



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-69-72>  
УДК 669

Поступила 09.02.2023  
Received 09.02.2023

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТОВ, ОБНАРУЖЕННЫХ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ НА КОНЕЧНОМ ЭТАПЕ ПРОИЗВОДСТВА БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ

Е. А. НАУМЕНКО, О. В. РОЖКОВА, И. А. КОВАЛЕВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: [nti.to@bmz.gomel](mailto:nti.to@bmz.gomel)

*Дефекты на наружной поверхности бесшовных горячекатаных стальных труб образуются как в результате трансформации дефектов поверхности и макроструктуры исходной заготовки, так и вследствие несоблюдения технологии прокатки. Своевременное выявление дефектов и устранение причин их образования позволяют получить качественную продукцию с высокой эксплуатационной надежностью. Обнаружение нарушений технологии, контроль технологического процесса, проведение металлографических исследований дают возможность классифицировать дефекты и устанавливать природу и причины их образования.*

*В статье представлены результаты металлографического исследования дефекта на наружной поверхности горячекатаной бесшовной трубы. Определены генетические и морфологические признаки дефекта. Даны описания внешнего вида дефекта, микроструктуры в зоне дефекта. Проведен сравнительный анализ дефекта, обнаруженного при магнитопорошковом контроле, с дефектами на опытных трубных заготовках с нанесенными искусственными дефектами. На основании полученных данных определены причины образования дефекта, приведена его классификация.*

**Ключевые слова.** Металл, дефект, бесшовная стальная труба, сталеплавильные плены по риске, механическое повреждение, риска, микроструктура, причины образования, реактив «Nital», морфологические и генетические признаки, трансформация дефектов.

**Для цитирования.** Науменко, Е. А. Комплексное исследование характерных признаков дефектов, обнаруженных при магнитопорошковом контроле на конечном этапе производства бесшовных горячекатаных труб / Е. А. Науменко, О. В. Рожкова, И. А. Ковалева // Литие и металлургия. 2023. № 1. С. 69–72. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-69-72>.

## COMPREHENSIVE STUDY OF CHARACTERISTIC SIGNS OF DEFECTS DETECTED DURING MAGNETIC POWDER CONTROL AT THE FINAL STAGE OF PRODUCTION OF SEAMLESS HOT-ROLLED PIPES

Е. А. NAUMENKO, O. V. ROZHKOVA, I. A. KOVALEVA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: [nti.to@bmz.gomel](mailto:nti.to@bmz.gomel)

*Defects on the outer surface of seamless hot-rolled steel pipes are formed both as a result of the defects' transformation in the surface and macrostructure of the initial workpiece, and due to non-compliance with the rolling technology. Timely detection of defects and elimination of the causes of their formation, allows you to get high-quality products with high operational reliability. Detection of violations of technology, control of the technological process, carrying out metallographic studies allow classifying defects and establishing the nature and causes of their formation.*

*The article presents the results of a metallographic study of a defect on the outer surface of a hot-rolled seamless pipe. The genetic and morphological signs of the defect were determined. Descriptions of the appearance of the defect, the microstructure in the defect zone are given. A comparative analysis of the defect detected during magnetic powder control with defects on experimental pipe blanks with artificial defects was carried out. Based on the data obtained, the causes of the defect formation are determined, its classification is given.*

**Keywords.** Metal, defect, seamless steel pipe, steel-melting captives at mark, mechanical damage, mark, microstructure, causes of formation, reagent “Nital”, morphological and genetic signs, defects' transformation.

**For citation.** Naumenko E. A., Rozhkova O. V., Kovaleva I. A. Comprehensive study of characteristic signs of defects detected during magnetic powder control at the final stage of production of seamless hot-rolled pipes. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 1, pp. 69–72. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-69-72>.

На качество производимой продукции оказывает влияние множество факторов. Своевременное выявление причин образования дефекта имеет решающее значение в оперативном устранении нарушений технологического процесса.

Для достоверного установления причин образования дефекта часто необходимо использовать комплексную оценку с применением целого ряда методов. Это позволяет более четко определить признаки и принадлежность анализируемого дефекта [1].

Каждому дефекту присущ свой внешний вид и расположение на поверхности, а также во внутренних слоях металла изделия, своя форма полости и расположения структурных составляющих [2].

К характерным морфологическим признакам дефектов относятся конфигурация на поверхности и в поперечном сечении, расположение и повторяемость по периметру и длине (высоте) металла изделия, размеры (длина, ширина, глубина), расположение структурных составляющих и неметаллических включений в сечении, т.е. их строение.

