

УДК 620.19

### ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОКАТЕ

*Н. А. ГЛАЗУНОВА, начальник лаборатории металловедения центральной заводской лаборатории, ntv.czl@bmtz.gomel.by; С. В. СТЕФАНОВИЧ, ведущий инженер лаборатории металловедения центральной заводской лаборатории; В. С. ПУТЕЕВ, заместитель начальника технического управления (по металлургическому производству) (ОАО “Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга “Белорусская металлургическая компания”, Республика Беларусь, г. Жлобин)*

**Аннотация.** Повышенные требования к качеству поверхности горячекатаного проката, применяемого в автомобилестроении, и стремление снизить отсортировку металла с поверхностными дефектами обуславливают необходимость повышения качества поверхности исходной непрерывнолитой заготовки (НЛЗ). К дефектам поверхности НЛЗ относятся трещины, образовавшиеся в процессе кристаллизации, которые при горячей деформации трансформируются в поверхностные дефекты проката. Представлена классификация дефектов, рассмотрены причины образования поперечных трещин на НЛЗ и места их расположения. В ходе эксперимента исследованы пробы, вырезанные из двух НЛЗ в месте визуально выявленных поперечных трещин после дробеструйной обработки и горячего травления в 50 %-м растворе соляной кислоты. Поперечные трещины на поверхности одной из проб выявлены в зоне большой грани, а на второй — на одном из ребер. От проб в месте расположения поперечных трещин были вырезаны продольные микрошлифы. При исследовании микрошлифов выявлены множественные трещины. Ширина раскрытия трещин различна — от 0,01 до 0,3 мм, глубина залегания в исследуемом сечении — до 10 мм. На оставшихся частях блюмов место расположения поперечных трещин отметили надрезами с двух сторон (метод “меченых” дефектов). После этого блюмы были прокатаны на сортовом одно-клетевом реверсивном стане 850 до диам. 100 мм. При визуальном осмотре поверхности проката, полученного с дефектных НЛЗ, в отмеченной зоне выявлены поверхностные дефекты в виде несплошностей, представляющих собой разрывы металла продольной и поперечной ориентации, местами языкообразной формы. Степень развития дефектов зависит от глубины и места расположения трещин на исходной НЛЗ. Дефекты, месторасположение которых соответствует грани НЛЗ, имеют меньшее раскрытие, а дефекты, месторасположение которых соответствует ребру исходной заготовки, имеют вид грубых рванин. Для металлографического исследования в местах расположения дефектов на поверхности проката вырезаны поперечные образцы. На поперечных микрошлифах полости дефектов имеют несколько ответвлений, стенки полостей извилистые, вокруг и в продолжение ветвей полостей наблюдается скопление мелких глобулярных оксидов, массивное обезуглероживание. Дефекты поверхности проката классифицированы как раскатанные трещины (поперечные). Глубина трещин в исследуемых сечениях составила 0,6–3,5 мм. В данной работе рассмотрена трансформация поперечных трещин НЛЗ в прокате. По результатам исследований правильно классифицированы поверхностные дефекты проката и выявлены причины их образования, что позволит устранить их возникновение в дальнейшем. На основе правильной классификации и устранения причин образования поверхностных дефектов существенно снизится отсортировка проката по поверхностным дефектам.

**Ключевые слова:** дефекты поверхности непрерывнолитой заготовки, метод “меченых” дефектов, поверхностные дефекты проката, степень развития дефектов, раскатанные трещины.

**Ссылка для цитирования:** Глазунова Н.А., Стефанович С.В., Путеев В.С. Трансформация поперечных трещин непрерывнолитой заготовки в прокате // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 8. С. 930–935.

