

УДК 621.64

ПРИЧИНА ФОРМИРОВАНИЯ РАСЩЕПЛЕНИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ТМСР*

*Данилов С.В.¹, аспирант кафедры «Термообработка
и физика металлов» (s.v.danilov@bk.ru)*

Струина Е.Р.², младший научный сотрудник

Бородина М.Д.¹, магистрант кафедры «Термообработка и физика металлов»

¹ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

² ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (РосНИТИ)
(454139, Россия, Челябинск, ул. Новороссийская, 30)

Аннотация. Методом ориентационной микроскопии исследована текстура листов малоуглеродистой низколегированной трубной стали с бейнитной структурой, полученных контролируемой термомеханической обработкой. Проанализированы образцы, склонные и не склонные к образованию расщеплений (вторичных трещин) в изломе при проведении механических испытаний. Показано, что образование расщеплений связано с наличием в материале вытянутых в направлении контролируемой горячей прокатки областей, состоящих из мелких кристаллитов с однородной ориентировкой (001)[110]. Предположительно формирование областей является следствием особенностей $\gamma \rightarrow \alpha$ сдвигового превращения при различных параметрах обработки.

Ключевые слова: трубные стали, текстура, контролируемая термомеханическая обработка, расщепления, ориентационная микроскопия.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-3-247-249

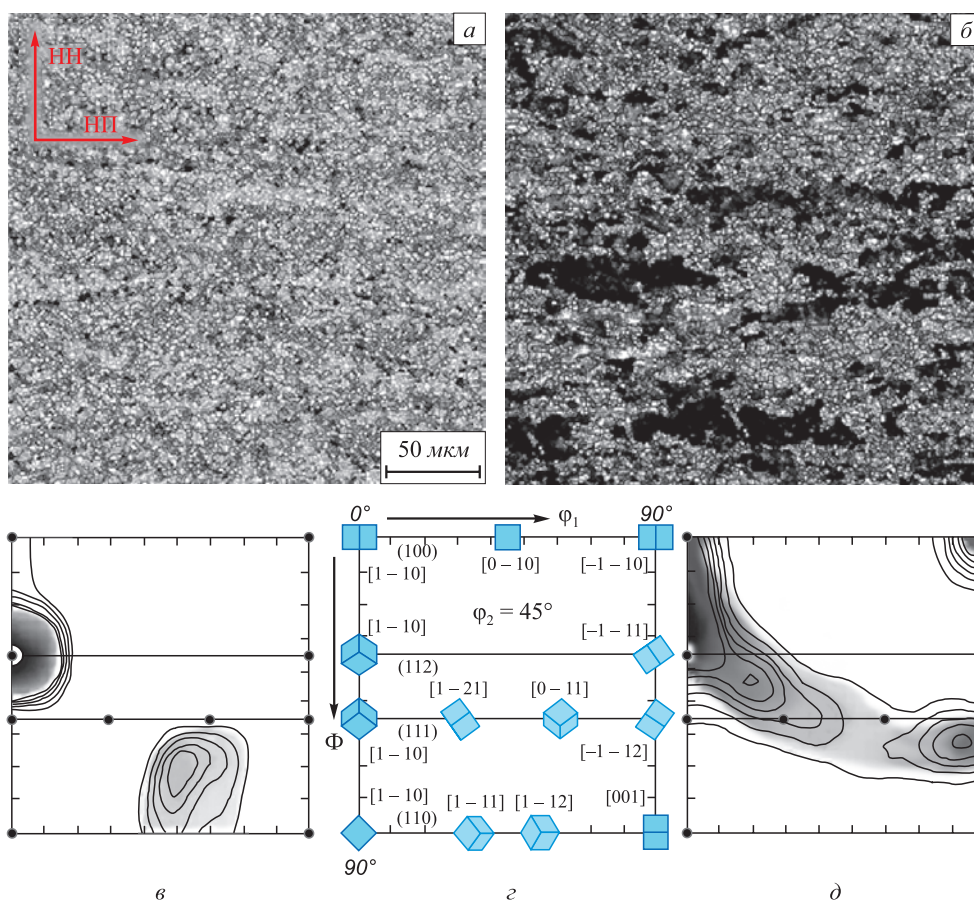
Развитие нефтегазового комплекса влечет за собой необходимость реконструкции и прокладки новых трубопроводов, способных работать в сложных климатических условиях. Внедрение контролируемой термомеханической обработки (ТМСР – Thermo-Mechanical Controlled Processing) в производство проката малоуглеродистых низколегированных трубных сталей повышенной прочности (класса K60 и выше) позволяет снизить металлоемкость и обеспечить надежность строящихся магистральных трубопроводов. Важным требованием к структуре подобных сталей является обеспечение крайне высокого уровня трещиностойкости [1].