К характерным генетическим признакам относятся: состав структурных составляющих металла вокруг дефектов; обезуглероживание; ликвация легкоплавких компонентов (P, S, As, Mn и др.); определенные неметаллические включения в полости дефектов на ее продолжении и вокруг нее; науглероживание, т.е. то, что появляется в литом металле и наследуется прокатом или появляется в нем и наследуется в результате дальнейшей деформации или других видов переработки и сохраняется в готовых изделиях [2].

Экспериментально установлено, что исходные дефекты при прокатке развиваются в обе стороны от очага разрушения. На их концах характерные изменения в микроструктуре не наблюдаются, так как развитие пороков заканчивается по «здоровому» металлу, постепенно затухая. Кроме того, ряд пороков слитков непрерывнолитой заготовки, имеющих прерывистое развитие (горячие кристаллизационные трещины, скопления экзогенных неметаллических включений и др.), раскатываются на промежуточных участках по «здоровому» металлу. Таким образом, участки с характерными изменениями микроструктуры вокруг полостей дефектов проката перемежаются с участками без изменений [2].

В настоящей работе представлены результаты исследования дефекта, выявленного на наружной поверхности бесшовной трубы в процессе магнитопорошкового контроля. Определены основные признаки и причины его образования с помощью проведенных комплексных исследовательских работ.

Для выполнения исследования отобрана проба трубы с дефектом на наружной поверхности. При осмотре под слоем окалина дефект наблюдался только на отдельных участках пробы. В зоне явно выраженного дефекта был вырезан поперечный образец для подготовки микрошлифа. Часть пробы для проведения визуального осмотра предварительно осветлили (травление в 50%-ном растворе соляной кислоты). В результате осмотра выявлен дефект в виде плотно прилегающего наслоения металла продольной ориентации, расположенного вдоль продольной оси трубы по винтовой линии (рис. 1).

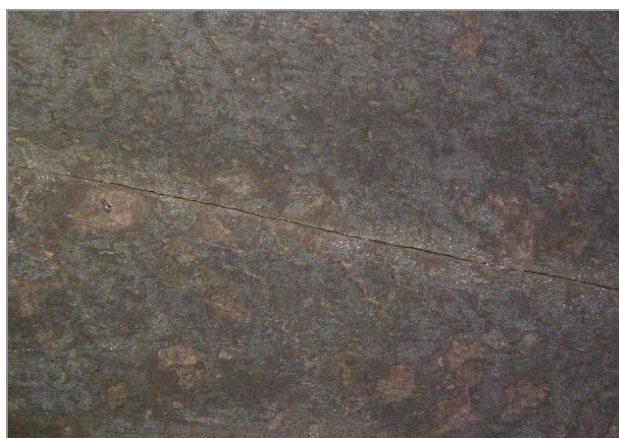


Рис. 1. Внешний вид поверхностного дефекта после удаления окалины травлением

Исследование зоны дефекта в микрошлифе в нетравленном виде выявило полость, раздвоенную на конце и расположенную под углом к поверхности, суживающуюся в глубину, стенки полости покрыты окалиной. Вдоль полости дефекта наблюдаются диффузионные оксиды. После травления микрошлифа в реактиве «Nital» отмечается обезуглероживание с плавным переходом к основной структуре (рис. 2, а, б). Ликвация легкоплавких компонентов вокруг полости дефекта после травления реактивом Обергоффера не выявлена. Глубина залегания дефекта в исследуемом сечении составила 1,44 мм.



Рис. 2. Дефект в поперечном сечении микрошлифа исследуемого образца. х50:  
а – без травления; б – травление в реактиве «Nital»

По установленным в результате металлографического исследования признакам определить природу образования дефекта затруднительно. С одной стороны, при исследовании дефекта по генетическим признакам выявлено наличие обезуглероживания, однако отсутствуют сегрегация и неметаллические включения вокруг и в продолжении полости дефекта. С другой стороны, наличие раздвоенного конца у полости дефекта при анализе его конфигурации (морфологический признак) не характерно для дефектов сталеплавильного происхождения.

Анализ обратной прослеживаемости производства плавки показал, что в процессе разливки непрерывнолитых заготовок диаметром 200 мм температурно-скоростные режимы разливки соответствовали рекомендованным значениям.

В рамках изучения трансформации дефектов, унаследованных с непрерывнолитой заготовки, была проведена исследовательская работа. На поверхность заготовки диаметром 200 мм были нанесены искусственные дефекты в виде глубоких рисок и произведена опытная прокатка. Внешний вид непрерывнолитой заготовки с нанесенными искусственными дефектами и микроструктура в зоне дефекта представлены на рис. 3, 4.