**Doi:** 10.32339/0135-5910-2019-8-930-935

## TRANSFORMATION OF CROSS CRACKS OF CONTINUOUSLY CASTED BILLET IN ROLLED PRODUCT

N. A. GLAZUNOVA, Head of metal science Lab., Central Plant Lab., nmv.czl@bmz.gomel.by;  
S. V. STEFANOVICH, Leading specialist of metal science Lab., Central Plant Lab.;  
V. S. PUTEEV, Deputy Head of Technical Dpt. (metallurgical production)  
(OJSC "Belorussky steel-works – managing company of holding  
"Belorusskaya metallurgical company", Republic of Belarus', Zhlobin)

**Abstract.** Increased requirements to the surface quality of hot-rolled products used in automobiles manufacturing and endeavor to decrease rejections of the metal with surface defects, stipulate the necessity to increase the quality of the initial continuously casted billet (CCB). Cracks, formed in the process of crystallization, which are transformed into surface defects of rolled products during hot deformation are attributed to the surface defects of CCB. Classification of defects presented, reasons of cross cracks on CCB and their locations considered. In the course of the experiment the samples, cut from two CCBs in the place, where cross cracks were visually revealed after shot blasting and hot etching in the 50% solution of chloric acid. The cross cracks on the surface of a sample were revealed in the zone of the big side, and the other – on a rib. The longitudinal polished sections were cut from the place of cross cracks location. At the study of the polished sections multiple cracks were discovered. The width of cracks opening was different – from 0.01 up to 0.3 mm, depth in the section of the study – up to 10 mm. The locations of the cross cracks on the billets were marked by notches from two sides (method of "marked" defects). After that the billets were rolled at a one-stand reversible mill 850 for the diameter of 100 mm. At the visual inspection of the rolled product surface, obtained from the defect CCB, surface defects in the form of discontinuity flaws were discovered. The discontinuity flaws looked as metal ruptures of longitudinal and cross orientation and sometimes having a form of tongue. The degree of defects development depends on the depth and the crack location on the initial CCB. The defects which location corresponds to the CCB side have less opening, and defects which location corresponds to the initial billet rib looked as a rough fissure. Cross samples were cut in the places of defects locations on the surface of rolled product for metal science study. At the cross polished sections the defect cavity have several branches, the cavity walls are twisting, around the cavity branches and next to them, aggregation of small globular oxides and massive decarburization were observed. The defects of rolled products surface were classified as rolled-out cracks (cross orientation). The cracks depth in the section under study was 0.6–3.5 mm. Based on the results of the study the surface defects of rolled products were properly classified and reasons of their arising revealed, that will allow avoiding their formation in the future. Based on the proper classification and avoiding of the surface defects reasons, the rolled products rejects by surface defects will be considerably decreased.

**Key words:** surface defects of continuously casted billet, method of "marked" defects, rolled product surface defects, degree of defect development, rolled-out cracks.

**For citation:** Glazunova N.A., Stefanovich S.V., Puteev V.S. Transformation of cross cracks of continuously casted billet in rolled product. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tehnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 8, pp. 930–935. (In Russ.).

**Doi:** 10.32339/0135-5910-2019-8-930-935

В настоящее время большим спросом пользуется горячекатаный прокат, применяемый в автомобилестроении, к качеству поверхности которого предъявляются достаточно жесткие требования — глубина дефектов не должна превышать 0,2 мм. Для минимизации отсортировки проката из-за наличия поверхностных дефектов необходимо правильно классифицировать дефект и определить причину его образования. Мелкие дефекты поверхности непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) в основном механического происхождения (риски, царапины, вмятины) не оказывают влияния на качество поверхности проката. Дефекты поверхности НЛЗ, полученные в процессе кристаллизации, такие как трещины, трансформируются при горячей деформации в поверхностные дефекты проката.

Наиболее распространенным дефектом поверхности НЛЗ являются трещины, которые по расположению разделяют на продольные и поперечные.

Периодически на поверхности проката выявляются дефекты, имеющие вид рванин и превышающие допустимую глубину. Такой внешний

вид дефектов поверхности проката характерен как для раскатанных сетчатых (паукообразных), так и поперечных трещин.

Для исследования трансформации дефектов исходной НЛЗ, классификации дефектов, определения их влияния на качество поверхности сортового проката и устранения причин образования поверхностных дефектов специалистами лаборатории металловедения центральной заводской лаборатории и технического управления проведены экспериментальные исследования.

