

Results of industrial experiment are given and regularities of rolling out of surface defects of artificial origin are investigated at rolling of continuous castings at the rolling mill 850 of Belarussian metallurgical plant.

В. И. ЩЕРБАКОВ, В. В. ФИЛИППОВ, В. А. ТИЩЕНКО,  
М. И. ТИТОВ, РУП "БМЗ"

## ВЫКАТЫВАЕМОСТЬ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОКАТКЕ ЗАГОТОВОК НА СТАНЕ 850 РУП "БМЗ"

УДК 621.778

Наибольшую долю в общем выпуске сортовой стали общего назначения составляет круглая сталь, прокатываемая с обычной и повышенной точностью.

Качество круглых сортовых профилей зависит от качества непрерывнолитой заготовки, в частности, от наличия на ней дефектов (оспин, свищей, подкорковых пузырей и шлаковых поясов). Исключить их появление при разливке высоколегированных марок сталей электродуговой выплавки весьма сложно, а часть их возникает на поверхности при прокатке. Поэтому трубную заготовку после прокатки подвергают сплошной обдирке или зачистке на обдирочно-шлифовальных станках. Толщина удаляемого слоя зависит от исходной глубины дефектов и ее изменения при прокатке.

В технической литературе [1—4] по вопросу выкатываемости дефектов сведений очень мало. В основном они касаются моделирования их поведения в процессе прокатки в условиях экспериментальных лабораторных станков. Данные по про-

мышленному эксперименту применительно к условиям прокатки заготовок на стане диаметром 850 мм в литературе отсутствуют.

С этой целью проведена работа по определению формоизменения искусственных поверхностных дефектов непрерывнолитой заготовки сечением 250×300×2470 мм при прокатке на крупносортовом реверсивном стане "Дуо 850" до получения круга диаметром 80 мм и их влияние на качество поверхности металла.

Для исследования закономерностей поведения (трансформации) поверхностных дефектов типа впадин (подкорковых пузырей), поперечных трещин (шлаковых поясов, рвань) и продольных трещин на крупносортовом реверсивном стане "Дуо 850" СПЦ БМЗ провели опытную прокатку непрерывнолитой заготовки сечением 250×300×2470 мм и массой 1497 кг из стали 18ХГТ по ГОСТ 4543—71 с нанесенными искусственными дефектами до получения круга диаметром 80 мм. На блум, (рис. 1),

