после проведения корректирующих действий.

На рис. 1 показаны результаты определения содержания общего кислорода и азота (правая вертикальная ось) и кислорода, содержащегося в различных типах оксидных НВ (левая вертикальная ось) в отобранных пробах металла.

В процессе разливки стали на плавке 1 наблюдали зарастание сталеразливочных стаканов. Исследование методом ФГА образцов, отобранных от нароста на сталеразливочном стакане (рис. 2), показало высокие содержания общего кислорода и азота, а также алюмо-

силикатов кальция и шпинелей, оксидов титана, модифицированных кальцием и магнием.

На технологическом этапе агрегат ковш-печь (АКП) 4 – вакуумный дегазатор (ВД) 2 плавки 1 наблюдали уменьшение общего содержания кислорода и азота в расплаве и увеличение содержания оксидов титана. В пробе ВД 3 плавки 1 были обнаружены оксиды хрома, оксиды титана, а также алюминаты.

В пробах металла, отобранных из промежуточного ковша машины непрерывной разливки стали (МНРС) 1 плавки 1, были обнаружены в основном оксиды титана. Нужно отметить, что содержание азота в пробе, отобранной с установки непрерывной разливки стали (УНРС) 1 плавки 1 увеличивалось на 20 ppm по сравнению с содержанием азота в пробе металла, отобранной на вакууматоре (проба ВД 3 плавки 1). При этом содержание общего кислорода уменьшалось с 60 ppm (проба ВД 3 на плавке 1) до 30 – 40 ppm (проба УНРС 1 плавки 1). Увеличение содержания азота в пробе УНРС 1 может быть объяснено влиянием процесса вторичного окисления металла во время разливки. В процессе вторичного окисления происходит взаимодействие расплава с атмосферным воздухом. Предел растворимости кислорода в металле, раскисленном алюминием, не превышает 0,0005 %, остальной кислород находится в оксидных включениях, которые частично удаляются в шлак при разливке. Предел растворимости азота в металлическом расплаве при данной температуре определяется концентрацией легирующих элементов и значительно выше, чем его фактическая концентрация. Это приводит к увеличению содержания растворенного и общего азота в металлическом расплаве при вторичном окислении.

Результаты исследований проб металла на электронном микроскопе подтверждают результаты ФГА. На этапе разливки в пробах металла плавки 1 обнаружены оксидные пленки размером более 400 мкм (рис. 3).

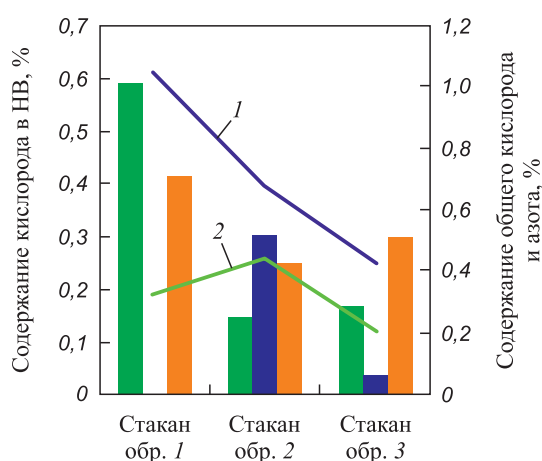
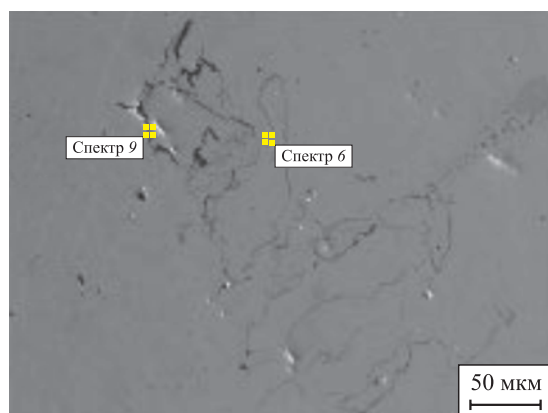


