

## Литература

1. Васильев, С. В. Влияние электрического поля на приповерхностные процессы при лазерной обработке материалов / С. В. Васильев, А. Ю. Иванов // Квантовая электроника. – 2012. – Т. 42, № 2. – С. 170–174.
2. Влияние давления фонового газа на качество лазерной обработки металлов / С. В. Васильев [и др.] // Весн. ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 2, Матэматыка. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 89–100.
3. Васильев, С. В. Оптическая визуализация топографии кратера, образующегося при действии лазерного импульса на твердый образец / С. В. Васильев, А. Ю. Иванов, А. М. Ляликов // Квантовая электроника. – 1993. – Т. 20, № 6. – С. 616–618.
4. Губаревич, И. К. Визуализация формы поверхности в реальном времени с регулированием чувствительности измерений / И. К. Губаревич, А. М. Ляликов // Оптика и спектроскопия. – 1996. – Т. 80, № 6. – С. 948–952.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ИСКУССТВЕННО  
НАНЕСЕННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ  
НЕПРЕРЫВНО-ЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВОГО ПРОКАТА**

**И. А. Панковец**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. Н. Верещагин

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» для производства продукции сортопрокатного стана 370/150 используется непрерывно-литая заготовка (НЛЗ) собственного производства номинальным сечением  $250 \times 300$  мм. Несмотря на высокую технологическую дисциплину выплавки, разливки стали, нагрева и проката, встречаются дефекты поверхности, которые выявляются при контроле качества готового сорта ультразвуковыми установками.

Дефекты поверхности на готовом сорте могут иметь как сталеплавильное, так и прокатное происхождение. Каждому дефекту присущи свои характерные морфологические и генетические признаки, которые выявляют в процессе проведения металлографических исследований. В ряде случаев признаки, определяющие происхождение дефектов, могут иметь схожие черты. Кроме того, на них накладывается влияние нагрева и механизма прокатки – калибровка, кантовка и другие факторы.

Проблема разделения брака металлопродукции неизменно вызывает много споров между сталеплавильным и прокатным цехами о причинах дефектов и их виновниках. В каждом конкретном случае необходимы достаточные аргументы для того, чтобы определить природу дефекта, установить его причину и разработать рекомендации по устранению и предупреждению несоответствующей продукции.

Для обоснованного разделения брака между переделами в условиях стана 370/150 проведено исследование по трансформации дефектов на поверхности НЛЗ при прокате на линии прутка путем металлографической экспертизы искусственно нанесенных дефектов – методики «меченых» дефектов, являющейся наиболее надежным и оправданным путем, позволяющим изучить трансформацию дефектов при прокатке.

**Материал для исследования.** В качестве опытного для исследования был выбран блюм сечением  $250 \times 300$  мм марки стали 42CrMo4 длиной 4000 мм. Блюм был подвергнут зачистке абразивным способом всей поверхности на глубину 2 мм для исключения влияния поверхностных дефектов сталеплавильного производства на конечный результат. Дефекты на поверхность блюма наносились абразивным инструментом согласно схеме (рис. 1 и 2). Краткое описание нанесенных дефектов приведено в табл. 1. Глубина всех нанесенных дефектов составила от 9 до 11 мм.