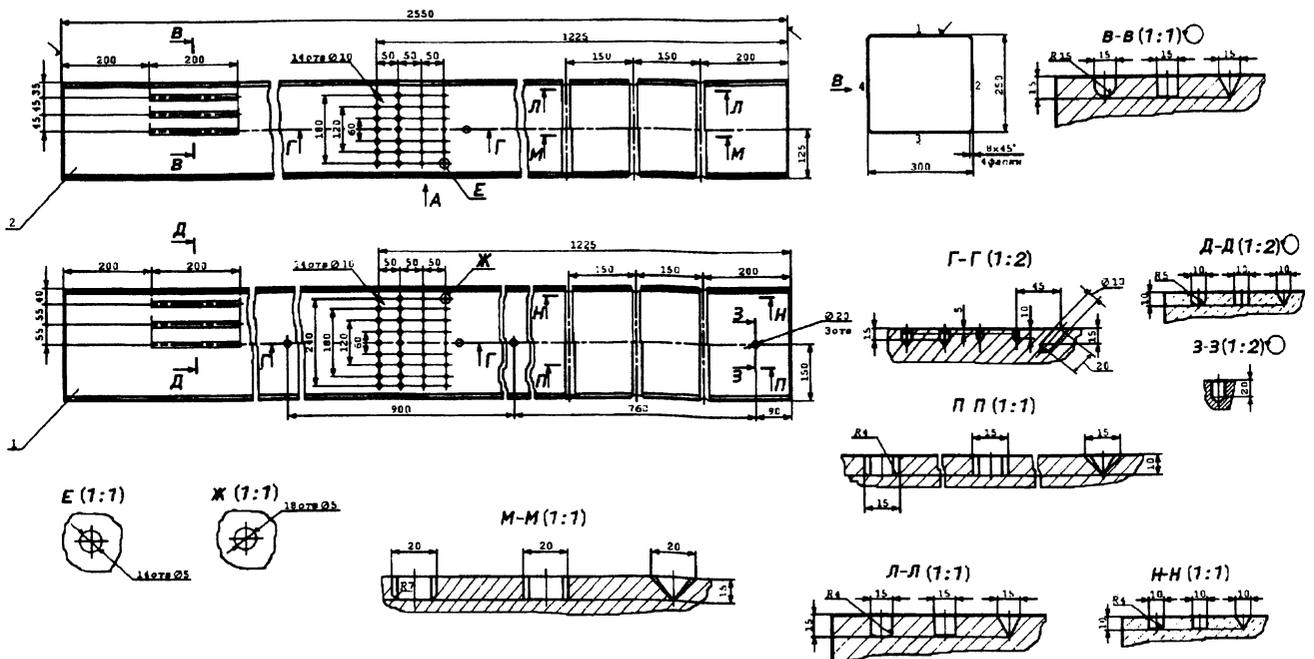


Рис. 1. Схема нанесения искусственных поверхностных дефектов

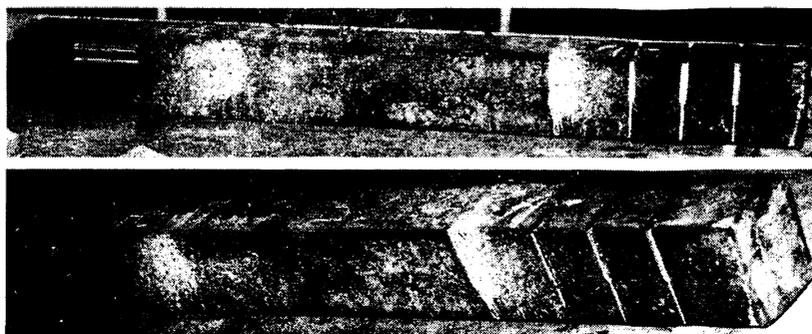


Рис. 2. Непрерывнолитая заготовка сечением 250×300×2470 мм с нанесенными искусственными поверхностными дефектами

наносили поверхностные дефекты (отверстия и пазы) на горизонтально-расточном станке BFR-130 с помощью сверл и комплекта фрез с переточкой.

Сверления, имитировавшие впадины, имели номинальный диаметр ( $d_{до}$ ) 5, 10 и 20 мм и глубину ( $h_{до}$ ) 10, 15 и 20 мм соответственно, а отношение  $d_{до}/h_{до}$  составило 0,5, 0,67, 1. С помощью комплекта фрез фрезеровали продольные и поперечные пазы разной формы и два отверстия диаметром 10 мм под углом 45° к поверхности блюда. Дефекты на двух смежных гранях полностью повторяли для того, чтобы сопоставить формоизменение, когда они попадали в первых проходах до кантовки на контактные (к) или боковые (б) грани. Вид непрерывнолитой заготовки с нанесенными искусственными поверхностными дефектами представлен на рис. 2.

Как видно из рисунка, все искусственные поверхностные дефекты разделены на три группы:

- поперечные пазы;
- полые отверстия и отверстия, заполненные строительным прокаленным песком;
- продольные пазы.

Продольные и поперечные впадины (пазы) имели форму цилиндров с плоским дном, с закругленными краями дна, а также конических углублений с разными углами конусности ( $\varphi_k$ ).

В передней части блюда наносили поперечные пазы, причем глубину и ширину пазов изменяли от центра грани до ребра блюда. Глубина и ширина пазов, а также угол конусности ( $\varphi_k$ ) для конических углублений и угол между образующей дефекта и контактной поверхностью металла ( $\varphi_{до}$ ) на каждой стороне блюда приведены в табл. 1.

В средней части блюда на две смежные грани (ширина сторон 250 и 300 мм) наносили по четыре ряда отверстий (по два ряда отверстий диаметрами 10 мм и по два ряда отверстий диаметрами 5 мм), заполненные строительным прокаленным песком, после чего отверстия заваривали ручной дуговой сваркой. Количество, диаметр и глубина отверстий на двух смежных сторонах даны в табл. 2.

