



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-58-62>
УДК 669.21

Поступила 04.10.2019
Received 04.10.2019

ДЕФЕКТ «СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЛЕНЫ И ВЗДУТИЯ» НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ. ХАРАКТЕРНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ, ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И МЕРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

И. А. КОВАЛЕВА, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, ОАО «БМЗ - управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by

В условиях рыночной экономики повышение конкурентоспособности металлопродукции – актуальное направление в науке и практике. Разработка производства новых трубных марок сталей в условиях трубопрокатного цеха ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», разливаемых на МНЛЗ, было осложнено появлением на низколегированных трубных марках стали внутренних дефектов, что отрицательно влияет на качество труб. При визуальной оценке проб на внутренней поверхности выявлены раскатанные дефекты, значительные по величине скопления, близко расположенные друг к другу, имеющие продольную ориентацию. Края дефектов извилистые, разорванные. Дефекты, обнаруженные на внутренней поверхности труб, характеризуются как сталеплавильные пленки и вздутия. Причиной образования внутренних дефектов горячекатаных труб «сталеплавильные пленки и вздутия» явилось раскатывание дефектов макроструктуры центральной зоны (центральная пористость и осевая ликвация) непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм.

Ключевые слова. *Металлургия, качество металла, новые трубные марки стали, внутренние дефекты, горячекатаные трубы, макроструктура центральной зоны, центральная пористость, осевая ликвация, скорость разливки, зона затвердевания, ликвация углерода и легкоплавких компонентов.*

Для цитирования. *Ковалева, И. А. Дефект «сталеплавильные пленки и вздутия» на внутренней поверхности бесшовных горячекатаных труб. Характерные генетические признаки, причины образования и меры предупреждения / И. А. Ковалева, Н. А. Ходосовская // Литье и металлургия. 2019. № 4. С. 58–62. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-58-62>.*

DEFECT «STEEL-MELTING CAPTIVITY AND SWELLING» ON THE INNER SURFACE OF SEAMLESS HOT-ROLLED PIPES. CHARACTERISTIC GENETIC FEATURES, THE CAUSES OF FORMATION AND MEASURES OF PREVENTION

I. A. KOVALEVA, N. A. KHODOSOVSKAYA, OJSC «BSW – Management Company of the Holding «BMC», Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya Str. E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by

In a market economy, increasing the competitiveness of steel products is an urgent trend in science and practice. Development of production of new pipe steels in terms of pipe-rolling plant open joint-stock company «BSW – management company of holding «Belarusian metallurgical company» casted on continuous casting machine, was complicated by the emergence of low-alloy pipe steel grades of internal defects, which negatively affects the quality of the pipes. Visual evaluation of samples on the inner surface revealed rolled defects - significant clusters, close to each other, having a longitudinal orientation. The edges of the defects are tortuous, torn. Defects found on the inner surface of the pipes are characterized as steel - melting captivity and swelling. The reason for the formation of internal defects of hot - rolled pipes «steel-melting captivity and swelling» was the rolling of defects in the macrostructure of the central zone (central porosity and axial liquation) of a continuously cast workpiece with a diameter of 200 mm.

Keywords. *Metallurgy, metal quality, new steel pipe grades, internal defects, hot-rolled pipes, macrostructure of the central zone, central porosity, axial liquation, casting speed, solidification zone, liquation of carbon and fusible components.*

For citation. *Kovaleva I. A., Khodosovskaya N. A. Defect “steel-melting captivity and swelling” on the inner surface of seamless hot-rolled pipes. Characteristic genetic features, the causes of formation and measures of prevention. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 4, pp. 58–62. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-58-62>.*

Металлургия – одна из ведущих отраслей промышленности, обеспечивающая технический прогресс во многих смежных отраслях. Поэтому в условиях рыночной экономики повышение конкурентоспособности металлопродукции – актуальное направление в науке и практике [1].

Наряду с развитием черной металлургии постоянно и большими темпами развиваются такие отрасли, как машиностроение, нефте- и газопереработка. Вместе с этим растут и требования к качеству металла и его свойствам.

Интенсивная эксплуатация месторождений нефти и газа, а также разработка новых месторождений требуют не только замены изношенных труб, но и строительства новых трубопроводов [2].

Освоение производства новых трубных марок сталей в условиях трубопрокатного цеха ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», разливаемых на МНЛЗ, было осложнено появлением на низколегированных трубных марках стали внутренних дефектов, что впоследствии отрицательно сказывается на эксплуатации труб.

