

Дослідження дефектів поверхні труб із недеформованої безперервнолитої заготовки

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

Т. В. Головняк, завідувач сектору експертних досліджень металопродукції з 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

Досліджено дефекти зовнішньої та внутрішньої поверхонь гарячекатаних труб різного марочного і розмірного сортаменту, які виготовлені на трубопрокатному агрегаті з безперервним станом (ТПА 30-102) ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ» із недеформованої безперервнолитої заготовки виробництва ТОВ «МЗ «ДНПРОСТАЛЬ». Виявлено характерні генетичні та морфологічні ознаки дефектів, які дозволяють достовірно їх класифікувати, виявити причини утворення дефектів та рекомендувати заходи по їх усуненню. Дефекти на зовнішньої і внутрішньої поверхні труб мають металургійне походження і пов'язані з якістю вихідної безперервнолитої заготовки як наслідок порушення технології виплавки і безперервної розливки сталі. Дефекти внутрішньої поверхні труб утворилися по пороках осьової зони вихідної заготовки (недопустима пористість, рихлості, хімічна неоднорідність, ліквідаційні смуги і тріщини тощо) і класифіковані як сталеплавильні плени і здуття. Відзначено, що зміщення теплового центру кристалізації (особливість машин безперервної розливки сталі криволінійного типу) додатково негативно впливає на якість внутрішньої поверхні труб. Дефекти на зовнішній поверхні труб являють собою розривини по перепалу в місцях скупчення легкоплавких включень і їх евтектик, а також сталеплавильні плени по розкатаним забрудненням та газовим пузирям. Не виключена ймовірність утворення плен на зовнішній поверхні досліджених труб по розкатаним заворотам кірочки.

Результати досліджень дозволять підприємствам-виробникам достовірно класифікувати дефекти, оперативно відбракувати труби з неприпустимими дефектами металургійного походження і мінімізувати постачання неякісної продукції. Одержані результати надалі будуть включені в класифікатор дефектів труб, які виготовлені на ТПА 30-102 із недеформованої безперервнолитої заготовки. Результати дослідження природи дефектів поверхні труб металургійного походження та їх достовірна класифікація будуть корисні для розробки заходів по удосконаленню технології виробництва вихідної трубної заготовки.

Ключові слова: *дефекти поверхні труб, безперервнолита заготовка, мікроструктура, забруднення, легкоплавкі включення, евтектика, газові пузири, зневуглецювання, ліквідація.*

Гарячедеформовані труби є однією із частин обладнання, яке використовують в різних галузях промисловості (енергетика, машинобудування, газовидобування, нафтопереробка, будівництво та інше). Якість зовнішньої і внутрішньої поверхонь труб та структура є важливими характеристиками труб, що визначають їх експлуатаційну надійність. Наявність дефектів поверхні та дефектів типу «розшарування» може призвести до передчасного руйнування труб та створити аварійну ситуацію на об'єктах, де використовують ці труби [1-5].

Гарячедеформовані труби, залежно від сортаменту і матеріалу, виготовляють способом гарячого пресування та прокатування на різному обладнанні: пресових установках, трубопрокатних агрегатах з безперервним, автоматичним, тривалковим розкатним і пілігримовим станами [6]. Утворення дефектів на трубах може бути пов'язано з технологією їх виготовлення або з якістю трубної заготовки, яку використовують для виготовлення труб [7-11]. Причиною утворення трубопрокатних і пресових дефектів можуть бути порушення технології виробництва труб і невірно визначені параметри їх гарячої деформації. Утворення дефектів металургійного походження (сталеплавильних та прокатних) відбувається в місцях пороків трубної заготовки, пов'язаних з технологічними процесами виготовлення заготовки (виплавлення і розливання сталі, деформування зливка в трубну заготовку). Класифікацію дефектів труб виконують на підставі характерних ознак, які виявляються при виконанні досліджень [10-11]. Вид трубної заготовки (деформована або лита), засіб та схема деформування впливають на характерні ознаки дефектів. Багато дефектів трубопрокатного і пресового походження мають деяку генетичну та морфологічну подібність з металургійними дефектами. Зустрічаються труби з комбінованими дефектами, які утворилися через порушення технології виготовлення. Крім того, слід враховувати дефекти поверхні труб, які не були досліджені раніше і пов'язані з освоєнням нових технологій, матеріалів і видів труб.