Рис. 2. Результаты ФГА образцов проб металла, отобранных от нароста в сталеразливочном стакане:

■ – оксиды титана; ■ – алюминаты; ■ – шпинели; 1 – общий O; 2 – общий N

Fig. 2. FGA results of metal samples taken from the clogging in pouring nozzle:

■ – titanium oxides; ■ – aluminates; ■ – spinels; 1 – total O; 2 – total N



Показатель	Химический состав, %					
	O	Al	Si	Ca	Ti	Cr
Спектр 6	44,88	3,52	9,10	1,33	34,70	6,47
Спектр 9	37,78	0,59	–	–	52,59	9,04
Средн. знач.	41,33	2,05	9,10	1,33	43,64	7,76
Стандарт. откл.	3,55	1,46	–	–	8,95	1,28

Рис. 3. Комплексное оксидное НВ в отобранных пробах металла

Fig. 3. Complex oxide NMI in selected metal samples

На рис. 4 показаны результаты металлографических исследований химического состава образцов, отобранных от нароста на внутренней поверхности сталеразливочного стакана. Исследование показало:

- высокое содержание оксидов титана, модифицированных кальцием;
- наличие конгломератов из оксидов кальция, кремния, алюминия и титана;
- частички не растворившегося феррохрома, нитриды титана;
- оксиды хрома, модифицированные титаном, кремнием и алюминием;
- алюмосиликаты кальция и шпинели, оксиды титана, модифицированные кальцием и магнием.

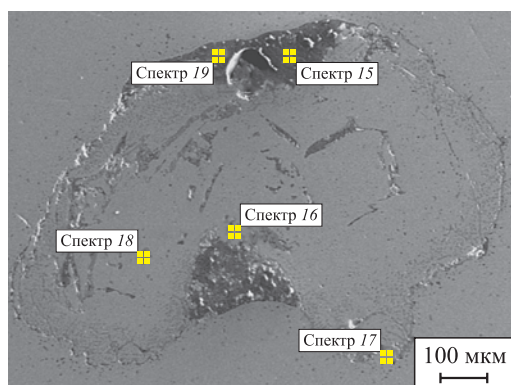
Вероятно, пленочные конгломераты НВ оксидов титана, оксидов титана с кальцием и алюминием, а также нитриды титана, осаждающиеся из расплава на

стенках разливочного стакана, образовывали каркас, на котором формировались настлы металла и затрудняли процесс разливки. Высокая загрязненность металла оксидами и нитридами титана свидетельствует о том, что действующая на предприятии технология раскисления металла не является оптимальной. Значительное увеличение содержания азота в расплаве на этапе разливки, наличие в расплаве оксидных пленок и строчечных включений оксидов титана, присутствие в готовом металле большого количества нитридов титана может говорить о влиянии процессов вторичного окисления металла во время разливки.

В процессе исследования были даны рекомендации по корректировке технологии внепечной обработки стали, а именно перенос легирования расплава никелем с АКП на ДСП, наведение рафинировочного жидкоподвижного шлака, проведение мягкой продувки расплава инертным газом после отдачи SiCa не менее 15 мин. На предприятии проведена опытная плавка 2 с учетом выданных рекомендаций. При проведении опытной плавки были отобраны пробы металла. Результаты определения общего содержания кислорода и азота, и кислорода, содержащегося в различных типах оксидных НВ в пробах металла, отобранных по всей технологической схеме производства стали, показаны на рис. 5.

По данным рис. 5 видно, что в пробе ВД 1 плавки 2 основным видом НВ являются алюминаты. В пробе ВД 2 после отдачи титановой порошковой проволоки и силикокальция наблюдали снижение содержания алюминатов, в то же время происходило увеличение содержания оксидов хрома, марганца, титана и силикатов. В пробах ВД 3 и УНРС наблюдали увеличение содержания общего кислорода и азота, что может говорить о процессе вторичного окисления металла. В пробах НЛЗ основным типом НВ являются оксиды титана, также в небольшом количестве присутствуют алюминаты, силикаты и шпинели.