Кроме того, на одну грань (ширина стороны 300 мм) в начале, середине и в конце блюда наносили три отверстия диаметром 20 мм и глу-

Таблица 1.

Ширина грани, мм	Количество пазов, шт.	Глубина паза, мм	Ширина паза, мм	$\varphi_k$ , град	$\varphi_{до}$ , град	Фактор формы дефекта $\Phi_{до} = d_{до}/h_{до}$
250 (контактная)	3	15	20	68	56	1,33
		15	15	55	64	1,0
300 (боковая)	3	10	15	74	52	1,5
		10	10	54	62	1,0
250 (контактная)	3	8	10	62	58	1,25
		8	7	46	66	0,88
300 (боковая)	3	5	7	70	54	1,4
		5	20	124	28	4,0

Таблица 2.

Ширина грани, мм	Количество отверстий, шт.	Диаметр отверстий, мм	Глубина отверстий, мм	Фактор формы дефекта $\Phi_{до} = d_{до}/h_{до}$
250 (контактная)	14	5	10	0,5
	14	10	15	0,67
300 (боковая)	18	5	10	0,5
	18	10	15	0,67

Таблица 3.

Ширина грани, мм	Количество пазов, шт.	Глубина паза, мм	Ширина паза, мм	$\varphi_k$ , град	$\varphi_{до}$ , град	Фактор формы дефекта $\Phi_{до} = d_{до}/h_{до}$
250 (контактная)	3	8	8	52	64	1,0
300 (боковая)	3	10	10	50	64	1,0
250 (контактная)	3	15	15	52	64	1,0
300 (боковая)	3	20	20	54	64	1,0

биной 20 мм, а также на две смежные грани (ширина сторон 250 мм и 300 мм) в середине блюма наносили по одному отверстию диаметром 10 мм и длиной 26 мм под углом 45° к поверхности блюма.

В задней части блюма на каждую грань нанесли продольные пазы, причем они располагались в направлении от центра грани к ребру блюма. Длина всех пазов одинакова и составила 200 мм. Глубина и ширина пазов, а также угол конусности ( $\varphi_k$ ) для конических углублений и угол между образующей дефекта и контактной поверхностью металла ( $\varphi_{до}$ ) на каждой стороне блюма приведены в табл. 3.

Прокатка непрерывнолитой заготовки сечением 250×300×2470 мм производилась на крупносортом реверсивном стане "Дуо 850" для получения проката круга диаметром 80 мм в соответствии с действующей технологической инструкцией ТИ 840-П2-01-96 согласно стандартной схеме калибровки валков и обжатий, утвержденных главным инженером.

Система калибровки для прокатки круга диаметром 80 мм: прямоугольные (ящичные) калибры — квадрат — шестигранник — диагональный квадрат — овал — круг.

Система калибров для прокатки круга диаметром 80 мм содержит последовательно расположенные на бочке валков три прямоугольных ящичных калибра с выпуклым дном, квадратный ящичный калибр с выпуском 14,5%, шестигранный калибр, образованный ручьями корытообразной формы с вогнутым дном в виде тупого угла, диагональный квадратный калибр, предчистовой овальный (два) калибр и круглый (два) калибр. Прокатка осуществляется следующим образом. Непрерывнолитая заготовка сечением 250×300 мм прокатывается с кантовками на 90° в четырех калибрах ящичного типа до сечения с размерами сторон 133×127 мм в седьмом проходе. Этот раскат, поступающий из квадратного ящичного калибра, кантуют также на 90° и прокатывают в шестигранном калибре. Полученную в этом калибре полосу сечением 93×155 мм кантуют на 90° и задают в диагональный квадратный калибр с размерами сторон 92×92 мм. После выхода из него полоса задается в предчистовой