Науково-технічна література, діюча нормативна документація і класифікатори дефектів, як правило, описують загальні ознаки дефектів, без урахування агрегатів, на яких виготовлені труби [10-12]. В більшості випадків вказані в цих джерелах ознаки дефектів отримані на основі досліджень дефектних труб, виготовлених з деформованої трубної заготовки.

Останнім часом для виготовлення труб широко використовують недеформовану безперервнолиту заготовку (БЛЗ) [13-15]. Одним з підприємств, яке для виготовлення труб різного призначення використовує БЛЗ, є ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ».

Для достовірної класифікації дефектів поверхні цих труб і відповідно розробки рекомендацій щодо їх усунення, потрібне проведення комплексних досліджень, включаючи оцінку якості вихідної заготовки та аналіз технології виготовлення труб (з прив'язкою до конкретного обладнання), та металографічні дослідження металу дефектних частин труб (в різних місцях розвитку дефектів по довжині і периметру труб). Накопичення результатів цих досліджень необхідне для розробки класифікаторів дефектів

Технічна інформація

труб, виготовлених з БЛЗ на певному обладнанні. Це дозволить оперативно класифікувати дефекти на трубах і здійснювати заходи щодо їх усунення.

Метою цієї роботи є виявлення та дослідження характерних ознак деяких дефектів поверхні гарячекатаних труб, виготовлених на трубопрокатному агрегаті з безперервним станом з недеформованої безперервнолитої заготовки.

Досліджували гарячекатані труби різного розмірного і марочного сортаменту (труби розмірами 33,7×3,2 мм і 60,3×5,0 мм із сталі 10У, розміром 73,0×5,5 мм із сталі Ду та розміром 88,9×7,6 мм із сталі 20У), виготовлені на трубопрокатному агрегаті з безперервним станом (ТПА 30-102) ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ» із БЛЗ виробництва ТОВ «МЗ «ДНПРОСТАЛЬ».

Зовнішній огляд дефектних частин труб виконували для виявлення характеру розташування дефектів. Металографічний аналіз металу труб проводили в місцях розташування дефектів. Мікроструктуру металу дефектної ділянки труб досліджували до і після протравлювання (в реактивах Ніталя і Обергоффера) в різних місцях за ступеням розвитку дефекту на світловому мікроскопі Axiovert 200MAT за 50, 100, 500 і 1000-кратних збільшень.

На досліджених трубах були виявлені дефекти на внутрішній поверхні – труби розмірами 33,7×3,2 мм (рис. 1 а) і 88,9×7,6 мм (рис. 1 б) та на зовнішній поверхні – труби розмірами 73,0×5,5 мм (рис. 1 в) і 60,3×5,0 мм (рис. 1 г).

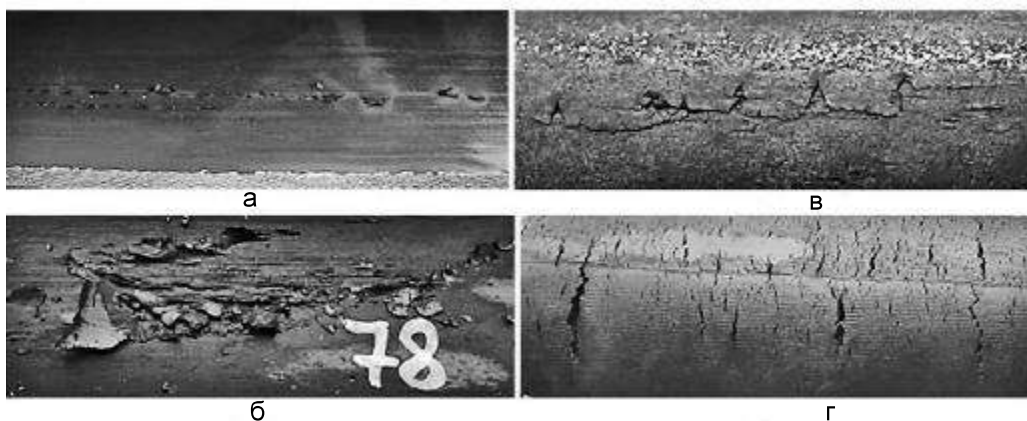


Рис. 1. Дефекти на внутрішній (а, б) і зовнішній (в, г) поверхнях труб.

