



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-90-93>
УДК 669.01

Поступила 12.11.2020
Received 12.11.2020

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ДЕФЕКТОВ НА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМООБРАБОТАННЫХ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

О. В. РОЖКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская область, Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: fht.czl@bmz.gomel.by; тел. +375 29 3058200

Соблюдение технологии закалки обеспечивает получение качественного изделия с требуемыми свойствами. Нарушение режимов нагрева под закалку и охлаждения при закалке приводит к образованию таких дефектов, как мягкие пятна и закалочные трещины. Наличие мягких пятен в металле недопустимо по причине структурных напряжений и разности механических свойств между основным металлом и дефектными участками. Для устранения мягких пятен требуется повторная термообработка. Закалочные трещины возникают по причине внутренних напряжений, превышающих сопротивление разрушению, вследствие неодновременности превращений и теплового расширения и сжатия. Изделия с закалочными трещинами являются окончательным браком.

Исследованы мягкие пятна и термические трещины на наружной поверхности бесшовных труб, образовавшиеся в процессе термической обработки. Представлены результаты металлографических исследований микроструктуры в зоне дефектов, определены и изучены генетические и морфологические признаки дефектов. Структурная неоднородность подтверждена замерами твердости по методу Роквелла. На основании полученных данных определены причины образования дефектов.

Ключевые слова. Бесшовная труба, металл, дефект, закалка, микроструктура, твердость, мягкие пятна, закалочная трещина, причины образования.

Для цитирования. Рожкова, О. В. Исследование природы дефектов на наружной поверхности термообработанных бесшовных труб / О. В. Рожкова // Литье и металлургия. 2020. № 4. С. 90–93. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-90-93>.

INVESTIGATION OF THE NATURE OF DEFECTS ON THE OUTER SURFACE OF HEAT-TREATED SEAMLESS PIPES

O. V. ROZHKOVA, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya Str. E-mail: fht.czl@bmz.gomel.by; tel. +375 29 3058200

Compliance with the quenching technology ensures a high-quality product with the required properties. Violation of the modes of heating for quenching and cooling during quenching leads to the formation of defects such as soft spots and quenching cracks. The presence of soft spots in the metal is unacceptable due to structural stresses and the difference in mechanical properties between the base metal and the defective areas. To remove soft spots, repeated heat treatment is required. Quenching cracks occur due to internal stresses that exceed the resistance to destruction, due to non-simultaneous transformations and thermal expansion and compression. Products with quenching cracks are the final rejects.

The article examines soft spots and thermal cracks on the outer surface of seamless pipes formed during heat treatment. The results of metallographic studies of the microstructure in the defect zone are presented, and the genetic and morphological features of defects are determined and studied. The structural heterogeneity was confirmed by Rockwell hardness measurements. Based on the data obtained, the causes of defects were determined.

Keywords. Seamless pipe, metal, defect, quenching, microstructure, hardness, soft spots, quenching crack, causes of formation.

For citation. Rozhkova O. V. Investigation of the nature of defects on the outer surface of heat-treated seamless pipes. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 4, pp. 90–93. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-4-90-93>.

Получение качественного изделия в процессе производства обусловлено различными факторами. Для своевременного устранения нарушений технологического процесса требуется оперативно определить причину образования дефектов.

Нарушение технологических режимов закалки приводит к образованию ряда дефектов. Мягкие пятна являются дефектом микроструктуры металла. Визуально дефект не виден и выявляется контролем твердости и микроструктуры металла после термообработки. Мягкие пятна представляют собой неоднородность мартенсита из-за наличия в нем структурных составляющих с более низкой

твердостью – зерен феррита, продуктов высокотемпературного распада аустенита, повышенного количества остаточного аустенита [1]. Мягкие пятна в металле готового изделия недопустимы из-за разности механических свойств между основным металлом и дефектными участками в микроструктуре, а также из-за структурных напряжений [1].

Возникновение в металле структурных напряжений в процессе закалки приводит к образованию дефекта «закалочная трещина». Зачастую трещины плохо видны из-за слоя окалины и малой ширины. Для выявления изделий с трещинами применяют ультразвуковой контроль.

В настоящей работе приведены результаты металлографического исследования дефектов на наружной поверхности термообработанных труб, определены и изучены генетические и морфологические признаки дефектов, классифицированы дефекты и определены причины образования.

Для труб ответственного назначения, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, при повышенных и пониженных температурах, в специальных агрессивных средах, как правило, после горячей прокатки проводят термообработку. После прохождения требуемых режимов нагрева и охлаждения трубы подвергаются визуальному, ультразвуковому контролю и др.