Анализ отобранных проб на электронном микроскопе подтвердил результаты ФГА по основным группам оксидных НВ. Один из результатов элементного



Показатель	Химический состав, %							
	O	Al	Si	Ca	Ti	Cr	Mn	Всего
Спектр 15	45,82	2,02	25,63	0,74	7,53	18,26	–	100,00
Спектр 16	43,20	1,32	5,32	0,41	2,86	46,12	–	100,00
Спектр 17	38,94	0,52	0,79	–	4,65	54,79	–	100,00
Спектр 18	34,89	0,42	–	–	6,83	38,97	18,89	100,00
Спектр 19	48,32	1,54	19,11	5,34	6,79	18,12	–	100,00
Средн. знач.	42,24	1,16	12,71	2,16	5,73	35,25	18,89	–
Стандарт. отклон.	4,81	0,61	10,06	2,25	1,73	18,80	–	–

Рис. 4. Комплексное оксидное НВ в отобранных пробах металла от нароста на поверхности разливочного стакана

Fig. 4. Complex NMI in metal samples taken from the clogging on pouring nozzle surface

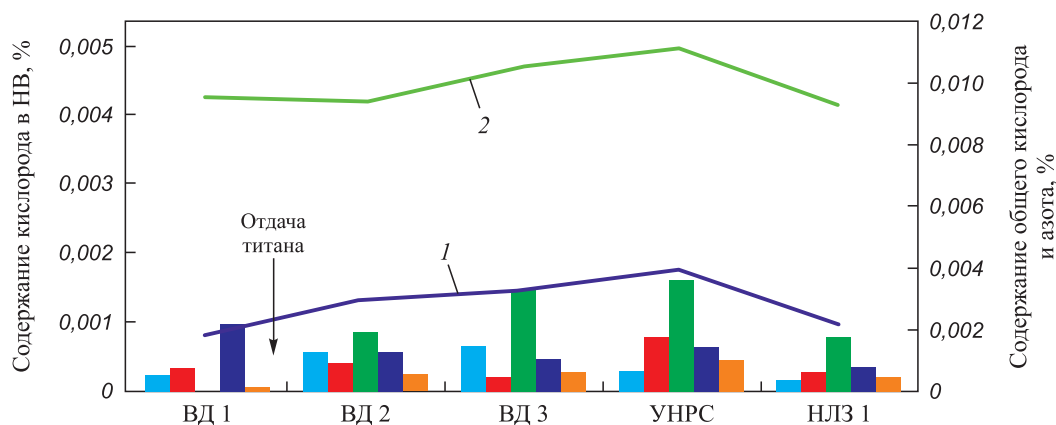


Рис. 5. Результаты ФГА проб металла плавки 2:

■ – оксиды хрома и марганца; ■ – силикаты + марганец; ■ – оксиды титана; ■ – алюминаты; ■ – шпинели; 1 – общий О; 2 – общий N

Fig. 5. FGA results of the metal samples of heat 2:

■ – chromium and manganese oxides; ■ – silicates + manganese; ■ – titanium oxides; ■ – aluminates; ■ – spinels; 1 – total O; 2 – total N