Определенной проблемой как в трубопроводах, так и в изломах механически испытанных образцов трубных сталей является появление вторичных трещин – расщеплений (separations или splitting), распространяющихся перпендикулярно плоскости магистральной трещины [2]. Возникновение расщеплений обусловлено особенностями формирования микроструктуры при обработке листа, что подтверждается их строгой ориентацией вдоль направления прокатки (НП) и позволяет связать их образование с наличием кристаллографической текстуры [3].

Для исследования использовались две серии образцов, отобранных от листов малоуглеродистой низколегированной трубной стали типа 06Г2МБ после ТМСР с бейнитной структурой. Образцы представляли собой полную толщину листов, имели близкие уровни механических свойств ($\sigma_{0,2} = 565 - 575$ МПа, $\sigma_B = 640 - 650$ МПа) и при этом демонстрировали различную склонность к формированию в изломах расщеплений: С – склонная, Н – не склонная.

Металлографическое исследование показало схожесть структуры всех образцов как в поверхностных, так и в центральных слоях проката. Структура состояла из сильно фрагментированных кристаллитов (0,5 – 5,0 мкм), несколько вытянутых (от 1:1 до 5:1) под углами $\sim 0,30$ и 90° к НП, имеющих форму мелких пластин. Методом ориентационной микроскопии (EBSD) с помощью ориентационных карт (см. рисунок, а, б) и функции распределения ориентировок (см. рисунок, в – д) была исследована текстура образцов. Как в поверхностных, так и в центральных слоях текстура всех образцов содержит одни и те же рассеянные компоненты: сильно выраженную $\{112\}\langle 110 \rangle$ и нескольких слабо выраженных, включая ориентировку (001)[110]. Заметное отличие образцов серий С от Н – более сильно выраженная ориентировка (001)[110] в первых (см. рисунок, в – д). Причем кристаллиты с ориентировкой, близкой к (001)[110], в образцах серии С образуют протяженные однородные

* Работа выполнена при финансовой поддержке: постановление № 211 Правительства РФ, контракт № 02.А03.21.0006 и в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 11.1465.2014/К.



Текстура листов трубной стали типа 06Г2МБ после ТМСП не склонных (а, в) и склонных (б, д) к образованию расщеплений:

а, б – ориентационные карты с поперечного направления с выделением (черным цветом) ориентировки $\sim (001)[110]$; в, д – сечение пространства углов Эйлера ($\varphi_2 = 45^\circ$) областей, приведенных на а и б соответственно; г – сетка (по Бунге), соответствующая в и д с нанесением основных идеальных ориентировок в виде элементарных кристаллографических ячеек (вид с поперечного направления)

Texture of pipe steel after TMCP with low (a, в) and high (б, д) fission formation:

а, б – EBSD maps with $(001)[110]$ orientation shown in black; в, д – orientation distribution function (ODF) section at $\varphi_2 = 45^\circ$ for the areas shown in а and б, respectively. г – the same section of Euler angles space showing the position of main ideal orientations

