

УДК 620.191

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФЕКТА «СЕТЧАТЫЕ ТРЕЩИНЫ»

И. А. Ковалёва, И. В. Борисовец, Н. В. Каргаполова, О. А. Довнар

ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»

(г. Жлобин, Республика Беларусь)

Природа образования поверхностных дефектов напрямую связана с технологией производства металлопродукции на каждом металлургическом переделе. С точки зрения качества поверхности заготовки при непрерывной разливке стали наиболее значимыми и трудно устранимыми оказываются паукообразные, сетчатые и поперечные трещины. Для точного установления места и причины образования сетчатых трещин использовали методы оптической и растровой электронной микроскопии. Представленные результаты металлографического исследования дефектов горячекатаных заготовок круга 140 мм, непрерывнолитой заготовки, «горбушек» малых и больших граней помогли установить точное место зарождения сетчатых трещин и исключить негативные факторы при разливке металла, приводящие к дефектообразованию.

Ключевые слова: качество поверхности, дефект сетчатые трещины, оптическая и растровая электронная микроскопия, непрерывнолитая заготовка, химический состав включений.

Для металлургического предприятия совершенствование технологических процессов и улучшение показателей качества металлопроката, особенно ответственного назначения, относятся к числу важнейших факторов. Классификация и определение природы образования поверхностных дефектов напрямую связаны с технологией производства металлопродукции на каждом переделе [1].

Наиболее проблемными с точки зрения качества поверхности заготовки при непрерывной разливке стали являются поверхностные дефекты, среди которых наиболее значимыми и трудно устранимыми оказываются паукообразные, сетчатые и поперечные трещины, которые развиваются в приповерхностном слое, проходят по границам зерен и, как правило, не загрязнены [2]. Часто для точного установления места и причин образования дефектов необходимо сочетать методы оптической и растровой электронной микроскопии.

Цель работы – комплексное металлографическое исследование дефекта сетчатые трещины.

Сетчатые трещины представляют собой сетку тонких взаимопересекающихся извилистых трещин, проникающих на глубину до 25 мм. Выявляются трещины, как правило, после огневой зачистки или глубокого травления. Некоторые группы трещин не имеют выхода на поверхность, располагаются на глубине 8-15 мм от поверхности и, в отличие от горячих трещин, не имеют ликватов. Сетчатые трещины распространяются по границам аустенитных зерен, располагаются как на широких, так и узких гранях и в районе углов непрерывнолитой заготовки. Трещинами могут быть поражены значительные участки металла [2].

Исследование проводили после обнаружения дефектов на поверхности горячекатаного круга диаметром 140 мм плавки перитектической стали, которая по технологическим признакам считается трещиностойкой. Внешний вид поверхностного дефекта горячекатаной заготовки представлен на рис. 1.

Отмечены выявленные поверхностные дефекты. Из дефектных участков металла были вырезаны и подготовлены микрошлифы.

При исследовании металлографического шлифа в светлом поле с помощью инвертированного ме-