В связи с этим в задачи установления причин неудовлетворительного качества металлопродукции входило не только выявление дефектов, но и установление их природы и причин возникновения [1].

Процесс производства трубопрокатной металлопродукции включает в себя ряд переделов, каждый из которых вносит вклад в формирование конечного комплекса свойств металла. Тем не менее, в большинстве случаев основы формирования запланированных характеристик закладываются прежде всего в сталеплавильном производстве, что делает необходимым совершенствование и развитие сталеплавильных технологий на принципиально новом качественном уровне.

К важнейшим характеристикам непрерывнолитой заготовки, определяющим ее качество, относятся состояние поверхности, а также дефекты, связанные с процессами производства стали, ее разливкой и кристаллизацией, т. е. макроструктура металла. Дефекты, образующиеся из-за отклонения от заданной технологии, существенно снижают технологическую пластичность металла в условиях его дальнейшей обработки и эксплуатационной стойкости.

При отработке технологии разливки круглой непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм новых трубных марок сталей особое внимание уделялось состоянию поверхности, геометрической форме, макроструктуре [3].

В исследовательской лаборатории проведен металлографический анализ труб размером 127×9,19 мм марки стали AISI 4130 mod 3 с обнаруженными внутренними дефектами.

Для исследования дефектов образцы трубы были порезаны пополам и проведен визуальный осмотр «лодочек».

При визуальной оценке проб № 1, 2 на внутренней поверхности «лодочек» выявлены раскатанные дефекты, значительные по величине скопления, близко расположенные друг к другу, имеющие продольную ориентацию. Края дефектов извилистые, разорванные (рис. 1).

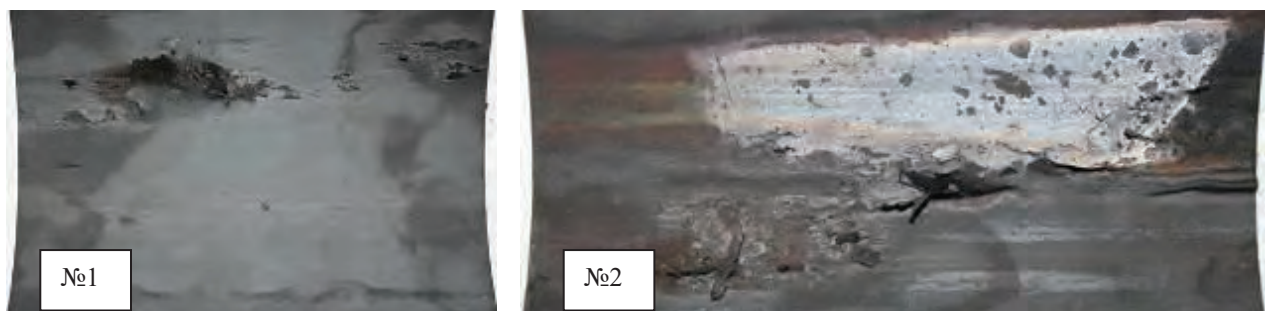


Рис. 1. Внешний вид дефектов на внутренней поверхности труб № 1, 2

Для металлографического анализа в месте расположения дефектов были вырезаны поперечные микрошлифы. При их изучении в светлом поле зрения с помощью оптического металлографического микроскопа отраженного света «OLYMPUS» с цифровой системой изображений были выявлены следующие дефекты.

При исследовании поперечного микрошлифа № 1 (рис. 2) были обнаружены дефекты, представляющие собой плены, расположенные под углом к поверхности, плавно суживающиеся в глубину. В микрошлифе № 2 (рис. 3) выявлены полости вздутий, которые имеют чечевицеобразную форму. Внутри вздутий обнаружены включения (рис. 3, а). Образец с включениями был передан для изучения на растровом