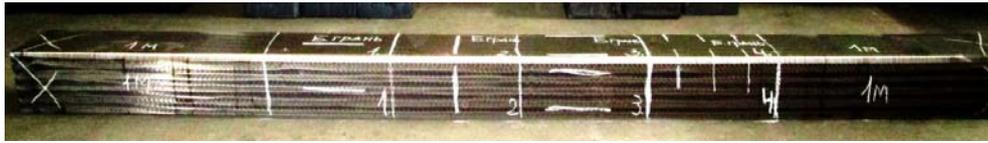


Рис. 1. Внешний вид бьюма с искусственно нанесенными дефектами



Рис. 2. Схема нанесения искусственных дефектов на поверхность НЛЗ

Таблица 1

## Дефекты, нанесенные на поверхности НЛЗ

Участок НЛЗ	Расположение дефекта на бьюме	
	Малая грань А	Большая грань Б
№ 1	Один надрез длиной 250 мм по центру грани вдоль оси	Один надрез длиной 250 мм по центру грани вдоль оси
№ 2	Без искусственных дефектов	Один надрез длиной 200 мм, нанесенный перпендикулярно к оси НЛЗ
№ 3	Два параллельных надреза длиной 250 мм, нанесенных продольно оси НЛЗ на расстоянии 150 мм друг от друга	Два параллельных надреза длиной 250 мм, нанесенных продольно оси НЛЗ на расстоянии 150 мм друг от друга
№ 4	По три надреза длиной 10 мм на прилегающих к малой грани углах, нанесенных друг напротив друга с шагом 140 мм перпендикулярно оси НЛЗ	По три надреза длиной 10 мм на прилегающих к малой грани углах, нанесенных друг напротив друга с шагом 140 мм перпендикулярно оси НЛЗ

**Методика исследования.** Блюм с искусственно нанесенными дефектами был прокатан на линии прутка на круг диаметром 75 мм. Всего была получена 1 штанга длиной 63208 м. Согласно величине примененной деформации, было рассчитано местонахождение искусственных дефектов на готовом круге и определено место отбора проб прямым измерением длины прутков.

Далее представлена кратко информация по расчету: заготовка массой 2,350 т; прокатано 2,085 т в круге 75 мм 30.06.2018 г., марка стали 42CrMo4; при прокате получено 10 прутков длиной 6000 мм каждый; угар в печи составил 35,7 кг. При про-

кате с ножниц № 1 на голове проката было удалено 221 мм (20,74 кг), на хвосте 96 мм (9,01 кг); на ножницах № 2 на голове проката было удалено 173 мм (8,89 кг), на хвосте 524 мм (26,92 кг); раскат длиной 63208 м на холодильнике.

Дефекты в готовом сорте расположены по номерам соответствующим рис. 3: 1) от 17758 до 21908 мм; 2) 28050 мм; 3) от 33860 до 38010 мм; 4) от 42160 до 46808 мм.

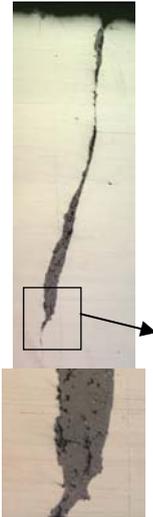
Исследование дефектов после деформации производилось в следующей последовательности:

- изучение внешнего вида и конфигурации дефекта на поверхности пробы, разметка мест вырезки образцов для металлографического исследования;
- исследование макроструктуры и поверхности макротемплета после глубокого травления в горячем 50 % растворе соляной кислоты;
- исследование микрошлифов без травления;
- исследование микроструктуры после травления в 4%-ном растворе азотной кислоты в спирте.

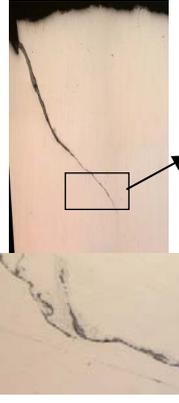
Результаты исследования готового сорта после проката непрерывнолитой заготовки с искусственно нанесенными поверхностными дефектами представлены в табл. 2. Описание признаков дефектов проводилось с использованием государственного стандарта, а также справочника-атласа дефектов стальных заготовок и металлопродукции БМЗ.