Поперечные трещины могут располагаться как на ребрах, так и на поверхности граней НЛЗ. Чаще всего они располагаются по впадинам складок от возвратно-поступательного движения стола качания кристаллизатора [1].

Причин образования поперечных трещин много. На гранях НЛЗ поперечные трещины образуются из-за растягивающих напряжений, возникающих от усилий, создаваемых тянущими роликами и сопротивлением, оказываемым перемещению слитка в кристаллизаторе или в зоне вторичного охлаждения [2].

Поперечные трещины по складкам появляются при подвешивании слитка в углах кристаллизатора, наличии усадочных напряжений в продольном направлении (переохлаждение ребер слитка), недостаточной толщине и прочности поверхностной корочки затвердевшего металла, неудовлетворительной работе механизма стола качания кристаллизатора, использовании несоответствующей шлакообразующей смеси, износе гильзы кристаллизатора, колебании уровня металла в кристаллизаторе, избыточном вторичном охлаждении и других сопутствующих причинах [3, 4].

Визуально на поверхности НЛЗ поперечные трещины из-за их малого размера трудно выявить или они могут быть спрятаны в складках [1], но они легко выявляются после дробеструйной обработки поверхности или химического удаления поверхностной окалины.

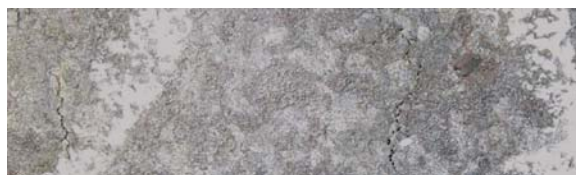
Для эксперимента выделили две НЛЗ (одна из которых показана на рис. 1) с выявленными после визуального осмотра с помощью лупы при увеличении  $\times 15$  поперечными трещинами, расположенными на одной из больших граней и на ребре. Поверхность выделенных блюмов обрабатывали дробью (удалили поверхностную окалину), после чего еще раз произвели осмотр поверхности граней и ребер. На одном блюме (произвольно замаркированном как № 1) при повторном осмотре выявлены поперечные трещины на одной из больших граней, расположенные ближе к ребру, на другом блюме (№ 2) выявлены поперечные трещины, расположенные по складкам одного из ребер. От дефектных блюмов отобраны пробы для исследования.

От проб блюмов исследованы “горбушки”, вырезанные в месте расположения поперечных трещин. После горячего травления в 50 %-м растворе соляной кислоты [5] проведен осмотр поверхности “горбушек”. На поверхности “горбушек” в зоне большой грани (рис. 2) и на одном из ребер (рис. 3) четко видны поперечные трещины.



**Рис. 1.** Внешний вид выделенного блюма с поперечными трещинами на одной из больших граней

**Fig. 1.** External view of the selected bloom with cross cracks at one of large sides



**Рис. 2.** Поперечные трещины на большой грани НЛЗ (после дробеструйной обработки поверхности)

**Fig. 2.** Cross cracks at a large side of a CCB (after shot blasting of the surface)



а



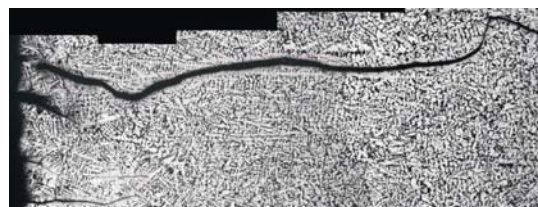
б

**Рис. 3.** Поперечные трещины на ребрах НЛЗ: а — после дробеструйной обработки поверхности; б — после удаления поверхностной окалины травлением

**Fig. 3.** Cross cracks at CCB ribs: а — after shot blasting of the surface; б — after removal of surface scales by etching

От “горбушек” в месте расположения поперечных трещин вырезали и исследовали продольные микрошлифы.

При исследовании продольного сечения микрошлифов выявлены множественные трещины. Ширина раскрытия трещин различна — от 0,01 до 0,3 мм, глубина залегания в исследуемом сечении — до 10 мм (рис. 4).



