

Неметалеві включення в металі котельних безперервнолитих заготовок

Опришко Л. В., завідувачка відділенням матеріалознавства,
завідувачка лабораторії труб і виробів для теплової та атомної енергетики,
Liudmila.opryshko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5444-311X>

Головняк Т. В., завідувачка сектору експертних досліджень металопродукції
із чорних та кольорових металів і сплавів, tatyana.golovniak@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8853-7034>

Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний
інститут трубної промисловості імені Я. Ю. Осади (ДП «НДТІ»», Дніпро

Наводяться результати досліджень забрудненості неметалевими включеннями металу котельних безперервнолитих заготовок (БЛЗ) з вуглецевої сталі різних виробників. Забрудненість досліджували металографічними засобами з використанням методів спостереження у світлому і темному полі зору мікроскопу та поляризованому світлі. Це дозволило, з високою ймовірністю, за оптичними властивостями (колір, прозорість тощо) визначити вид включень (силікати, оксиди, сульфід). Визначали також форму, розмір і вид включень та характер їх розташування по перетину заготовок. Додатково використовували методи Ш і ЛДСТУ 8966. Для визначення кількості, розмірів та виду включень застосовували також автоматизований метод контролю з використанням програмного забезпечення «ВІДЕОТЕСТ-МЕТАЛ 1.0» до мікроскопу «Axiovert 200MAT». Склад деяких неметалевих включень досліджували методом рентгеноспектрального мікроаналізу на мікрзонді MS-46 фірми «Camec».

Встановлено, що основні види включень в металі безперервнолитих заготовок - силікати неправильної та округлої форми як гомогенного, так і гетерогенного складу, в тому числі, поодинокі великі розміром до 150 мкм. Ці включення, в більшості випадків, розташовані в осьовій і периферійній зонах по перетину БЛЗ. Виявлено також різного ступіня дисперсності (переважно дрібні) уривчасті плівкові виділення, які можуть негативно впливати на службові характеристики труб, виготовлених із БЛЗ.

Накопичені результати досліджень дозволять в подальшому розробити сучасну методіку оцінювання забрудненості металу безперервнолитих заготовок (зі шкалами) та долучити її до нормативної документації на БЛЗ. Результати досліджень будуть також корисні для вдосконалення технології виробництва котельних БЛЗ з метою отримання труб високої експлуатаційної надійності.

Ключові слова: безперервнолита трубна заготовка, неметалеві включення, силікати, плівкові виділення неметалевих включень.

Котельні труби експлуатують в котлоагрегатах ТЕС (ТЕЦ) в жорстких умовах (температура залежно від марки сталі до 580 °С; тиск — до 300 МПа, а в окремих ділянках і більше) [1-4]. Забрудненість неметалевими

включеннями металу котельних труб – один із важливих якісних показників, що впливає на їх експлуатаційну надійність [5-9]. При цьому слід враховувати не тільки кількість включень, а також їх природу, склад, форму, розмір та характер розташування в металі.

Забрудненість неметалевими включеннями (оксиди: точкові і рядкові; силікати: крихкі, пластичні і такі, що не деформуються; сульфідні) металу котельних труб нормована ТУ 14-3-460/ТУ У 27.2-05757883-207. За чинними в Україні технічними умовами оцінку забрудненості неметалевими включеннями металу котельних труб і заготовок виконують за ДСТУ 8966:2019 (ГОСТ 1778-70) методом порівняння забрудненості контрольного зразка з еталонними шкалами (бальна оцінка), якій призначений для деформованого металу.

Слід зазначити, що ДСТУ 8966:2019 передбачає як бальну оцінку (метод Ш), так і підрахунок їх кількості та об'ємного відсотка (методи К і П), а також – лінійний підрахунок включень (метод Л). Методи К і П можуть використовуватися для деформованого і литого металу, метод Л – тільки для литого металу. Методи К, П і Л трудомісткі для виконання оперативного контролю в виробничих умовах, не підходять для оцінювання за нормами і використовуються в дослідних цілях для вивчення виду, кількості і розмірів включень та розташування їх по перетину злитка.