В процессе ультразвукового контроля термообработанных труб на наружной поверхности были выявлены дефекты.

При визуальном осмотре поверхности труб обнаружены узкие разрывы металла с извилистыми краями поперечного направления. Для проведения металлографических исследований отобраны три образца. Из двух образцов труб по месту расположения дефектов вырезаны образцы продольного сечения относительно оси трубы, у третьего образца в месте дефекта сошлифована наружная поверхность и подготовлены микрошлифы для исследования.

В результате исследования на всех образцах труб обнаружены извилистые полости, межкристаллитные, концы полостей тонкие, стенки полостей покрыты окалиной. Неметаллических включений в полостях и вдоль полостей дефектов не выявлено.

На одном из продольных микрошлифов обнаружен дефект, не вышедший на поверхность. Максимальная длина дефектов в исследуемых сечениях образцов труб составила 1,4 – 7,18 мм. Глубина залегания дефектов в исследуемых сечениях продольных образцов труб составила 1,64 мм.

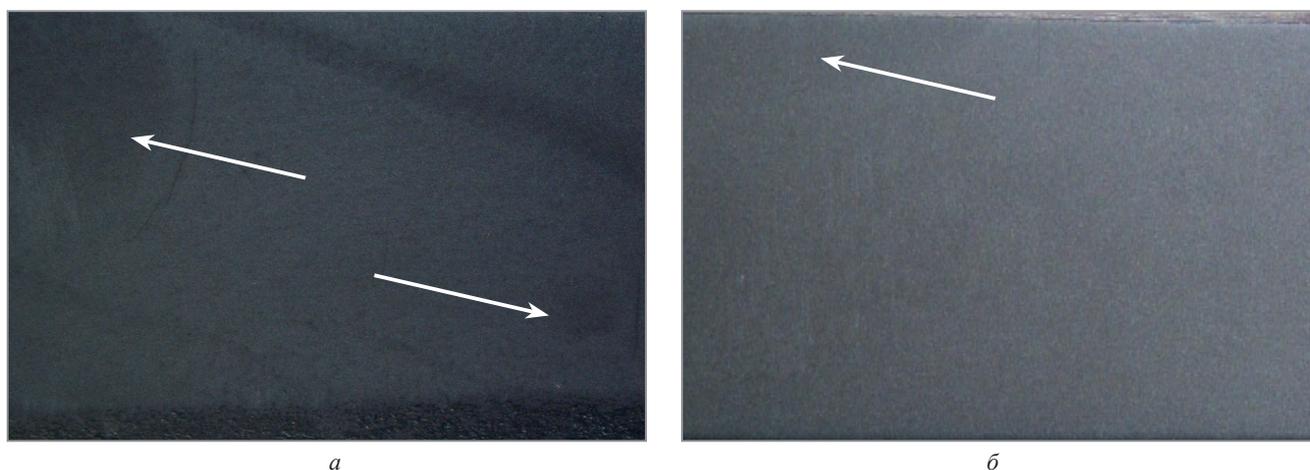


Рис. 1. Внешний вид микрошлифов труб после травления в реактиве «Nital 4%» (стрелкой показаны участки повышенной травимости): *а* – образец со сошлифованной поверхностью; *б* – образец продольного сечения

Анализ микроструктуры металла в области дефектов показал, что обезуглероживания участков с ликвацией легкоплавких компонентов, а также диффузионных оксидов в зонах расположения дефектов не выявлено.

Классификация дефектов проведена на основании внешних признаков и микроструктурных особенностей.

Характерными генетическими признаками для выявленных дефектов являются извилистое, межкристаллитное расположение полостей дефектов; отсутствие в районе дефектов неметаллических включений, участков с ликвацией легкоплавких компонентов, а также диффузионных оксидов.

По результатам исследования дефекты классифицированы как закалочные трещины.

Микроструктура в зоне дефектов показана на рис. 2, *а, б*, 3, *а, б*.