**Рис. 4.** Микроструктура в зоне поперечных трещин в продольном сечении микрошлифа НЛЗ после травления в реактиве Nital,  $\times 50$

**Fig. 4.** Microstructure in the cross cracks zone in longitudinal section of a CCB polished section after etching in Nital reagent,  $\times 50$

Оставшиеся части блюмов с поперечными трещинами прокатаны на сортовом одноклетевом реверсивном стане 850 до диам. 100 мм методом “меченых” дефектов. Метод заключается в том, что с двух сторон от выявленного дефекта на НЛЗ делаются надрезы (метки). Поверхность проката исследовалась в отмеченной зоне.

При визуальном осмотре поверхности проката, полученного с дефектных НЛЗ, выявлены поверхностные дефекты в виде несплошностей, представляющих собой разрывы металла продольной и поперечной ориентации, местами языкообразной формы [6]. Степень развития дефектов зависит от глубины и места расположения трещин на исходной НЛЗ. Дефекты, место расположения которых соответствует грани НЛЗ, имеют меньшее раскрытие (рис. 5), дефекты, месторасположение которых соответствует ребру исходной заготовки, имеют вид грубых рванин (рис. 6).



**Рис. 5.** Внешний вид дефектов поверхности проката (расположение дефекта соответствует одной из больших граней НЛЗ)

**Fig. 5.** External view of rolled products surface defects (the defect location corresponds to a large side of CCB)



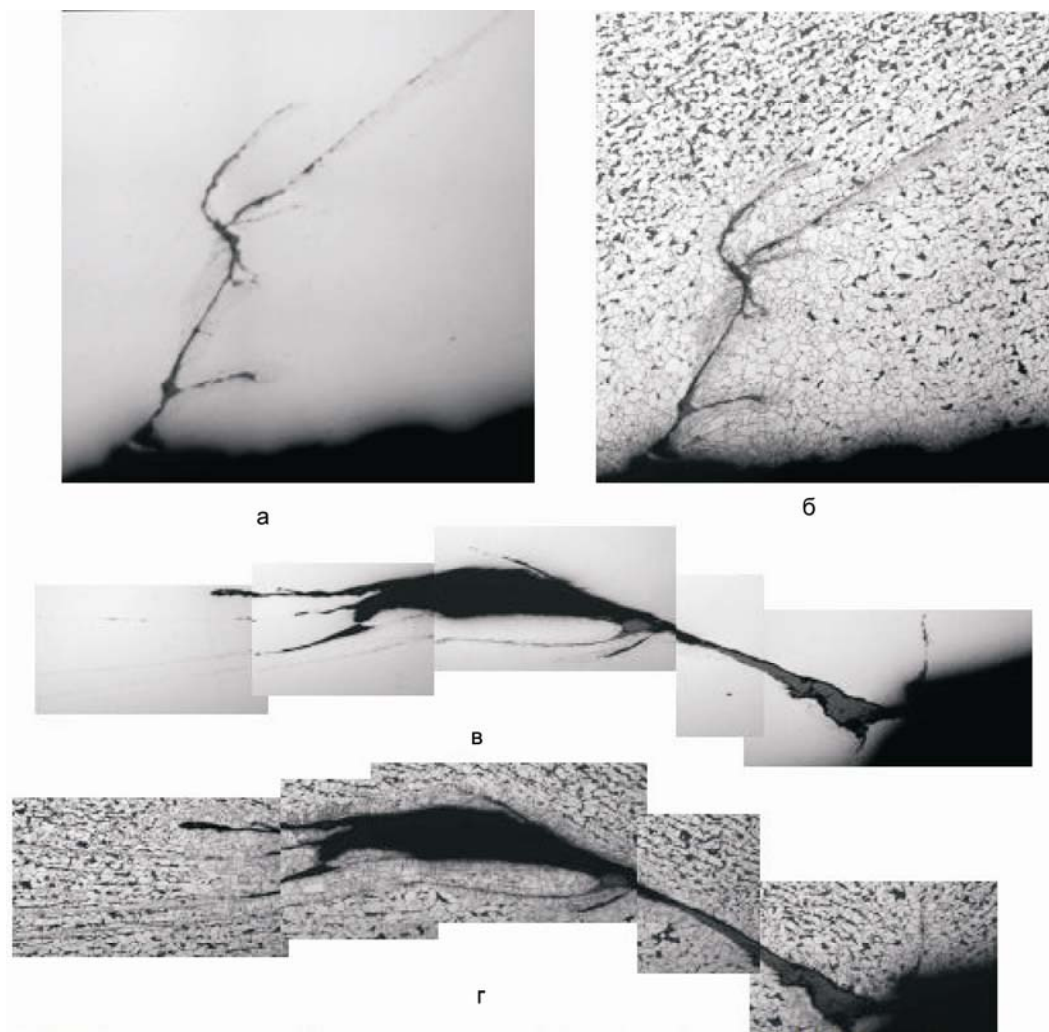
**Рис. 6.** Внешний вид дефектов поверхности проката (расположение дефекта соответствует ребру НЛЗ)