Дефекти внутрішньої поверхні труб розмірів 33,7×3,2 мм і 88,9×7,6 мм подібні. Різниця лише в ступені розвитку дефектів, що пов'язано з різними коефіцієнтами витягування при виготовленні труб. Внутрішні дефекти представлені поверхнями здуття і багаторядними множинними плени (рис. 1 а, б). Внутрішні плени мають поздовжні і поперечні відшарування з звивистими та рваними краями, які, в більшості випадків розташовані вялоподібно (з переплетенням) уздовж осі труб. Це більш характерно

Технічна інформація

для труб розміром 88,9×7,6 мм. Зустрічаються також волосоподібні плени. Дефекти на внутрішній поверхні труб обох розмірів, як правило, розташовані вдовж однієї твірної труб, що обумовлено зміщенням теплового центру кристалізації відносно осі заготовки (особливість машин безперервного розливання криволінійного типу).

На зовнішній поверхні труб розміром 73,0×5,5 мм спостерігаються поздовжні плени з гострокутним відривом і звивистими краями відшарувань, які щільно прикатані до тіла труби (рис. 1 в). На окремих ділянках вони розташовані паралельно і нашаровуються одна на одну.

На зовнішній поверхні труб розміром 60,3×5,0 мм спостерігаються множинні поперечні розривини різного ступеня огрубіння, в тому числі наскрізні (рис. 1 г). Виявлені також дрібні сітчасті тріщини, розташовані поздовжніми смугами.

У поперечному перетині труб розмірів 33,7×3,2 мм і 88,9×7,6 мм внутрішні дефекти мають вигляд багаторядних, різного ступеню огрубіння порожнин (рис. 2).

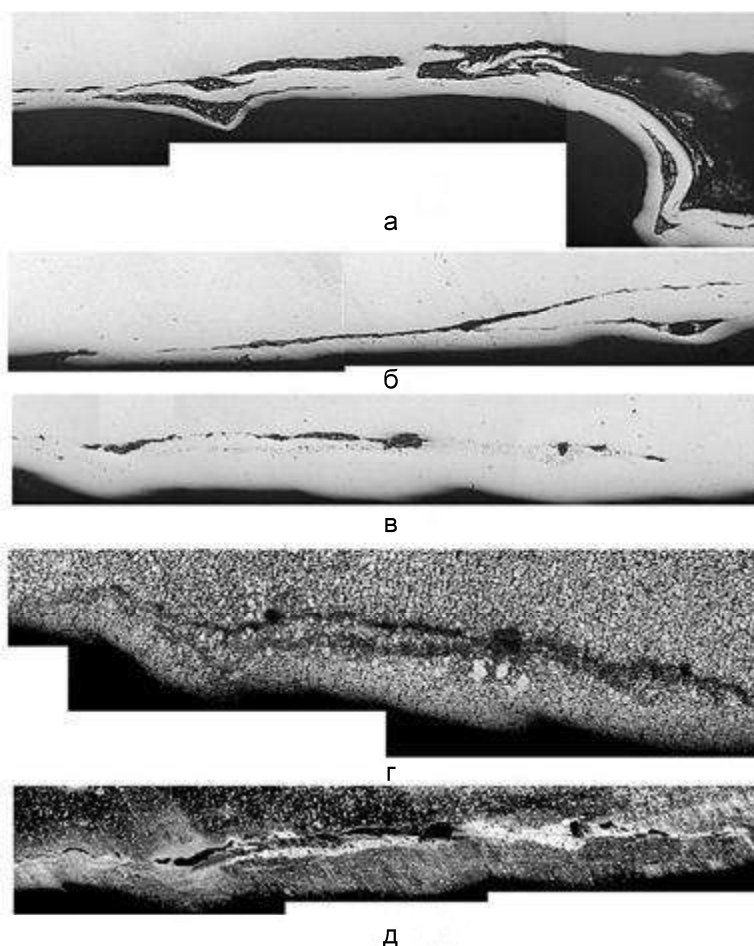


Рис. 2. Структура металу по місцю розташування дефектів на внутрішній поверхні труб: не травлено (а, б), після травлення в реактивах Ніталя (г) і Обергоффера (д). ×50.