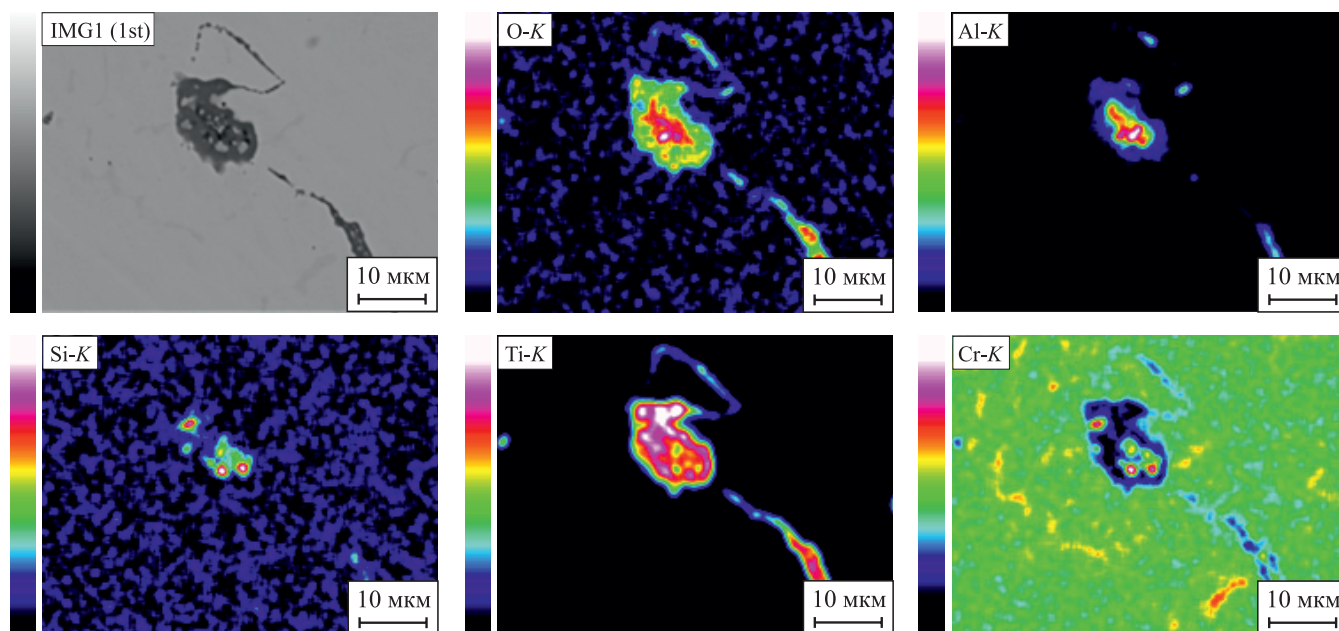


Рис. 6. Комплексное оксидное НВ в металле

Fig. 6. Complex oxide NMI in selected metal sample

картирования НВ в пробе металла методом микроанализа представлен на рис. 6.

Перенос операции легирования расплава никелем с АКП на ДСП позволил сократить время ковшевой обработки примерно на один час. Уменьшение времени обработки металла на АКП привело к сокращению времени работы электрических дуг, которые являются важным источником поступления азота в металлический расплав. Это также привело к снижению износа футеровки и уменьшению загрязнения расплава продуктами разрушения футеровки. По результатам исследований на электронном микроскопе определено, что наведение жидкоподвижного рафинировочного шлака привело к удалению НВ и уменьшению их размеров – включе-

ния стали мельче (плавка 2). Зараствания сталеразливочных стаканов на опытной плавке после введения корректирующих действий не наблюдалось.

Выводы

Выполнен анализ технологии производства коррозионностойкой стали 08X18N10T для определения причин образования НВ, которые оказывают влияние на разливаемость и качество металла. В ходе работы определено содержание общего кислорода и азота, а также кислорода, который содержится в различных типах оксидных НВ на этапах ковшевой обработки и разливки стали. Результаты исследования на элект-

ронном микроскопе подтвердили результаты ФГА, а именно преобладание НВ, неблагоприятных для коррозионностойких сталей: оксидов и нитридов титана, и алюминатов. Показано, что после присадки титановой проволоки снижалось содержание общего азота за счет образования нитридов титана и последующего их удаления в шлак. В то же время наблюдали увеличение содержания оксидов титана. Было показано, что причиной зарастания сталеразливочной оснастки является образование комплексных НВ на основе оксида титана, которые «налипают» на поверхность сталеразливочного стакана-дозатора во время разливки стали.