На даний час для виготовлення котельних труб за ТУ 14-3-460/ТУ У 27.2-05757883-207, крім традиційної деформованої заготовки (зі злитку стаціонарної та безперервної розливки), використовують недеформовану безперервнолиту заготовку (БЛЗ) [10-12], зокрема виробництва ТОВ «МЗ «Дніпросталь» за ТУ У 24.1-05757883-216. З причини відсутності легітимної в Україні методики контролю забрудненості неметалевими включеннями металу БЛЗ, тимчасово, в ТУ У 24.1-05757883-216 передбачено метод Ш (варіант Ш6) ДСТУ 8966:2019. При цьому, силікати і сульфідні оцінюють за шкалою «Силікати, що не деформуються», оксиди – за шкалою «Оксиди точкові».

Для визначення фактичного рівня забрудненості неметалевими включеннями металу котельних БЛЗ (форми, розмірів та виду включень, характеру розташування їх по перетину заготовок) необхідні дослідження забрудненості неметалевими включеннями металу заготовок різних виробників та сортаменту. Накопичення цих даних в подальшому дозволить розробити сучасну методику контролю та норми забрудненості неметалевими включеннями металу БЛЗ.

Матеріалом дослідження слугували котельні БЛЗ зі сталі 20 діаметрами 150, 196 і 340 мм різних виробників.

Для металографічного визначення виду включень в металі заготовок використовували мікроскопічні методи спостереження під мікроскопом у світлому і темному полі зору, поляризованому світлі [13-16]. Для більш достовірної оцінки забрудненості неметалевими включеннями металу БЛЗ, зразки для досліджень відбирали по всьому перетину заготовок (периферійна, проміжна і осьова зони) та здійснювали максимальний перегляд кількості полів зору.

Методи дослідження та контролю якості металів

Додатково використовували методи Ш і Л за ДСТУ 8966. Метод Л, для більшої показовості та достовірності, був уніфікований. Основними показниками за цим методом обрано питому кількість включень (незалежно від їх розміру) на площі шліфа, що дорівнює 1 мм^2 (N). Додаткова оціночна характеристика – максимальний та середній розміри включень (D_{max} , $D_{\text{сер. max}}$).

Виконували також автоматизований контроль неметалевих включень з використанням програмного забезпечення «ВІДЕОТЕСТ-МЕТАЛ 1.0» до мікроскопу «Axiovert 200MAT».

Досліджували склад деяких неметалевих включень на мікрозонді MS-46 фірми «Самеса» (Франція) методом локального рентгеноспектрального мікроаналізу [17, 18]. Якісні дослідження складу неметалевих включень проводили методом лінійного сканування з використанням чотирьохканальної системи реєстрування з записом кривих розтушування інтенсивності рентгенівського випромінювання елементів Fe, Si, Al, S, Ti, Ca вздовж обраних ділянок матриця-включення-матриця.

Встановлено, що основні види неметалевих включень в металі досліджених безперервнолитих заготовок – це силікати округлої та неправильної (осколкової, голкоподібної та інш.) форми як гомогенного, так гетерогенного складу. Розмір більшості силікатних включень не перевищував 40 мкм. Виявлено поодинокі глобулярні силікатні включення розміром 120-150 мкм (більше 5-го балу за шкалою ДСТУ 8966), в тому числі, з надлишковою фазою в вигляді дендритів (рис. 1).