Технічна інформація

В місцях продовження дефектів – скупчення дрібних дифузійних окислів, рядки сульфідів (в тому числі ділянки сульфідної евтектики), окисульфідів, а також екзогенні включення. Порожнини частково заповнені окалиною, шлаком. Структура за місцем розташування дефектів характеризується наявністю частково або повністю знеуглецьованих ділянок з фериту підвищеної газонасиченості, а також ліквації легкоплавких компонентів.

У поперечному перетині труб розміром 73,0×5,5 мм в зоні дефектної ділянки зовнішньої поверхні видно грубі порожнини, які направлені під гострим кутом (на окремих ділянках з вигином) або практично паралельно поверхні (рис. 3).

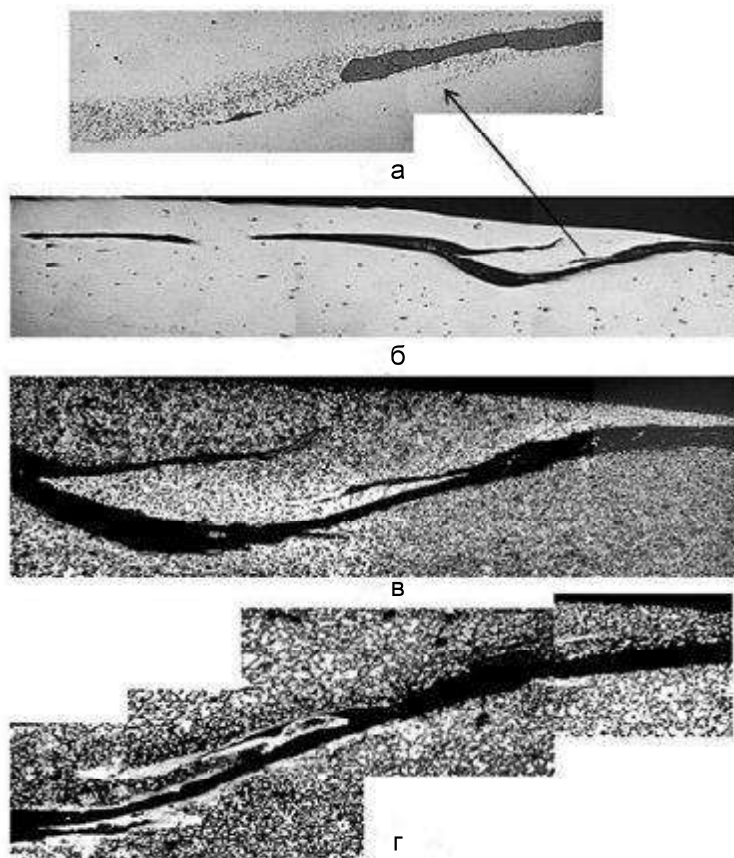


Рис. 3. Структура металу по місцю розташування дефектів на зовнішній поверхні труби розміром 73,0×5,5 мм; не травлено (а, б), після травлення в реактивах Ніталя (в) і Обергоффера (г). а – $\times 100$; б – $\times 10$; в, г – $\times 25$.

Порожнини мають розгалуження зі скупченнями сульфідів, окислів, окисульфідів. Спостерігаються газові пузири, включення крихких і пластичних силікатів. Виявлено також ділянки часткового знеуглецювання (по місцю розташування окремих грубих порожнин) з наявністю крупнозернистої структури і орієнтації фериту по видманштетту. Повне знеуглецювання у вигляді феритного «мішка» в облямівці перліту має місце навколо підкоркових пузирів. Від магістральної порожнини відходять

Технічна інформація

дугоподібні феритні доріжки, в яких спостерігається ліквідація легкоплавких компонентів.

Утворення розривин на зовнішній поверхні труб розміром 60,3×5,0 мм відбувалося за рахунок формування магістральних тріщин по ділянках границь міжкристалитного розтріскування (рис. 4).