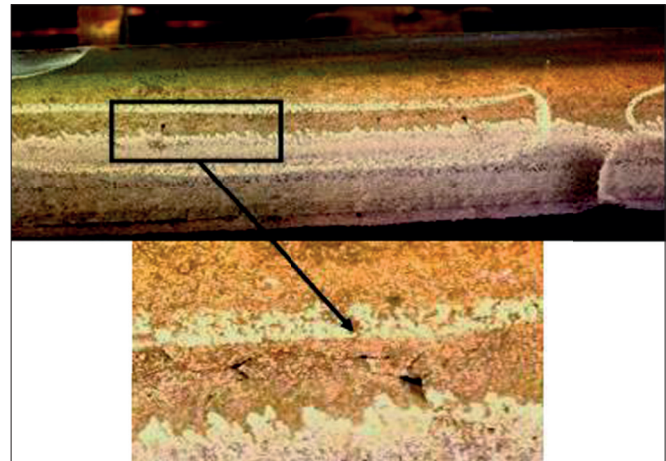


Рис. 1. Поверхностный дефект в виде сетчатых трещин на горячекатаной заготовке

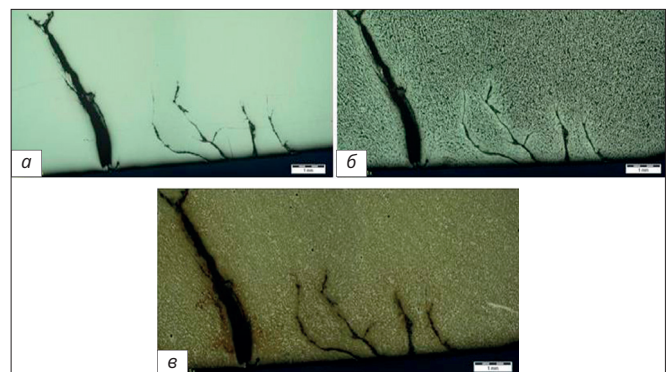


Рис. 2. Микроструктура в зоне выявленных дефектов: а – микрошлиф не травлен; б – травление в реактиве «Nital»; в – травление в реактиве «Обергоффера»

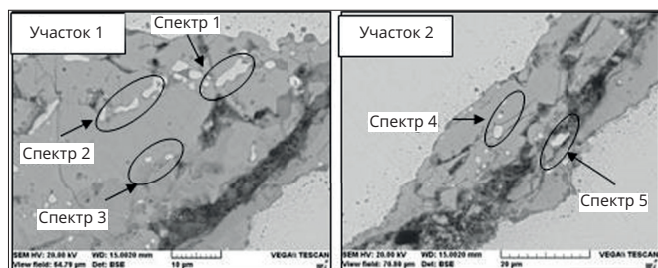


Рис. 3. Микрофотографии участков дефекта

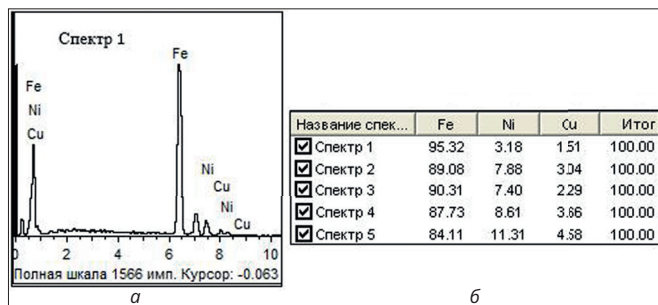


Рис. 4. Результаты химического состава включений в полостях дефектов: а – характеристический спектр химических элементов; б – химический состав включений, вес. %

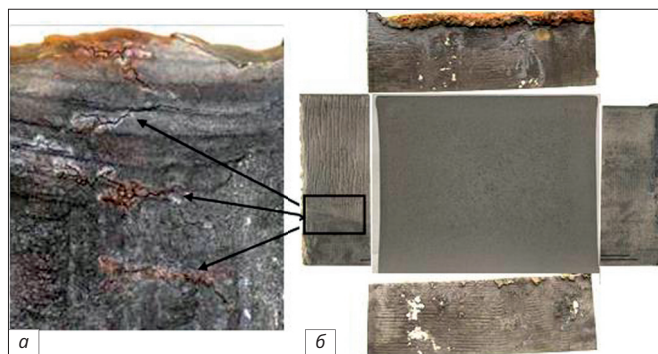


Рис. 5. Макротемплет (а) и «горбушки» малых и больших граней (б) непрерывнолитой заготовки