по микротекстуре вытянутые в НП области (см. рисунок, б). Наличие этих областей является основной причиной склонности материала к образованию расщеплений. Объемные области с большим количеством плоскостей $\{001\}$, по которым происходит скол в ОЦК-Fe, позволяют с минимальным сопротивлением развиваться микротрещинам параллельно плоскости прокатки до размеров, превышающих критический, с последующим разрушением материала. По-видимому, формирование данных областей может быть объяснено особенностями $\gamma \rightarrow \alpha$ сдвигового превращения, реализующегося на специальных межзеренных границах [4], наличие и состояние которых в аустените определяется параметрами ТМСП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов М.А., Пышминцев И.Ю., Борякова А.Н. К вопросу о классификации микроструктур низкоуглеродистых трубных сталей // *Металлург*. 2010. № 7. С. 45 – 51.
2. Арабей А.Б., Пышминцев И.Ю., Фарбер В.М. и др. Особенности разрушения трубных сталей класса прочности X80 (K65) // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2012. № 3. С. 12 – 19.
3. Pyshmintsev I., Gervasyev A., Petrov R.H. etc. Crystallographic texture as a factor enabling ductile fracture arrest in high strength pipeline steel // *Materials Science Forum*. 2012. Vol. 702 – 703. P. 770 – 773.
4. Русаков Г.М., Лобанов М.Л., Редикульцев А.А., Беляевских А.С. Специальные разориентации и текстурная наследственность в техническом сплаве Fe-3%Si // *Физика металлов и металловедение*. 2014. Т. 115. № 8. С. 827 – 838.

Поступила 22 декабря 2015 г.

CAUSE OF FISSION FORMATION AT DESTRUCTION OF PIPE STEELS PRODUCED BY TMCP

S.V. Danilov¹, E.R. Struina², M.D. Borodina¹¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia.² Russian Scientific Research Institute of the Pipe Industry, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Texture of low carbon microalloyed steel sheets with bainitic microstructure produced by TMCP (thermo-mechanical controlled processing) was investigated using EBSD (electron backscatter diffraction) technique. Samples with high and low penchant for fission formation (secondary cracks at the fracture surface) were investigated. Formation of fission relates with the elongated areas of grades which have uniform orientation (001)[110]. Probably the formation of these areas is a result of features of $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at different parameters of TMCP.

Keywords: pipe steel, texture, thermo-mechanical controlled processing, separation, EBSD.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-3-247-249

REFERENCES

1. Smirnov M.A., Pyshmintsev I.Yu., Boryakova A.N. Classification of low-carbon pipe steel microstructures. *Metallurgist*. 2010, vol. 54, no. 7, pp. 444–454.
2. Arabei A.B., Pyshmintsev I.Yu., Farber V.M., Khotinov V.A., Struina A.O. Failure of pipe steel of X80 (K65) strength class. *Steel in Translation*. 2012, vol. 42, no. 3, pp. 212–218.
3. Pyshmintsev I., Gervasyev A., Petrov R.H., Olalla V.C., Kestens L. Crystallographic Texture as a Factor Enabling Ductile Fracture Arrest in High Strength Pipeline Steel. *Materials Science Forum*. 2012, vol. 702–703, pp. 770–773.
4. Rusakov G.M., Lobanov M.L., Redikul'tsev A.A., Belyaevskikh A.S. Special Misorientations and Textural Heredity in the Commercial Alloy Fe–3% Si. *The Physics of Metals and Metallography*. 2014, vol. 115, Issue 8, pp. 775–785.

Acknowledgements. The work was supported by the Resolution no. 211 of the Russian Government, the contract no. 02.A03.21.0006 and within the public tasks of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the project no. 11.1465.2014/K.

Information about the authors:

S.V. Danilov, Postgraduate of the Chair “Heat Treatment and Physics of Metals” (s.v.danilov@bk.ru)

E.R. Struina, Junior Researcher

M.D. Borodina, MA student of the Chair “Heat Treatment and Physics of Metals”

Received December 22, 2015