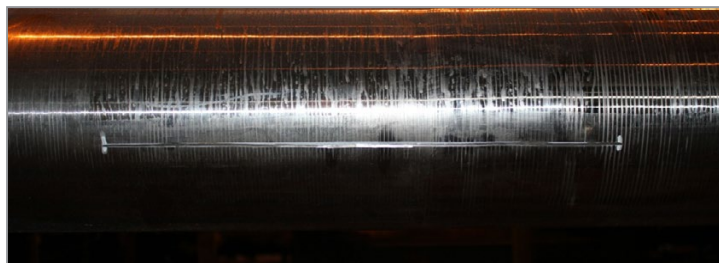


Рис. 3. Внешний вид непрерывнолитой заготовки с искусственно нанесенным дефектом

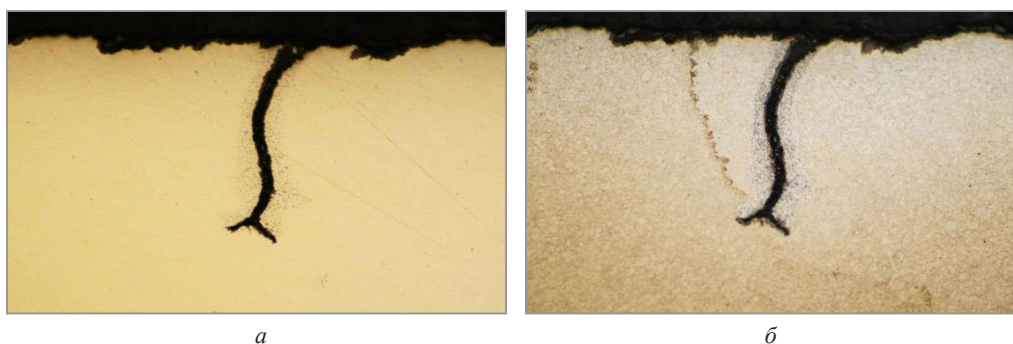


Рис. 4. Искусственно нанесенный дефект в поперечном сечении микрошлифа. х50:  
а – без травления; б – травление в реактиве «Nital»

При сравнении внешнего вида и микроструктуры дефектов выявили, что конфигурация дефектов, а также структурные составляющие на опытно-прокатанных трубных заготовках с нанесенными искусственными дефектами аналогичны дефекту, обнаруженному в процессе магнитопорошкового контроля.



В ходе осмотра поверхности трубных непрерывнолитых заготовок сечением 200 мм от исследуемой партии, не подвергнутых горячей прокатке, обнаружены механические повреждения, представляющие собой продольные прямолинейные канавкообразные углубления (рис. 5). Дефект классифицирован как риска. Появление рисков связано с механическим взаимодействием боковых граней непрерывнолитой заготовки с приварами капель застывшего металла или шлака, находящимися на поверхности направляющих роликов, роликов правки или неподвижных направляющих, при механическом воздействии заклиненных роликов.



Рис. 5. Риска на непрерывнолитой заготовке

В результате проведенных исследований установлено, что выявленные на наружной поверхности трубы дефекты в виде канавкообразных углублений образовались в результате трансформации рисков, унаследованных с непрерывнолитой заготовки.

### Выводы

Установлено, что дефект, выявленный в процессе магнитопорошкового контроля, имеет сталеплавильное происхождение. Дефект классифицирован как сталеплавильная плена (по риске).

В зависимости от вида проката в ряде случаев может изменяться внешний вид каждого типа дефекта на поверхности и поперечном сечении микрошлифов. Исследования металлопродукции с искусственно нанесенными дефектами помогли оперативно сравнить внешний вид, микроструктуры и определить признаки и причины образования несоответствующей продукции на конечной стадии производства труб.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дефекты стальных заготовок и металлопродукции: справ.-атлас / З.А. Микирова, Е.А. Перетягина, В.И. Грицаенко. Минск: «СтройМедиаПроект», 2019. 327 с.
2. Правосудович В.В., Сокуренок В.П., Данченко В.Н. и др. Дефекты стальных слитков и проката: справ. изд. М.: Интернет Инжиниринг, 2006. 384 с.

### REFERENCES

1. Mikirova Z.A., Peretjagina E.A., Gricenko V.I. *Defekty stal'nyh zagotovok i metalloprodukcii* [Defects in steel billets and metal products]. Minsk, StrojMediaProekt Publ., 2019. 327 p.
2. Pravosudovich V.V., Sokurenko V.P., Danchenko V.N. et. al. *Defekty stal'nyh slitkov i prokata* [Defects in steel ingots and rolled products]. Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 2006. 384 p.