**Fig. 6.** External view of rolled products surface defects (the defect location corresponds to a rib of CCB)

Для металлографического исследования в местах расположения дефектов на поверхности проката вырезаны поперечные образцы. На поперечных микрошлифах полости дефектов имеют несколько ответвлений, стенки полостей извилистые, вокруг и в продолжение ветвей полостей наблюдается скопление мелких глобулярных оксидов, массивное обезуглероживание (рис. 7, 8). Дефекты поверхности проката классифицированы как раскатанные трещины (поперечные) [7]. Глубина трещин в исследуемых сечениях составила 0,6–3,5 мм.

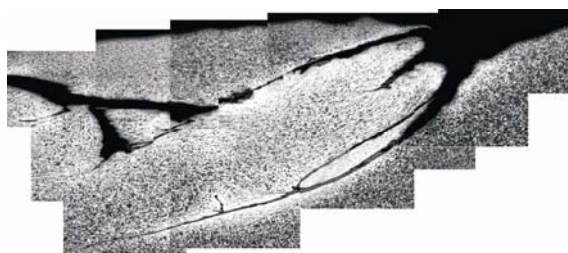
Как уже отмечалось, причины образования поперечных трещин (по ребру или грани слитка) различны. В данном случае были известны нарушения при разливке стали, которые явились причинами образования поперечных трещин — это использование гильзы кристаллизатора, стойкость которой превышала допустимую, и использование опытной шлакообразующей смеси от альтернативного поставщика, которая не подошла для данной марки стали. Для каждой марки стали подбирается соответствующая шлакообразующая смесь по параметрам вязкости, температуры плавления, химического состава и влиянию на качество поверхности слитка.

Стойкость гильзы кристаллизатора определяется состоянием покрытия и наличием механических повреждений. Согласно рекомендациям изготовителя для данного сортамента стойкость гильзы составляет 500 плавов. Для эксперимента металл разливался в гильзу кристаллизатора, при осмотре которой выявлен износ нижней части (рис. 9). Покрытие на углах гильзы разрушено, оголилась медная основа, из-за чего изменяется теплопроводность такой гильзы и условия кристаллизации (увеличивается теплоотвод в углах кристаллизатора).



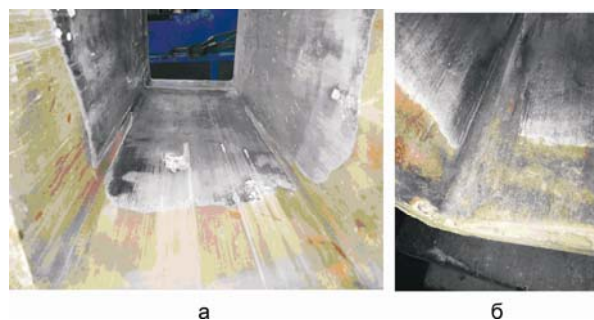
**Рис. 7.** Микроструктура в зоне дефектов (расположение дефектов соответствует одной из больших граней) в поперечном сечении микрошлифов горячекатаной заготовки диам. 100 мм: а, в — шлиф не травлен; б, г — шлиф после травления в реактиве Nital,  $\times 100$