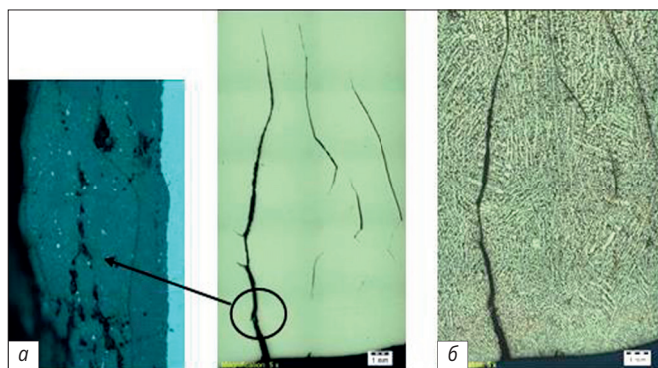


Рис. 6. Микроструктура в районе сетчатых трещин в непрерывнолитой заготовке: а – нетравлено; б – травление в реактиве «Nital»

таллографического микроскопа отраженного света OLYMPUS GX-51 на нетравленном образце выявлены поверхностные дефекты, расположенные под углом к поверхности (рис. 2, а). В полостях дефектов обнаружены окалина и включения, а после травления в реак-

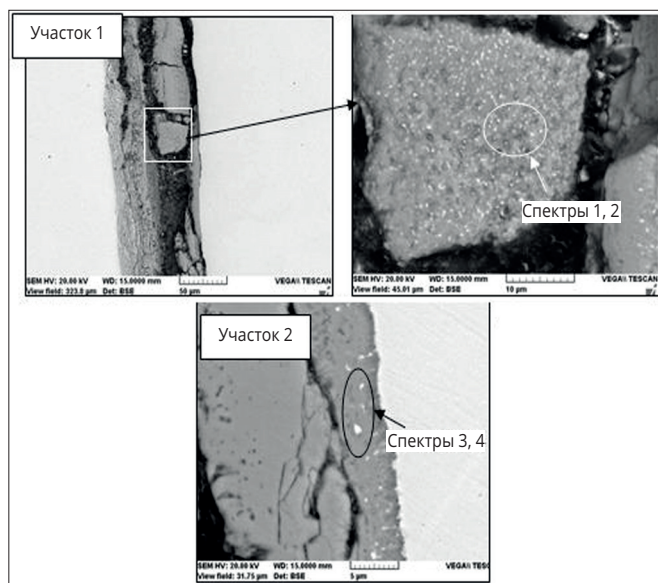


Рис. 7. Микрофотографии участков дефекта

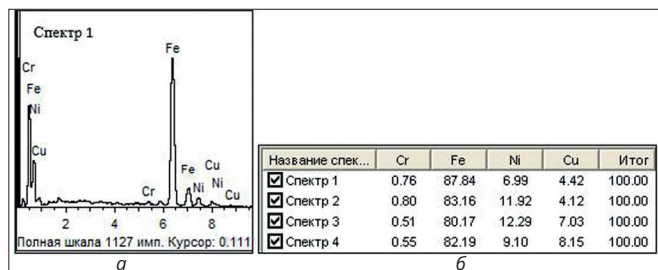


Рис. 8. Результаты химического состава включений в полостях дефектов: а – характеристический спектр химических элементов; б – химический состав включений, вес. %

тиве «Nital» – участки обезуглероживания (рис. 2, б). Для выявления ликвации микрошлиф был потравлен в реактиве «Обергоффера» [3]. Участков белого цвета, которые указывают на имеющуюся в металле ликвацию (интенсивность окраски зависит от степени сепрегации), не выявлено (рис. 2, в).

Анализ химического состава включений, расположенных в полостях дефектов, проводили на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega II LSH с рентгеновским микроанализатором INCA Energy 350 (далее СЭМ с РМА). Высокая разрешающая способность электронного микроскопа (увеличение до 100 тыс. крат) позволяет изучать объекты размером от одного микрона [4]. С помощью рентгеновского микроанализатора можно получить информацию о локальном химическом составе объекта как качественном, так и количественном [5].