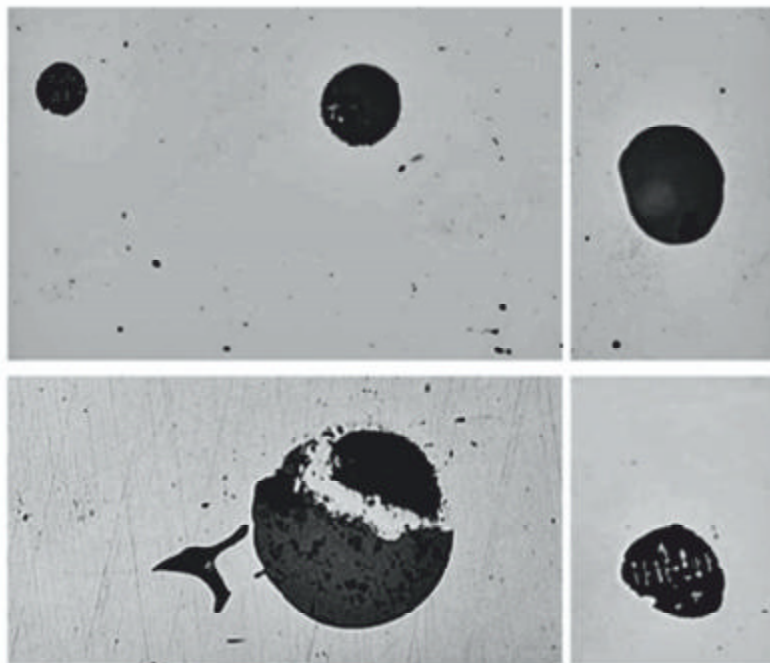


Рис. 1. Силікатні включення в металі БЛЗ, $\times 100$.

Fig. 1. Silicate inclusions in CCB metal, $\times 100$.

Силікатні включення розташовані по всьому перетину заготовок. Більші за розміром включення (як правило, понад 40 мкм) призводять до утворення в процесі трубного переділу неприпустимих дефектів поверхні та розшаруванням [6, 8] – переважно в осьовій та периферійній зонах.

Зазначимо, що вразі оцінювання забрудненості неметалевими включеннями металу БЛЗ методом ШБ за ДСТУ 8966:2019 (вимоги ТУ У 24.1-05757883-216), який передбачає відбір зразків тільки від проміжної зони заготовок, вказані вище неприпустимі великі включення не були б виявлені. Тому для повноцінного та достовірного контролю забрудненості металу неметалевими включеннями, необхідно відбирати зразки по всьому перетину заготовок.

Аналіз кривих розподілу інтенсивності рентгенівського випромінювання при дослідженні складу неметалевих включень в металі БЛЗ на мікрозонді MS-46 фірми «Самеса» показав, що великі глобулярні включення з дендритною будовою – це силікатне скло складного складу, де темна фаза – це сполуки типу $\text{SiO}_2 \cdot \text{MnO} \cdot \text{CaO}$, світла фаза (дендрити) – $\text{TiO} \cdot \text{CaO}$ (рис. 2).

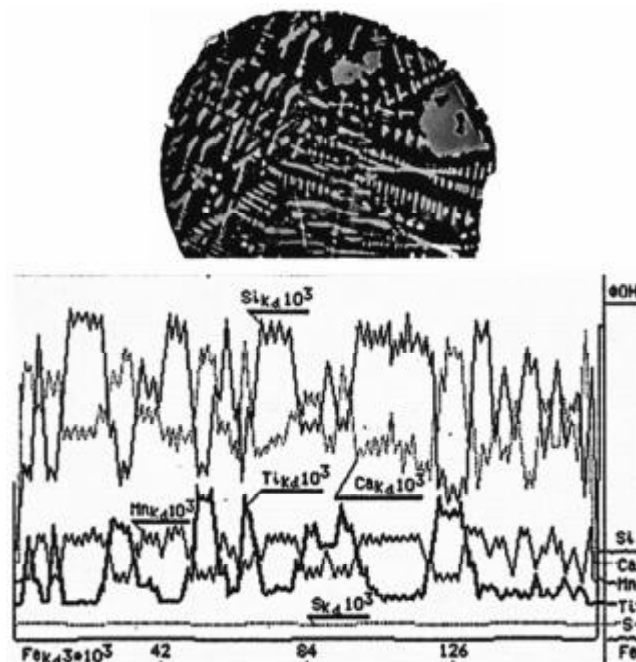


Рис. 2. Глобулярне силікатне включення з дендритною будовою.

Fig. 2. A globular silicate inclusion with dendritic structure.

Дрібні силікатні включення простого складу – це включення типу $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$, в окремих випадках – з обідком MnS , або включення типу SiO_2 . Наявність великих неметалевих включень в металі заготовок може бути пов'язана з недостатнім розкисленням і перегрівом (на початку плавки), а також з ежекцією шлаку в стакан промковща через пониження рівня металу в ньому.