**Fig. 7.** Microstructure in the defects zone (the defect location corresponds to a large side), cross section of a polished section, hot rolled billet of 100 mm diameter: а, в — the polished section not etched; б, г — the polished section after etching in Nital reagent,  $\times 100$



**Рис. 8.** Микроструктура в зоне дефектов (расположение дефекта соответствует одному из ребер) в поперечном сечении микрошлифа горячекатаной заготовки диам. 100 мм после травления в реактиве Nital,  $\times 100$

**Fig. 8.** Microstructure in the defects zone (the defect location corresponds to a rib), cross section of a polished section, hot rolled billet of 100 mm diameter, after etching in Nital reagent,  $\times 100$



**Рис. 9.** Внутренняя поверхность кристаллизатора: а — износ нижней части; б — отсутствие покрытия в углах кристаллизатора

**Fig. 9.** Internal surface of the mold: а — lower part wear; б — absence of coating in the mold corners

## Выводы

По результатам проведенной работы изучили трансформацию дефекта с поверхности НЛЗ в готовом сорте, определили вид и причины образования дефекта поверхности проката, что позволило правильно классифицировать поверхностные дефекты проката по ГОСТ 21014–88 как раскатанные трещины (поперечные).

На основе правильной классификации и устранения причин образования поверхностных дефектов можно существенно снизить отсортировку проката по поверхностным дефектам.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лейтес А.В. Защита стали в процессе непрерывной разливки. — М.: Metallurgiya, 1984. — 200 с.
2. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. — Волгоград, 2011. — 97 с.
3. Новокшенова С.М., Виноград М.И., Клыпин Б.А., Любинская М.А. Дефекты стали. — М.: Metallurgiya, 1984. — 199 с.
4. Атлас дефектов стали / Под ред. М.Л. Бернштейна. — М.: Metallurgiya, 1979. — 188 с.
5. ГОСТ 10243. Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры.
6. Дефекты стальных заготовок и металлопродукции Белорусского металлургического завода: Справочник-атлас. — СПб, 2014. — 326 с.
7. ГОСТ 21014–88. Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности.

*Поступила 16 июля 2019 г.*

## REFERENCES

1. Leites A.V. *Zashchita stali v protsesse nepreryvnoi razlivki* [Steel protection in the process of continuous casting]. Moscow: Metallurgiya, 1984, 200 p. (In Russ.).
2. Botnikov S.A. *Sovremennyi atlas defektov nepreryvnolitoi zagotovki i prichiny vozniknoveniya proryvov kristallizuyushcheysya korochki metalla* [Modern atlas of defects of continuously casted billet and reasons of breaks origination in the crystallizing shell of metal]. Volgograd, 2011, 97 p. (In Russ.).
3. Novokshchenova S.M., Vinograd M.I., Klypin B.A., Lyubinskaya M.A. *Defekty stali* [Defects of steel]. Moscow: Metallurgiya, 1984, 199 p. (In Russ.).
4. *Atlas defektov stali* [Atlas of defects of steel]. Bernshtein M.L. ed. Moscow: Metallurgiya, 1979, 188 p. (In Russ.).
5. *GOST 10243. Stal'. Metody ispytaniy i otsenki makrostruktury* [State Standard 10243. Steel. Methods of microstructure testing and evaluation].
6. *Defekty stal'nykh zagotovok i metalloproduksii Belorusskogo metallurgicheskogo zavoda: Spravochnik-atlas* [Defects of steel billets and metal products of Belorussky steel-works: reference book-atlas]. St. Peterburg, 2014, 326 p. (In Russ.).
7. *GOST 21014–88. Prokat chernykh metallov. Terminy i opredeleniya defektov poverkhnosti* [State Standard. Ferrous metals rolling. Terms and definitions of surface defects].

*Received July 16, 2019*