Рис. 2. Микроструктура образца трубы после травления в реактиве «Nital 4%». $\times 500$:
a – микроструктура основного металла; *б* – участок повышенной травимости

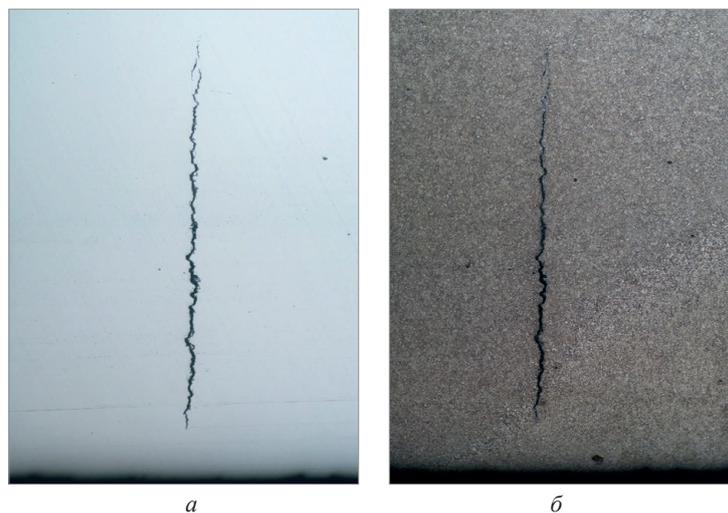


Рис. 3. Микроструктура образца трубы в зоне закалочной трещины. $\times 50$:
a – не травлено; *б* – после травления в реактиве «Nital 4%»

При визуальном осмотре образцов после травления в реактиве «Nital 4%» обнаружена явно выраженная микроструктурная неоднородность в виде участков повышенной травимости. Исследуемые трещины расположены вблизи участков повышенной травимости (см. рис. 1 *a*, *б*).

При исследовании микроструктуры выявлена неоднородность из-за наличия структурной составляющей с более низкой твердостью – феррит. Микроструктура основного металла представляет собой бейнит, участки со структурой, отличной от основного металла, имеют бейнито-ферритную структуру. Участки повышенной травимости классифицированы как мягкие пятна.

С целью определения природы образования участков повышенной травимости и закалочных трещин проведен замер твердости методом Роквелла. Измерены зона выявленных участков и зона основного металла. Результаты замеров приведены в таблице.

Твердость образцов труб по методу Роквелла

Номер образца	Место замера твердости	Среднее значение твердости HRC согласно ISO 6508-1
1	Структура основного металла	35,1
	Участки повышенной травимости	29,9
2	Структура основного металла	33,8
	Участки повышенной травимости	29,8
3	Структура основного металла	35,3
	Участки повышенной травимости	31,2

Из таблицы видно, что участки повышенной травимости, вблизи которых расположены закалочные трещины, имеют более низкие значения твердости, чем твердость основного металла трубы на 4–5 HRC.

Рассмотрим механизм развития закалочных трещин относительно участков повышенной травимости. Трещины располагаются в начале зоны бейнита, т.е. в зоне, где исчезают следы мягких пятен, и находятся в зоне с максимальным объемом, так как под влиянием различных температур нагрева по глубине изделия должна образоваться зона стали с максимальным объемом. При увеличении феррита в структуре удельный объем стали уменьшается, а под действием повышающегося содержания углерода – увеличивается.

В области максимального удельного объема возникают напряжения сжатия, а в областях с меньшим удельным объемом – напряжения растяжения. Следовательно, в направлении от трещины к мягким пятнам удельный объем стали уменьшается под влиянием увеличивающегося содержания феррита, а в направлении к основной структуре металла удельный объем стали уменьшается под влиянием снижающегося содержания углерода [2].

Выводы

В результате проведенной работы установлено, что признаков, характерных для дефектов сталеплавильного и трубопрокатного производства, в микроструктуре исследуемых микрошлифов труб в зоне дефектов не выявлено. Участки повышенной травимости, вблизи которых расположены закалочные трещины, имеют более низкие значения твердости, чем твердость основного металла трубы.

Дефекты образовались в процессе закалки из-за резкого перепада температур, вызвавшего неравномерность мартенситного превращения. Резкий перепад температур возник вследствие нарушения режимов термообработки (недостаточный прогрев или недостаточно интенсивное охлаждение).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Правосудович В. В., Сокуренок В. П., Данченко В. Н. и др.** Дефекты стальных слитков и проката: спр. изд. М.: Интернет Инжиниринг, 2006. 384 с.
2. **Малинкина Е. И.** Образование трещин при термической обработке стальных изделий: изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1965.

REFERENCES

1. **Pravosudovich V.V., Sokurenko V.P., Danchenko V.N.** *Defekty stal'nyh slitkov i prokata* [Defects in steel ingots and rolled products]. Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 2006, 384 p.
2. **Malinkina E.I.** *Obrazovanie treshhin pri termicheskoy obrabotke stal'nyh izdelij* [Cracking during heat treatment of steel products]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965.