Методи дослідження та контролю якості металів

Результати вибіркового оцінювання забрудненості неметалевими включеннями за ДСТУ 8966 методами Л і Ш, а також автоматизованого контролю за методом Ш (з використанням програмного забезпечення «ВІДЕОТЕСТ-МЕТАЛ 1.0» до мікроскопу «Axiovert 200MAT») в більшості випадків підтвердили вказаний вище характер розташування неметалевих включень по перетину досліджених БЛЗ (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Результати контролю забрудненості неметалевими включеннями металу котельних БЛЗ (метод Л за ДСТУ 8966:2019)

Table 1

The results of study of CCB metal contamination with non-metallic inclusions (the method L according to DSTU 8966:2019)

Умовний номер плавки	Зони дослідження	Оксиди / Сульфіди		
		Питома кількість включень N	Максимальний розмір включень на площі огляду $D_{\max}, \times 10^{-3} \text{ мм}$	Середній макс. розмір включень $D_{\text{сер. макс.}}, \times 10^{-3} \text{ мм}$
1	периферійна	8 / 0,1	43,0 / 4,0	4,0 / 3,0
	проміжна	9	11	2,8
	осьова	8	18,0 / 3,0	4,6 / 1,7
2	периферійна	10	14	5,1
	проміжна	8	8	3,4
	осьова	7	9	3,1
3	периферійна	13	14,5	3,7
	проміжна	12	10	4,2
	осьова	10 / 0,1	7,0 / 5,0	3,6 / 4,5

Метод Л за ДСТУ 8966:2019 виявився не достатньо інформативним через обмежену площу перегляду і не дозволив оцінити фактичну забрудненість неметалевими включеннями металу по всьому перетину заготовок. Автоматизований контроль, який потребує особливо якісного приготування шліфа і розрізняє неметалеві включення за відтінками сірого кольору, також не забезпечив в повній мірі достовірної картини забрудненості металу неметалевими включеннями. Цей метод допускає похибки у визначенні виду включень, їх об'ємної частки, що пов'язано з різною чутливістю обладнання до границь неметалевих включень, їх форми, розміру і виду, а також – до якості шліфів.

В мікроструктурі металу зразків БЛЗ по всьому перетину виявлено також дрібні плівкові переривчасті виділення різної інтенсивності (на базі сульфідів і силікатів) (рис. 3).

Методи дослідження та контролю якості металів

Таблиця 2

Результати контролю забрудненості неметалевими включеннями металу котельних БЛЗ (метод Ш за ДСТУ 8966:2019)

Table 2

The results of study of CCB metal contamination of with non-metallic inclusions (the method Sh according to DSTU 8966:2019)

Умовний номер плавки	Зони дослідження	Візуальний контроль			Автоматизований контроль			
		Сульфіди	Оксиди	Силікати	Сульфіди	Оксиди точкові	Силікати крихкі	Силікати, що не деформуються
		Максимальний бал						
1	периферійна	1,5	1,0	4,0	3,0	-	1,0	5,0
	проміжна	0,5	0,5	2,5	-	-	-	2,0
	осьова	1,0	0,5	2,0	2,0	-	-	3,0
2	периферійна	0,5	0,5	2,5	1,0	-	-	2,0
	проміжна	0,5	0,5	3,5	1,0	-	-	3,0
	осьова	0,5	0,5	2,5	-	-	-	2,0
3	периферійна	0,5	0,5	1,5	-	-	-	1,0
	проміжна	0,5	0,5	2,0	-	-	-	2,0
	осьова	0,5	0,5	3,0	-	-	-	3,0

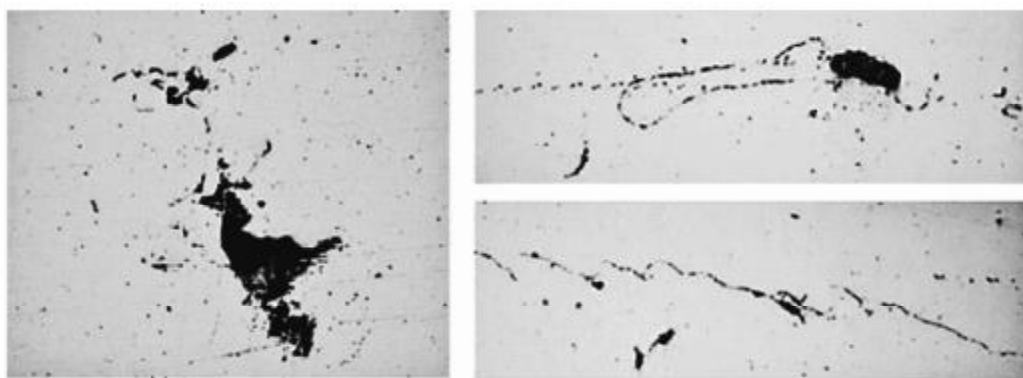


Рис. 3. Характерний вид плівкових неметалевих включень в металі БЛЗ, $\times 500$.