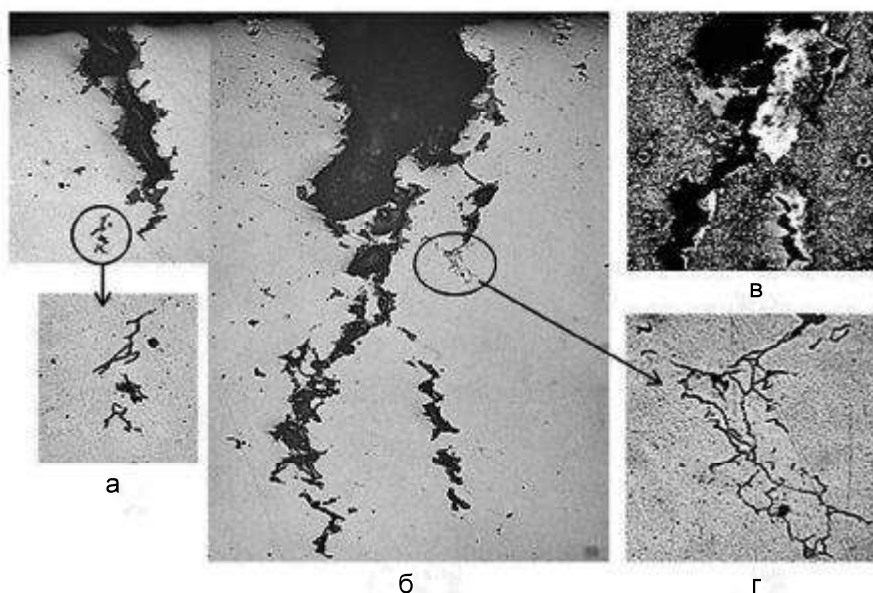


Рис. 4. Структура металу по місцю розтушування дефектів на зовнішній поверхні труби розміром 60,3×5,0 мм (повздовжній переріз); не травлено (а, б, г) і після травлення в реактиві Обергоффера (в). а, г – $\times 500$; б, в – $\times 100$.

У місцях розташування сітчастих тріщин на зовнішній поверхні проглядаються порожнини різної ступені грубості з виходом і без виходу на поверхню, які супроводжуються скупченнями оксидів, оплавленими границями зерен, знеуглецюванням і ліквідацією легкоплавких компонентів (рис. 5). Окрім цього у структурі металу труби виявлено неметалеві включення плівкового типу (рис. 4 а, г; 5 а). Наявність розривин і сітчастих тріщин є наслідком місцевого окрихчення вихідної БЛЗ скупченням легкоплавких компонентів. За результатами дослідження хімічного складу металу дефектних труб відрізнявся більш високим (у 2-3 рази) вмістом олова, що утворює легкоплавкі евтектики.

Таким чином, розглянуті дефекти досліджених труб є дефектами металургійного походження і пов'язані з незадовільною якістю металу БЛЗ. За сукупністю ознак дефекти на зовнішній поверхні труб класифіковані як розривини по перепалу в місцях скупчення легкоплавких включень і їх евтектик (труби розміром 60,3×5,0 мм) та сталеплавильні плени по розкатаним забрудненням та газовим пухирцям (труби розміром 73,0×5,5 мм). Не виключена також ймовірність утворення зовнішніх плен по розкатаним заворотам кірочки. Дефекти на внутрішній поверхні труб розмірами 33,7×3,2 мм і 88,9×7,6 мм – сталеплавильні плени по пороках