На рис. 3 и 4 приведены результаты исследования на СЭМ с РМА включений, выявленных в полостях дефектов на горячекатаной заготовке.

Химический состав включений в полостях дефектов показал наличие таких элементов, как Ni, Cu, Fe. Выявленные Cu и Ni, обнаруженные в полости дефектов, свидетельствует об их диффузии со стенок кристаллизатора при разливке металла. Характерными генетическими признаками для выявленных дефектов в

микроструктуре металла являются наличие в полостях окалины, обезуглероживание, отсутствие ликвации. Обнаруженные дефекты были классифицированы как раскаты трещины (сетчатые), наследованные от непрерывнолитой заготовки.

Для более детального исследования отобрали пробу непрерывнолитой заготовки сечением 300×400 мм той же плавки длиной 300 мм для анализа качества поверхности (рис. 5, а). Из заготовки были вырезаны: поперечный макротемплет, а с участков поверхности малых и больших граней – так называемые «горбушки» (рис. 5, б). Темплет и «горбушки» были протравлены в 50 %-ном растворе соляной кислоты. Внешний вид поверхности и макротемплет непрерывнолитой заготовки представлены на рис. 5.

После исследования всей поверхности «горбушек» выявлены трещины в районе малой грани, расположенные как в складках качания, так и распространенные по грани вне складок. Данные дефекты, нарушившие сплошность поверхности, представляют собой взаимно пересекающиеся как небольшие, так и развисяющиеся извилистые трещины.

Из «горбушки» малой грани непрерывнолитой заготовки был вырезан поперечный микрошлиф в районе дефектов. При микроструктурном исследовании в светлом поле на нетравленном микрошлифе выявлены поверхностные и подповерхностные дефекты, расположенные под разными углами к поверхности. В полостях поверхностных и подповерхностных дефектов выявлены включения белого цвета (панорамный рис. 6, а). После травления в реактиве «Nital» обнаружено, что дефекты располагаются как в межосевых участках, так и пересекают оси дендритов (рис. 6, б). Все дефекты классифицированы как сетчатые трещины.

На рис. 7 и 8 приведены результаты исследования на СЭМ с РМА включений, выявленных в полостях дефектов на непрерывнолитой заготовке.

Химический состав включений в полости дефекта показал наличие таких элементов, как Cr, Ni, Cu, Fe. Выявленные Cu, а также Ni и Cr свидетельствуют о проникновении этих элементов вследствие диффузии со стенок кристаллизатора при разливке металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе комплексного металлографического исследования поверхностных дефектов перитектической стали горячекатаной заготовки круга 140 мм и непрерывнолитой заготовки сечением 300×400 мм, «горбушек» малых и больших граней получили важную информацию о характерных морфологических и генетических признаках в микроструктуре металла [6], о локальном химическом составе включений как качественном, так и количественном. Визуальный, металлографический и электронный анализ позволил отследить изменения состояния поверхности металла, оказывающие непосредственное влияние на качественные характеристики плавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сычков А. Б., Жигарев М. А., Перчаткин А. В. и др. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката // *Металлург*. 2006. № 2.
2. Сивак Б. А. Проблемы качества поверхности непрерывнолитых слябов // *Металлург*. 2012. № 5. С. 64–68.
3. Баранова Л. В., Демина Э. Л. Металлографическое травление металлов и сплавов : справочник. – М. : *Металлургия*, 1986.
4. Эгертон Р. Ф. Физические принципы электронной микроскопии. – М. : *Техносфера*, 2010. – 300 с.
5. Гоулдстейн Дж., Ньюберн Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. В 2-х книгах, пер. с англ. – М. : *Мир*, 1984. – 652 с.
6. Правосудович В. В., Сокуренок В. В., Данченко В. Н. и др. Дефекты стальных слитков и проката : справочник. – М. : *Интермет Инжиниринг*, 2006. – 384 с.

Статья поступила 17.05.2021