Fig. 3. A characteristic view of non-metallic film inclusions in CCB metal, $\times 500$.

Плівкові включення розташовані на ділянках границь, а також на стиках границь аустенітних зерен і сконцентровані в локальних зонах металу. Ці дрібні включення можуть негативно впливати на службові характеристики металу котельних труб в умовах тривалої експлуатації за високих температур і тиску [3-5].

Дослідження показали, що чинний в Україні стандарт ДСТУ 8966:2019 не забезпечує повноцінного і достовірного контролю забрудненості неметалевими включеннями металу котельних БЛЗ. Необхідно розробити сучасну методику контролю з відбором зразків по усьому перетину БЛЗ, зі шкалами різних видів неметалевих включень, в тому числі плівкових. Надалі розробити норми забрудненості усіма видами неметалевих включень металу котельних БЛЗ і ввести їх в чинну нормативну документацію на котельну безперервнолиту трубну заготовку.

Література

1. Янко П.І., Мисак Й.С. Режимы эксплуатации энергетических котлов. – Львів:Українські технології, 2004. – 272 с.
2. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. – М.: Академия, 2010. – 432 с.
3. Крутасова Е.И. Надежность металла энергетического оборудования. – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
4. Бугай Н.В., Березина Т.Г., Трунин И.И. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
5. Баранов А.П. Предупреждение аварий паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 97 с.
6. Гуляев Г.И., Правосудович В.В., Кашакашвили Г.В. Атлас дефектов стальных горячекатаных бесшовных труб. – Тбилиси: Сакартвело, 1991. – 152 с.
7. Дуб А.В., Марков С.И., Морозова Т.В. и др. Влияние неметаллических включений на свойства и коррозионную стойкость низколегированных трубных сталей // Проблемы черной металлургии и материаловедение. – 2009. – № 4. – С. 36-42.
8. Правосудович В.В., Сокуренок В.П., Данченко В.Н. и др. Дефекты стальных листов и проката. – М.: Интермет Инженеринг, 2006. – 184 с.
9. Григорович К.В., Красовский П.В., Трушников А.С. Анализ неметаллических включений - основа контроля качества стали и сплавов // Аналитика и контроль. – 2002. – Т.6. – № 2. – С. 133-142.
10. Ожигов Л.С., Митрофанов А.С., Рыбальченко Н.Д. и др. Влияние неметаллических включений в низколегированной и углеродистой стали на ресурс трубопроводов АЭС // Вопросы атомной науки и техники. – 2017. – № 4 (110). – С. 59-64.
11. Дуб А.В., Баруленкова Н.В., Морозова Т.В. Неметаллические включения в низколегированной трубной стали // Металлург. – 2005. – № 4. – С. 64-73.
12. Опришко Л.В. Перспективы использования недеформированной непрерывнолитой заготовки для производства котельных горячедеформированных труб из углеродистой стали. Современные тенденции производства сварных и бесшовных труб: технологии и оборудование: Международная научно-техническая конференция (18-19 июня 2008 года). – Киев: Трубы Украины, 2008. – С. 101-105.

13. Опрышко Л.В. Новые энергосберегающие технологии производства труб для теплоэнергетики. Проблемы энергосбережения, безопасности, экологии в промышленной и коммунальной энергетике: Материалы XIX Международной конференции (12-16 июня 2006 года). – Ялта: Ассоциация теплоэнергетических компаний Украины, 2006 – С. 72-74.
14. Опрышко Л.В., Головняк Т.В., Полтава И.И. Котельные горячекатаные трубы из недеформированной непрерывнолитой заготовки стали 20 // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 1. – С. 61-66.
15. Виноград М.И. Включения в стали и ее свойства. – М.: Металлургиздат, 1963. – 252 с.
16. Явойский В.И., Рубенчик Ю.И., Оценко А.П. Неметаллические включения и свойства стали. – М.: Металлургия, 1980. – 176 с.
17. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005. – 536 с.
18. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев А.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: МИСиС, 1994. – 330 с.