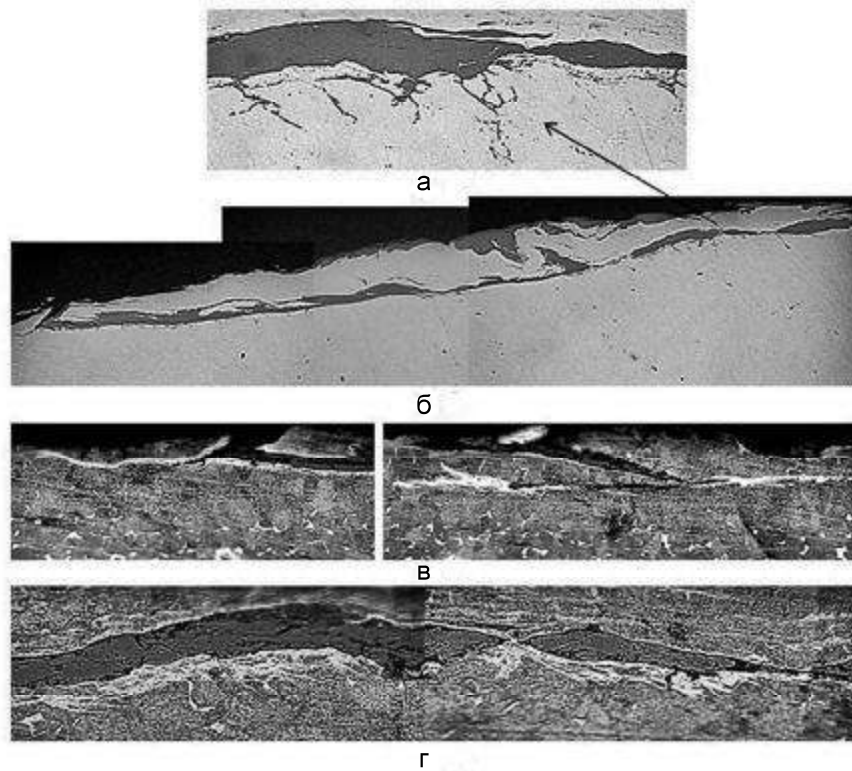


Рис. 5. Структура металу по місцю розташування дефектів на зовнішній поверхні труби розміром 60,3×5,0 мм (поперечний переріз); не травлено (а, б) і після травлення в реактиві Обергоффера (в, г). а, г – ×500; б – ×100; в – ×200.

осьової зони вихідної заготовки (недопустима пористість, рихлості, хімічна неоднорідність, ліквацийні смуги, тріщини та інше).

Література

1. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. – М.: Академия, 2010, – 432 с.
2. Сидельский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. – М.: Бастет, 2009, – 528 с.
3. Баранов А.П. Предупреждение аварий паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1991, – 97 с.
4. Харионовский В.В. Надежность и ресурс конструкций газопровода. – М.: Недра, 2000, – 83 с.
5. Муратов В.С., Морозова Е.А., Якимов Н.С. Анализ и пути предотвращения преждевременного разрушения тяжело нагруженных изделий из высокопрочных сталей // Современные материалы, техника и технологии, – 2019. – № 4 (26). – С. 126-130.
6. Осадчий В.Я., Вавилин А.С., Зимовец В.Г. Технология и оборудование трубного производства. М.: Интермет Инжиниринг, 2001, – 608 с.
7. Сафина И.С., Каузова П.А., Гуцин Д.А. Типология дефектов трубопроводов пара и горячей воды // Технадзор, – 2016. – № 2 (111). – С. 15-21.

Технічна інформація

8. Виды повреждений насосно-компрессорных труб при эксплуатации. Классификатор. – Самара: ВНИИТнефтетрубы, 2016. – 28 с.
9. Опрышко Л.В., Ананян В.В., Восходов В.Б. Исследование причин образования дефектов на внутренней поверхности горячепрессованных труб, изготовленных из недеформированной непрерывнолитой заготовки // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, – 2008. – №3. – С. 99-102.
10. Гуляев Г.И., Правосудович В.В., Кашакашвили Г.В. Атлас дефектов стальных горячекатаных бесшовных труб. – Тбилиси: Сакартвело, 1991, – 152 с.
11. Правосудович В.В., Сокуренок В.П., Данченко В.Н. и др. Дефекты стальных листов и проката. – М.: Интермет Инженеринг, 2006, – 184 с.
12. ДСТУ 2680-94. Національний стандарт України. Труби безшовні катані із сталей і сплавів. Терміни та визначення дефектів поверхні. – К.: Держстандарт України, 1994. – 72 с.
13. Атлас дефектов непрерывнолитой заготовки. – М.: ЦНИИчермет, 2005. – 104 с.
14. Смирнов А.Н., Пилюшко В.А., Минаев А.А. и др. Процессы непрерывной разливки. – Донецк: ДонНТУ, 2002, – 536 с.
15. Попандопуло И.К., Михневич Ю.Ф. Непрерывная разливка стали. – М.: Metallurgiya, 1990, – 296 с.