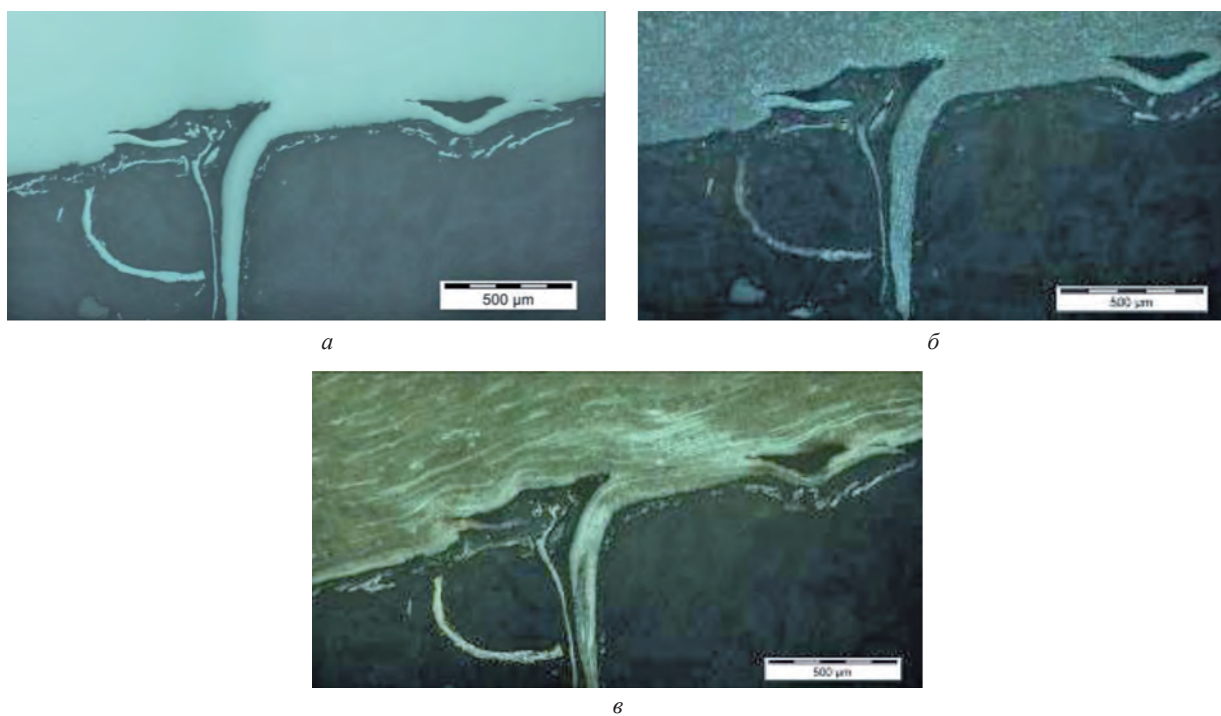


Рис. 2. Микроструктура исследуемых дефектов на внутренней поверхности трубы № 1: *a* – микрошлиф не травлен; *б* – травление в реактиве «Nital»; *в* – травление в реактиве «Обергоффера»