Таблица 2

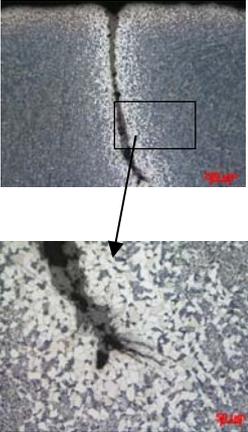
Результаты металлографических исследований

Участок НЛЗ	Описание	Внешний вид и конфигурация на поверхности макротемплета после глубокого травления	Макроструктура	Микрошлиф без травления	Микроструктура после травления в реактиве «Нитал 4 %»
№ 1	Один надрез длиной 250 мм по центру грани вдоль оси заготовки				
		Дефект представляет собой несплошность, расположенную вдоль оси прутка, в макроструктуре полость располагается перпендикулярно к поверхности		На микрошлифе полость дефекта заполнена окалиной, прилегающий металл окислен, в микроструктуре отмечается обезуглероживание. Глубина искусственных дефектов на готовом прутке в исследованном сечении составила 3,45 и 2,75 мм	

Продолжение табл. 2

Участок НЛЗ	Описание	Внешний вид и конфигурация на поверхности макротемплета после глубокого травления	Макроструктура	Микрошлиф без травления	Микроструктура после травления в реактиве «Нитал 4 %»
№ 2	Один надрез длиной 200 мм, нанесенный перпендикулярно к оси НЛЗ				
		<p>Дефект представляет собой несплошность в виде надрывов, расположенную вдоль оси прутка, в макроструктуре отмечены две полости, ориентированные друг к другу</p>		<p>На микрошлифе полость дефекта заполнена окалиной, прилегающий металл окислен, в микроструктуре отмечается обезуглероживание, небольшое количество окислов. Глубина искусственного дефекта на готовом прутке в исследованном сечении составила 3,2 мм</p>	
№ 3	Два параллельных надреза длиной 250 мм, нанесенных продольно оси НЛЗ на расстоянии 150 мм друг от друга				
		<p>Дефект представляет собой несплошность, расположенную вдоль оси прутка, в макроструктуре полость располагается перпендикулярно поверхности</p>		<p>На микрошлифе полость дефекта частично заполнена окалиной, прилегающий металл окислен, в микроструктуре наблюдается небольшое количество окислов, незначительное обезуглероживание. Глубина искусственного дефекта на готовом прутке в исследованном сечении составила 3,2 мм</p>	

Окончание табл. 2

Участок НЛЗ	Описание	Внешний вид и конфигурация на поверхности макротемплета после глубокого травления	Макроструктура	Микрошлиф без травления	Микроструктура после травления в реактиве «Нитал 4 %»
№ 4	По три надреза длиной 10 мм на прилегающих к малой грани углах, нанесенных друг на против друга с шагом 140 мм перпендикулярно оси НЛЗ				 
		Дефект представляет собой несплошность, расположенную вдоль оси прутка, в макроструктуре полость располагается под небольшим углом к поверхности		На микрошлифе полость дефекта заполнена окалиной, прилегающий металл окислен, в микроструктуре отмечается обезуглероживание, небольшое количество окислов. Глубина искусственного дефекта на готовом прутке в исследованном сечении составила 2,05 мм	

Таким образом, при исследовании трансформации дефектов от непрерывнолитой до горячекатаной заготовки установлено:

1. Расположение дефекта на готовом сорте соответствует месту искусственно нанесенного дефекта на блюме, что может быть выявлено на макротемплете после глубокого травления.

2. Дефекты выкатываются (уменьшаются по глубине) в результате выгорания в слой окалины при нагреве перед прокатом и последующей деформацией. Так, при глубине искусственно нанесенных дефектов порядка 10 мм их глубина на горячекатаной заготовке варьирует в интервале 2,05–3,75 мм.

3. Дефекты, искусственно нанесенные абразивным инструментом перед посадом в печь на НЛЗ, после горячей деформации имеют признаки, характерные для дефектов сталеплавильного происхождения:

– скопление вокруг полости мелких глобулярных диффузионных окислов, образующихся при высокотемпературном нагреве при прокатке;

– обезуглероживание полости дефекта, сопоставимое с глубиной обезуглероживания поверхности заготовки при нагреве под прокатку; обезуглероживание, при этом ликвация легкоплавких компонентов отсутствует;

– наличие в полости дефекта окалины, содержащей высокотемпературные окислы марганца и кремния, в отличие от прокатной окалины, состоящей из окислов железа.