овальный калибр, а затем с кантовкой на 90° — в чистовой круглый калибр. Суммарная деформация, рассчитанная исходя из площадей начального и конечного сечения, в ящичных калибрах за семь проходов составляет  $\varepsilon_{\Sigma 7} = 79,5\%$ , а за все 11 проходов  $\varepsilon_{\Sigma 11} = 93,2\%$ . Относительное обжатие максимально при прокатке в восьмом проходе шестигранного калибра  $\varepsilon_8 = 30,6\%$ . Суммарная логарифмическая деформация ( $e$ ) рассчитывается по формуле:

$$e = \ln(F_0 / F_k) = \ln \frac{250 \cdot 300}{3,14 \cdot 40^2} = \ln 14,928 = 2,7,$$

где  $F_0$ ,  $F_k$  — соответственно начальная и конечная площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>.

Логарифмическая высотная деформация ( $e_h$ ) определяется по формуле:

$$e_h = \ln(h_0/h_1),$$

$$e_h = \ln(300/239) + \ln(239/182) +$$

$$+ \ln(275/214) + \ln(214/154) + \ln(210/155) +$$

$$+ \ln(170/115) + \ln(170/133) + \ln(127/93) +$$

$$+ \ln(155/92) + \ln(92/67,6) + \ln(110/80) = 3,479,$$

где  $h_0$ ,  $h_1$  — высота раската соответственно до обжатия и после обжатия, мм.

При производстве круга диаметром 80 мм из непрерывнолитой заготовки сечением 250×300×2470 мм суммарный коэффициент вытяжки  $\lambda = 14,743$ . Готовый профиль прокатывается за 11 проходов. Полученный профиль длиной  $L = 36415$  мм раскроили на пиле горячей резки на три штанги:  $L_1 = 12425$  мм,  $L_2 = 12030$  мм и  $L_3 = 11960$  мм.

После раскроя металл охлаждался на речном холодильнике.

В процессе прокатки все продольные впадины в непрерывнолитой заготовке трансформировались в прямые продольные трещины. Поперечные пазы цилиндрической формы трансформировались в "ложные закаты". Искусственный дефект в виде поперечного углубления конической формы выкатан полностью — на поверхности готового профиля визуально не обнаружено каких-либо поверхностных дефектов. Во всех случаях сверления вытягивались и образовывались трещины.

На бездефектной части блюма новые поверхностные дефекты не появлялись на готовом профиле.

На пиле холодной резки производилась вырезка отмеченных проб с поверхностными дефектами в количестве 10 шт.

Металлографическое исследование проводилось на пробах, отобранных с опытных штанг раската в месте расположения искусственных поверхностных дефектов. На осветленных пробах, т. е. после удаления окалина в горячем растворе соляной кислоты в течение 20 мин, анализировался и фотографировался внешний вид трансформированных дефектов. Результаты замера длины и количества дефектов приведены в табл. 4.

Для измерения глубины и развития формы поверхностных дефектов вырезались поперечные микро- и макрошлифы. Распространение дефекта от поверхности к центру шлифа идентифицировали с помощью оптического микроскопа. Результаты измерений представлены в табл. 4.

### Выводы

1. Полученные экспериментальные данные позволили выявить основные закономерности выкатываемости дефектов  $\Delta h/h_0$  ( $\Delta h$  — изменение глубины дефекта;  $h_0$  — исходная глубина дефекта).

Определяющее влияние имеет суммарная вытяжка  $\lambda_{\Sigma}$ . Для круга диаметром 80 мм ( $\lambda_{\Sigma} = 14,743$ ) выкатываемость в зависимости от глубины и конфигурации дефекта меняется от 0,50 до 0,93 для полых впадин и от 0,30 до 0,87 для отверстий, заполненных строительным прокаленным песком.

2. Одна из причин неравномерной выкатываемости дефектов заключается в изменении их наклона к поверхности. На образцы дефекты наносили перпендикулярно поверхности. В ходе прокатки дефекты, находящиеся на осях симметрии профиля, практически не меняют своего положения, но чем ближе они расположены к ребрам раската, тем больше их наклон к поверхности.