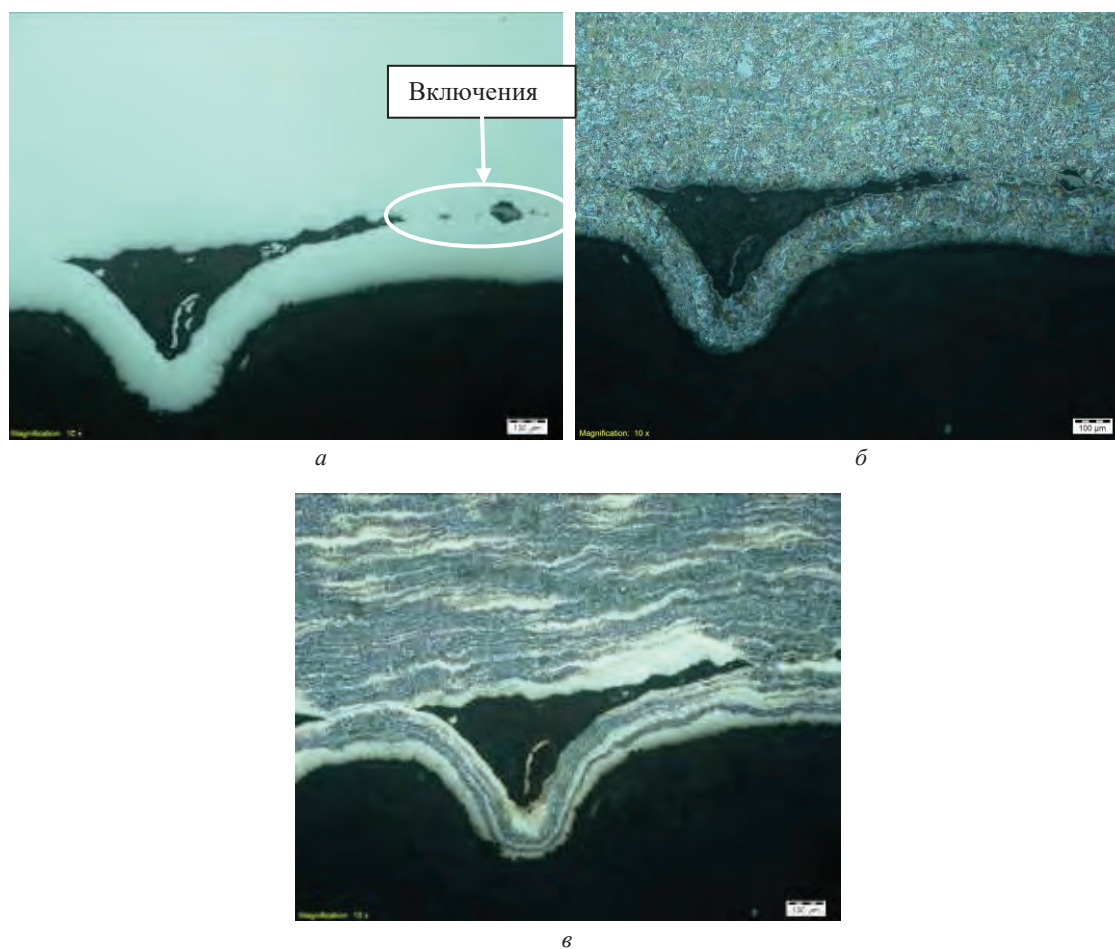


Рис. 3. Микроструктура исследуемых дефектов на внутренней поверхности трубы № 2: *a* – микрошлиф не травлен; *б* – травление в реактиве «Nital»; *в* – травление в реактиве «Обергоффера»

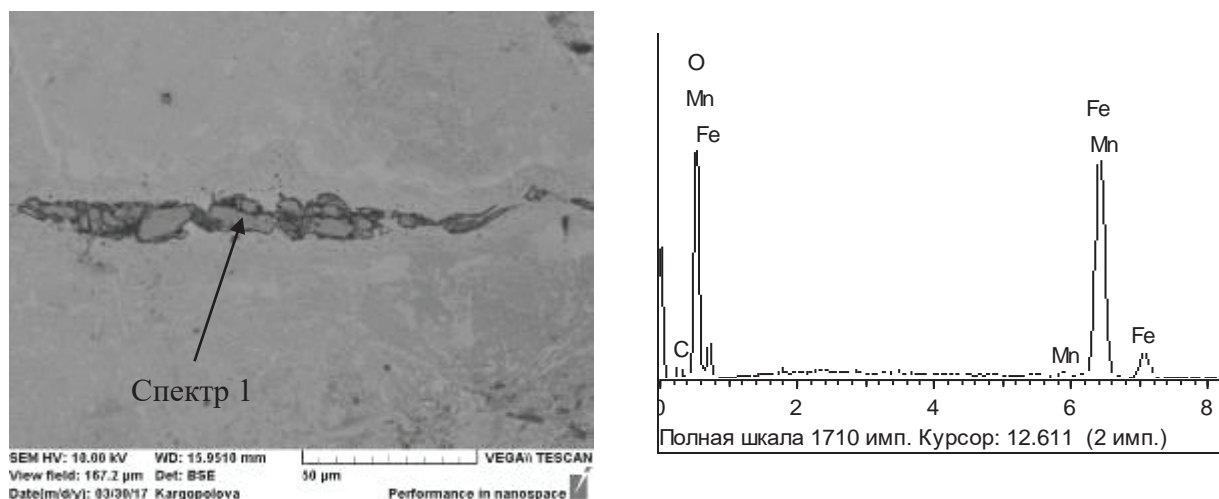


Рис. 4. Исследование включений внутри вздутий на растровом электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором

электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором. Исследование показало наличие внутри дефектов мелких глобулярных диффузионных оксидов железа и марганца типа $\text{FeO} \cdot \text{MnO}$ (рис. 4).

После травления в реактивах «Nital» и «Обергоффера» было выявлено, что не во всех поперечных сечениях имеются изменения в микроструктуре. В микрошлифах, где имеются изменения микроструктуры, дефекты сопровождаются ликвацией легкоплавких компонентов (участки белого цвета после травления реактивом «Обергоффера»).

Таким образом, дефекты, обнаруженные на внутренней поверхности труб, характеризуются как сталеплавильные пленки и вздутия (глубина залегания колеблется от 0,13 до 0,58 мм).