Даны рекомендации по корректировке технологии ковшевой обработки стали. По результатам исследований на электронном микроскопе определено, что наведение рафинировочного жидкоподвижного шлака способствовало ассимиляции НВ и уменьшению их размеров (плавка 2). После внедрения корректирующих мероприятий зарастания сталеразливочной оснастки не наблюдалось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Beddoes J., Parr J.G. Introduction to Stainless Steels. 3rd ed. Materials Park, OH, USA: ASM International; 1999:315.
- Novak C.J., Peckner D., Bernstein I.M. Handbook of Stainless Steels. New York: McGraw-Hill; 1977:1120.
- Lakshmi A.A., Rao Ch.S., Gangadhar J., Srinivasu Ch., Singh S.K. Review of processing maps and development of qualitative processing maps. *Materials Today: Proceedings*. 2017;4(2):946–956.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.106>
- Волкова А.В. Рынок нержавеющей металлопродукции – 2021. Высшая школа экономики; 2021:76.
- Токовой О.К., Шабуров Д.В. Исследование дефекта «корж» в непрерывнолитой нержавеющей аустенитной стали X18H10T. Сообщение 1. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2013;56(7):19–22.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2013-7-19-22>
Tokovoy O.K., Shaburov D.V. Study of “cake” defect in continuously cast austenitic stainless steel 18Cr-10Ni-1Ti. Report 1. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2013;56(7):19–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2013-7-19-22>
- Сургаева Е.В., Еланский Г.Н., Галкин М.П., Ячменева Н.А. Исследование шлакометаллической корочки, образующейся в кристаллизаторе при непрерывной разливке стали 08X17T. *Электрометаллургия*. 2002; (5):22–25.
Surgaeva E.V., Elanskii G.N., Galkin M.P., Yachmeneva N.A. Investigation of slag-metal crust formed in the mold during continuous casting of 08Kh17T steel. *Elektrometallurgiya*. 2002;(5):22–25. (In Russ.).
- Сургаева Е.В., Галкин М.П., Еланский Г.Н. Работа шлакообразующей смеси в кристаллизаторе при разливке на УНРС коррозионностойких титаносодержащих сталей. *Труды седьмого конгресса сталеплавильщиков*. 2002:524–529.
- Еланский Г.Н., Падерин С.Н., Сургаева Е.В. Причины возникновения пленок и шлакометаллических корочек при разливке титаносодержащих коррозионностойких сталей. *Сталь*. 2005;(9):17–19.
Elanskii G.N., Paderin S.N., Surgaeva E.V. The causes of captivity and slag-metal crusts during casting of titanium-containing corrosion-resistant steels. *Stal’*. 2005;(9):17–19. (In Russ.).
- Sowa L., Bokota A. Numerical model of thermal and flow phenomena the process growing of the CC slab. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2011;56(2):359–366.
<https://doi.org/10.2478/v10172-011-0038-4>
- Wegrzyn T., Mirosławski J., Silva A.P., Pinto D.G., Miros M. Oxide inclusions in steel welds of car body. *Materials Science Forum*. 2010;636–637:585–591.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.636-637.585>
- Hashimoto K., Fujimatsu T., Tsunekage N., Hiraoka K., Kida K., Costa Santos E. Study of rolling contact fatigue of bearing steels in relation to various oxide inclusions. *Materials & Design*. 2011;32(3):1605–1611.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.08.052>
- Zhang L., Thomas B.G. State of the art in the control of inclusions during steel ingot casting. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2006;37(5):733–761.
<https://doi.org/10.1007/s11663-006-0057-0>
- Zhang L. Indirect methods of detecting and evaluating inclusions in steel – A review. *Journal of Iron and Steel Research International*. 2006;13(4):1–8.
[https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(06\)60067-8](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(06)60067-8)
- Zhang L. Nucleation, growth, transport, and entrapment of inclusions during steel casting. *JOM*. 2013;65(9):1138–1144.
<https://doi.org/10.1007/s11837-013-0688-y>
- Gao Y., Sorimachi K. Formation of clogging materials in an immersed nozzle during continuous casting of titanium stabilized stainless steel. *ISIJ International*. 1993;33(2):291–297.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.33.291>
- Sasai K., Mizukami Y. Mechanism of alumina adhesion to continuous caster nozzle with reoxidation of molten steel. *ISIJ International*. 2001;41(11):1331–1339.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.41.1331>
- Long M., Zhang L., Zuo X., Chen D. Kinetic modeling on nozzle clogging during steel billet continuous casting. *ISIJ International*. 2010;50(5):712–720.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.50.712>
- Лозовский Е.П., Ушаков С.Н., Юречко Д.В. Изучение причин образования дефекта «плена» из-за неметаллических включений в слябах на прокате. *Сталь*. 2009;(10):26–28.
Lozovskii E.P., Ushakov S.N., Yurechko D.V. Causes of formation of a “captivity” defect due to non-metallic inclusions in slabs on rolled products. *Stal’*. 2009;(10):26–28. (In Russ.).
- Григорович К.В., Красовский П.В., Исаков С.А., Горохов А.А., Крылов А.С. Обработка и интерпретация результатов фракционного газового анализа. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2002;68(9):3–9.
Grigorovich K.V., Krasovskii P.V., Isakov S.A., Gorokhov A.A., Krylov A.S. Processing and interpretation of the results of fractional gas analysis. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2002;68(9):3–9. (In Russ.).
- Григорович К., Комолова О., Теребикина Д. Analysis and optimization of ladle treatment technology of steels processing. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2015;50(6):574–580.