References

1. Sokolov B.A. *Kotelnye ustanovki i ih ekspluatatsiia* (Boiler plants and their operation), Moscow: Akademiia, 2010, 432 p. [in Russian].
2. Sidalskii L.N., Yurenev V.N. *Kotelnye ustanovki promyshlennykh predpriatii* (Boiler plants of industrial enterprises), Moscow: Bastet, 2009, 528p. [in Russian].
3. Baranov A.P. *Preduprezhdenie avarii parovykh kotlov* (Prevention of steam boiler accident), Moscow: Energoizdat, 1991, 97 p. [in Russian].
4. Harionovskii V.V. *Nadezhnost i resurs konstruktсии gazoprovoda* (Reliability and resource of gas pipeline structures), Moscow: Nedra, 2000, 83 p. [in Russian].
5. Muratov V.S., Morozova E.A., Yakimov N.S. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*, 2019, No. 4(26), pp. 126-130 [in Russian].
6. Osadchii V.Ya., Vavilin A.S., Zimovets V.G. *Tehnologiya i trubnogo proizvodstva* (Technology and equipment for pipe production), Moscow: Intermet Engineering, 2001, 608p. [in Russian].
7. Safina I.S., Kauzova P.A., Gushchin D.A. *Tehnadzor*, 2016, No. 2(111), pp. 15-21 [in Russian].
8. *Vidy povrezhdenii nasosno-kompressornykh trub pri ekspluatatsii*. Klassifikator, Samara: VNIITneftetruby, 2016, 29 p. [in Russian].
9. Opryshko L.V., Ananian V.V., Voshodov V.B. *Metallurgicheskaia i gornorudnaia promyshlennost*, 2008, No. 3, pp. 99-102 [in Ukraine].
10. Gulyaev G.I., Pravosudovich V.V., Kashakashvili G.V. *Atlas defektov stalnykh goriachekatanykh bezshovnykh trub* (Defects atlas of hot-rolled steel seamless pipes), Tbilisi: Sakartvelo, 152 p. [in Georgian].
11. 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].
12. DSTU 2680-94. *Natsionalnyi standart Ukrainy. Truby bezshovni katani iz stalei i splaviv. Terminy ta vyznachennia defektiv poverhni*, Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 1994, 72 p. [in Ukraine].

13. *Atlas defektiv nepreryvnolitoi zagotovki*, Moscow: TsNIChermet, 2005, 104 p. [in Russian].
14. Smirnov A.N., Pikiushko V.A., Minaev A.A. et. al. *Protsessy neprepyvnoi razlivki* (Continuous casting processes), Donetsk: DonNTU, 2002, 536 p. [in Ukraine].
15. Popandopulo I.K., Mikhnevich Yu.F. *Nepreryvnaia razlivka stali* (Continuous casting of steel), Moscow: Metallurgiya, 1990, 296 p. [in Russian].

Одержано 15.02.21

L. V. Opryshko, T. V. Golovniak

Study of surface defects in tubes made from nondeformed continuously cast billets

Summary

Defects of outer and inner surfaces of hot-rolled tubes of various steel grades and sizes manufactured on tube-rolling unit with a continuous mill (TPA 30-102) at Interpipe Nikotube LLC from a nondeformed continuously cast billets produced by MZ Dniprostal LLC have been studied. Characteristic genetic and morphological signs of defects were revealed which makes it possible to reliably classify them, identify cause of defect formation and recommend measures to eliminate them. Defects on the outer and inner surfaces of tubes are of metallurgical origin and associated with quality of initial continuously cast billets (a consequence of violation of the smelting and continuous casting technology). Defects on the inner surface of tubes were caused on defects in the axial zone of original billets (unacceptable porosity, looseness, chemical inhomogeneity, liquation stripes and cracks, etc.) and are classified as steel-smelting films and bulges. It was found that displacement of the thermal center of crystallization (a feature of the machines for continuous steel casting of curvilinear type) had an additional negative effect on quality of the inner surface of the studied tubes.

Defects on the outer surface of tubes are tears of burning in places of accumulation of low-melting inclusions and their eutectics, as well as steel-smelting scabs on rolled dirt and gas bubbles. Likelihood of formation of scabs on outer surface of the studied tubes over rolled crust introversions is not excluded.

The study results will allow manufacturers to reliably classify defects, promptly reject tubes with unacceptable defects of metallurgical origin and minimize supply of low-quality products to consumers. These results will later be included in the classifier of defects in tubes manufactured on the TPA 30-102 unit from nondeformed continuously cast billets. The results of the study of natural signs of defects of metallurgical origin in the tube surface will be useful for elaboration of measures aimed at improvement of the technology of manufacturing initial tube billets.

Keywords: tube surface defects, continuously cast billets, microstructure, rolled contamination, low-melting inclusions, eutectic, gas bubbles, decarburization, liquation.