References

1. Yanko P.I., Mysai Y.S. *Rezhimy ekspluatatsii energenichnykh kotlov* (Operating models of power boilers), Lviv: Ukrainian technologies, 2004, 272 p. [in Ukraine].
2. Sokolov B.A. *Kotelnnye ustanovki i ih ekspluatatsiia* (Boiler plants and their operation), Moscow: Akademiia, 2010, 432 p. [in Russian].
3. Krutasova E. I. *Nadezhnost metalla energeticheskogo oborudovaniia* (Reliability of metal power equipment), Moscow: Energoizdat, 1981, 240 p. [in Russian].
4. Bugai N.V., Berezina T.G., Trunin I.I. *Rabotosposobnost i dolgovechnost metalla energeticheskogo oborudovaniia* (Efficiency and durability of metal of power equipment), Moscow: Energoatomizdat, 1994, 272 p. [in Russian].
5. Baranov A.P. *Preduprezhdenie avarii parovykh kotlov* (Prevention of accidents in steam boilers), Moscow: Energoatomizdat, 1991, 97 p. [in Russian].
6. Gulyaev G.I., Pravosudovich V.V., Kashakashvili G.V. *Atlas defektov stalnykh goryachekatannykh besshovnykh trub* (Defects atlas of hot-rolled steel seamless pipes), Tbilisi: Sakartvelo, 1991, 152 p. [in Georgian].
7. Dub A.V., Markov S.I., Morozova T.S. *Problemy chernoy metallurgii i materialovedenie*, 2009, No. 4, pp. 36-42 [in Russian].
8. Pravosudovich V.V., Sokurenko V.P., Danchenko V.N. et. al. (2006). *Defekty stalnykh listov i prokata* (Defects of steel ingots and rolled products), Moscow: Intermet Engineering, 384 p. [in Russian].
9. Grigorovich K.V., Krasovskii P.V., Trushnikova A.C. *Analiz i kontrol*, 2002, Vol. 6, No. 2, pp. 133-142 [in Russian].
10. Ozhigov L.S., Mitrofanov A.S., Rybalchenko N.D. et. al. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki*, 2017, No. 4 (110), pp. 59-64 [in Russian].
11. Dub A.V., Barulenkova N.V., Morozova T.S. *Metallurg*, 2005, No. 4, pp. 64-73 [in Russian].
12. Opryshko L.V. The outlook of using non-worked continuously cast billets in the production of hot-worked boiler tubes of carbon steel. *Proceeding from Modern trending production of welded and seamless tubes and pipe: technologies and equipment '08: International Scientific and Technical Conference*, Kiev: Pipe of Ukraine, 2008, pp.101-105 [in Ukraine].

13. Opryshko L.V. New energy-saving technologies for the production of tubes for power systems. *Proceeding from Problems of energy conservation, safety, ecology in industrial and municipal energy '06: XIX International Conference*, Yalta: Association of Heat and Power Companies of Ukraine, 2006, pp.72-73 [in Ukraine].
14. Opryshko L.V., Golovniak T.V., Poltava I.I. *Metallurgicheskaia I gornorudnaia promyshlennost*, 2016, No 1, pp. 60-61 [in Ukraine].
15. Vinograd M.I. *Vklyucheniia v stali I ih svoystva* (Inclusions in steel and their properties), Moscow: Metallurgizdat, 1963, 252 p. [in Russian].
16. Yavoiskii V.I., Rubenchik Yu.I., Okenko A.P. *Nemetallicheskie vklyucheniia i svoystva stali* (Non-metallic inclusions and properties of steel), Moscow: Metallurgy, 1980, 176 p. [in Russian].
17. Gubenko S.I., Parusov V.V., Derevianchenko I.V. *Nemetallicheskie vklyucheniia v stali* (Non-metallic inclusions in steel), Dnepropetrovsk: ART-PRES, 2005, 536 p. [in Ukraine].
18. Gorelik S.S., Skakov Yu.A., Rastorguev A.N. *Rentgenograficheskii i elektronno-opticheskii analiz* (X-ray and electro-optical analysis), Moscow: MISiS, 1994, 330 p. [in Russian].