21. Шибаетов С.С., Красовский П.В., Григорович К.В. Определение форм нахождения кислорода в нержавеющей стали методом восстановительного плавления. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2006;72(6):10–16.

Shibaev S.S., Krasovskii P.V., Grigorovich K.V. Determination of oxygen concentrations in stainless steels by the method of reducing melting. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2006;72(6):10–16. (In Russ.).

Сведения об авторах

Information about the Authors

Антон Юрьевич Ем, младший научный сотрудник лаборатории диагностики материалов, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

ORCID: 0000-0002-9743-5996

E-mail: tony.yem1994@gmail.com

Ольга Александровна Комолова, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории диагностики материалов, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН; доцент кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

ORCID: 0000-0001-9517-8263

E-mail: o.a.komolova@gmail.com

Константин Всеволодович Григорович, академик РАН, д.т.н., заведующий лабораторией диагностики материалов, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН; профессор кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

ORCID: 0000-0002-5669-4262

E-mail: grigorov@imet.ac.ru

Софья Борисовна Румянцева, к.т.н., научный сотрудник лаборатории диагностики материалов, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

E-mail: sbvarlamova@gmail.com

Anton Yu. Em, Junior Researcher of the Laboratory of Materials Diagnostics, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences

ORCID: 0000-0002-9743-5996

E-mail: tony.yem1994@gmail.com

Ol'ga A. Komolova, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Laboratory of Materials Diagnostics, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences; Assist. Prof. of the Chair of Metallurgy of Steel, New Production Technologies and Metal Protection, National University of Science and Technology "MISIS"

ORCID: 0000-0001-9517-8263

E-mail: o.a.komolova@gmail.com

Konstantin V. Grigorovich, Academician, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Materials Diagnostics, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences; Prof. of the Chair of Metallurgy of Steel, New Production Technologies and Metal Protection, National University of Science and Technology "MISIS"

ORCID: 0000-0002-5669-4262

E-mail: grigorov@imet.ac.ru

Sof'ya B. Rumyantseva, Cand. Sci. (Eng.), Research Associate of the Laboratory of Materials Diagnostics, Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences

E-mail: sbvarlamova@gmail.com

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. Ю. Ем – отбор проб металла, анализ паспортов плавок производства коррозионностойкой стали, проведение газового анализа.

О. А. Комолова – постановка задачи, проведение термодинамических расчетов.

К. В. Григорович – формирование результатов и выводов.

С. Б. Румянцева – проведение микрорентгеноспектрального анализа.

A. Yu. Em – metal sampling, analysis of melting certificates for corrosion-resistant steel production, gas analysis.

O. A. Komolova – problem statement, thermodynamic calculations.

K. V. Grigorovich – formation of results and conclusions.

S. B. Rumyantseva – conducting a microrentgenospectral analysis.

Поступила в редакцию 17.07.2024

После доработки 22.08.2024

Принята к публикации 26.08.2024

Received 17.07.2024

Revised 22.08.2024

Accepted 26.08.2024