При производстве непрерывнолитой заготовки в результате нарушения технологии подготовки металла к разливке, отклонения от заданных оптимальных режимов разливки металла, применения несоответствующих материалов, сбоев в работе узлов и механизмов МНЛЗ, отказов систем автоматики происходит поражение металла заготовки различного рода дефектами.

В настоящее время достаточно хорошо исследованы причины, приводящие к появлению грубых дефектов; по характеру дефектов можно определить источник их образования [4].

В результате проведенных исследований были выявлены характерные генетические признаки в микроструктуре металла вокруг плен и вздутий, указывающие на сталеплавильное происхождение дефектов: ликвация (участки белого цвета после травления реактивом «Обергоффера»), подтверждающая, что усадочные явления металла сопровождаются ликвацией углерода и легкоплавких компонентов, склонных к осевой ликвации, а также повышенной пористостью металла; скопления мелких глобулярных диффузионных оксидов железа и марганца типа $\text{FeO} \cdot \text{MnO}$.

Причиной образования обнаруженных внутренних дефектов горячекатаных труб «сталеплавильные пленки и вздутия» явилось раскатывание дефектов макроструктуры центральной зоны (центральная пористость и осевая ликвация) непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм.

Центральная пористость представляет собой сосредоточение крупных и мелких пор вдоль теплового центра непрерывнолитой заготовки. Причинами образования центральной пористости являются специфические условия формирования заготовки, связанные с образованием относительно глубокой лунки жидкого металла. Повышенная температура и скорость разливки способствуют развитию центральной пористости, так как при этом увеличивается длина жидкой лунки.

Осевая ликвация обусловлена двумя факторами: ликвационными – обогащением центральных зон примесями и усадкой осевой зоны при затвердевании. Скорость разливки не оказывает прямого влияния на величину осевой ликвации. Влияние интенсивности вторичного охлаждения заготовок также носит ограниченный характер, так как при толстой корке охлаждение воздействует преимущественно на наружную поверхность непрерывнолитой заготовки. Значительно снизить степень развития осевой ликвации позволяет ужесточение технологических требований к подготовке металла к разливке, снижение содержания серы и фосфора в стали, а также стабильный процесс литья. Наиболее эффективной мерой против развития осевой ликвации является снижение температуры перегрева металла в промковше [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Правосудович В. В., Сокуренок В. П.** Дефекты стальных слитков и проката. М.: «Интермет Инжиниринг», 2006. 382 с.
2. Совершенствование режимов вторичного охлаждения слябовых непрерывнолитых заготовок // Техническая брошюра [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dslib.net/cvetn-metallurgia/sovershenstvovanie-rezhimov-vtorichnogo-ohlazhdenija-sljabovyh-nepreryvnolityh.html>
3. **Ковалева И. А., Ходосовская Н. А., Гузова И. А., Демин А. В.** Исследование дефектов непрерывнолитой заготовки диаметром 200 мм и причин их образования в условиях ОАО «БМЗ» // Литье и металлургия. 2012. № 3 (66), pp. 59–62.
4. **Романцев Б. А., Гончарук А. В., Вавилкин Н. М., Самусев С. В.** Трубное производство. М.: МИСиС Издательский дом, 2011. 969 с.
5. **Смирнов А. Н., Куберский С. В., Штепан Е. В.** Непрерывная разливка стали. Донецк: ДонНТУ, 2011. 482 с.

REFERTNCES

1. **Pravosudovich V. V., Sokurenko V. P.** *Defekty stal'nyh slitkov i prokata* [Defects of steel ingots and rolled products]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2006, 382 p.
2. <http://www.dslib.net/cvetn-metallurgia/sovershenstvovanie-rezhimov-vtorichnogo-ohlazhdenija-sljabovyh-nepreryvnolityh.html>
3. **Kovaleva I. A., Hodosovskaja N. A.** Issledovanie defektov nepreryvnolitoj zagotovki diametrom 200 mm i prichin ih obrazovaniya v uslovijah OAO «BMZ» [Investigation of defects in continuously cast billets with a diameter of 200 mm and the causes of their formation in the conditions of BMZ]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 3(66), 59 p.
4. **Romancev B. A., Goncharuk A. V., Vavilkin N. M., Samusev S. V.** *Trubnoe proizvodstvo* [Pipe production]. Moscow, MISiS Izdatel'skij dom Publ., 2011, 969 p.
5. **Smirnov A. N., Kuberskij S. V., Shtepan E. V.** *Nepreryvnaja razlivka stali* [Continuous steel casting]. Doneck, DonNTU Publ., 2011, 482 p.