Одержано 16.08.22

Opryshko L. V., Golovnyak T. V.

Non-metallic inclusions in metal of continuously cast billets for boiler tubes

Summary

The article presents results of studies of contamination of metal of undeformed continuously cast billets (CCB) for boiler tubes from carbon steel supplied by various manufacturers with non-metallic inclusions. Contamination was investigated by metallographic means using methods of observation under a microscope in light and dark fields of vision in polarized light. Application of these methods has made it possible to determine the inclusion types (silicates, oxides, sulfides) with high probability based on optical properties (color, transparency, etc.). Shape, size and type of inclusions and the nature of their location along the billet cross-section were determined for the data set of actual level of contamination of the CCB metal with non-metallic inclusions. In addition, the methods Sh and L according to DSTU 8966 were used. To determine the number, dimensions and types of inclusions, an automated control method using the VIDEOTEST-METAL 1.0 software was also used for the Axiovert 200MAT microscope. Composition of some non-metallic inclusions was studied by means of X-ray spectral microanalysis using the MS-46 microprobe of the Cameca Co. (France).

It was established that irregular and rounded silicates of both homogeneous and heterogeneous composition (including individual large ones up to 150 μm in size) are main types of inclusions in metal of continuously cast billets. In most cases, these inclusions are located in axial and peripheral zones along the CCB section. Intermittent film precipitation of non-metallic inclusions of varying degrees of dispersion (mainly of small size) which can have a negative effect on service characteristics of tubes made from such CCB was also detected.

The study results have important scientific and practical significance in conditions of wide use of such CCB in the production of tubes of responsible purpose. The obtained study results will make it possible to further develop an advanced methodology of assessing the contamination of non-deformed continuously cast billets (with scale)

with non-metallic inclusions in their metal and introduce them in regulatory documents on the CCB. The results of studies of metal contamination with non-metallic inclusions will also be useful for improving the CCB production technology with the aim of producing boiler tubes of high operational reliability.

Keywords: undeformed continuous cast tube billet, non-metallic inclusions, silicates, film precipitation of non-metallic inclusions.

Metalozn. obrobka met. 2022, vol. 28(103), 50-59
<https://doi.org/10.15407/mom2022.03.050>

УДК 620.193:621.791

Фрактальна розмірність і мультифрактальний аналіз структури металу зварних швів

Головко В. В., * доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу v_golovko@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2117-0864>

Штофель О. О., **, кандидат технічних наук, науковий співробітник, старший викладач o.shtof@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0965-6340>

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

Наведено результати дослідження зв'язку між вмістом неметалевих включень в структурі металу зварних швів, механічними властивостями і фрактальною розмірністю на прикладі металу зварних з'єднань високоміцних низьколегованих сталей.

Доцільність виконання цієї роботи обґрунтовується тим, що, хоча якість металу визначається його структурою, наразі взаємозв'язок між такими параметрами мікроструктури як зерновий склад, мікробудова міжфазних границь і комплексом механічних властивостей зварних з'єднань в умовах навантаження під час експлуатації конструкції є надто складним і неоднозначним для теоретичного і феноменологічного опису. До сьогодні немає вичерпного розуміння механізмів і факторів, що контролюють утворення мікроструктур під час фазових перетворень, в нерівноважних умовах електродугового зварювання. Традиційні уявлення, базовані на принципах рівноважної термодинаміки, не дозволяють, зокрема, відповісти на питання про причини появи тієї або іншої морфології виділених фаз, так само як і адекватно оцінити роль кінетичних факторів формуванні структурного стану, залежність від траєкторії охолодження, які навіть у простіших випадках, більш наближених до рівноважних умов порівняно з процесами зварювання, є найскладнішою частиною проблеми.

Управління структуроутворенням зварних швів та визначення імовірності руйнування в існуючих конструкціях пов'язані з необхідністю коректного опису структури. Складність структури реальних металів зварних швів є основною перешкодою для синтезу адекватних моделей комп'ютерного конструювання структур і прогнозування їх властивостей.