3. На грани, контактирующей с валками в первом проходе, выкатываемость больше приблизительно на 0,13—0,17, чем на грани, не контактирующей с ними, причем данная зависимость не относится к дефектам, заполненным строительным прокаленным песком. Выкатываемость искусственных поверхностных дефектов типа впадин, заполненных строительным прокаленным песком, составила 0,3—0,87, причем она одинакова как на боковой, так и на контактной поверхности.

Таблица 4.

Ширина грани, мм	Вид искусственного дефекта	Глубина искусственного дефекта, $h_0$ , мм	Внешний вид дефектов на пробе		Длина пробы, мм	Внешний вид дефектов на макротемплетах		
			длина дефектов, мм	кол-во дефектов, шт.		кол-во дефектов, шт.	глубина залегания, мм	угол наклона относительно поверхности, град
300	Отверстие	20	270	1	270	1	6	85
300	Поперечные пазы	5	дефектов не обнаружено — выкатаны полностью					
250		8	дефектов не обнаружено — выкатаны полностью					
300		15	20—130	2	270	2	1,5; 2	80; 80
300	Отверстие	10	80	1	120	2	3; 2	15; 45
300	Отверстие	20	200	1	210	1	6	70
250	Отверстие под $<45^\circ$	23	40—185	2	260	2	6	87
300							7	50
250	Отверстия	10	130—160	16	280	11	7; 7; 6; 5	85; 70; 50; 40
300							5; 5; 5; 6; 7; 6; 5	50; 60; 60; 70; 80; 85; 30
250							7; 6; 5; 5; 3	85; 85; 70; 50; 50
300							3; 5; 5; 4; 5; 6; 7; 6; 5	20; 30; 30; 50; 50; 80; 85; 45; 20
300							3; 6; 7; 4; 3; 3; 4; 4; 2	20; 60; 90; 90; 80; 80; 40; 20; 20
250							2; 3; 4; 4; 7; 6; 2	20; 20; 80; 80; 80; 60; 40
300	Отверстие	20	160—218	1	218	1	6	80
300	Продольные пазы	20	30—265	10	265	9	5; 8; 4	90; 80; 40
		10					4; 5; 4	88; 80; 50
		15					1; 1,5; 1	90; 80; 80
250		8					дефектов не обнаружено — выкатаны полностью	

4. В процессе прокатки все впадины, образующие которых выходят на поверхность под прямым углом или близким к прямому, раскатываются в трещины; по длине трещины и коэффициенту вытяжки нельзя судить об исходной протяженности впадины.

5. Поперечные глубокие и широкие впадины, пазы цилиндрической формы трансформируются в дефекты, сходные по внешнему виду с закатами (в "ложные закаты").

6. Искусственный дефект в виде поперечного углубления конической формы выкатан полностью — на поверхности готового профиля визуаль-

но не обнаружено каких-либо поверхностных дефектов.

7. На бездефектной части бруса новые поверхностные дефекты не появлялись на готовом профиле.

#### Литература

1. Чижиков Ю. М. Теория подобия и моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Metallurgiya, 1970.
2. Егоров В. Д., Тимофеев В. В., Зудов Е. Г. Выкатываемость дефектов при прокатке крупносортовой стали // Сталь. 1995. № 1. С. 32—34.
3. Полухин П. И., Федосов Н. М., Королев А. А., Матвеев Ю. М. Прокатное производство. М.: Metallurgiya, 1982.
4. Грудев А. П. Теория прокатки. М.: Metallurgiya, 1988.



**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
"БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД"  
BYELORUSSIAN STEEL WORKS  
BELORUSSISHES METALLURGISCHES WERK**

**ШВЕЛЛЕР И УГОЛКИ РАВНОПОЛОЧНЫЕ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ  
HOT-ROLLED STEEL CHANNELS AND EQUAL-LEG ANGELS  
WARMGEWALZTER U-SHTAHL UND GLEICHSCHEKLIGER WINKELSTAHL**

Standard	Material Grade	Dimensions	LADLE ANALYSIS (product analysis)				MECHANICAL PROPERTIES				Remarks
			C max	P max	S max	Others	Tensile strength, N/mm <sup>2</sup>	Yield strength N/mm <sup>2</sup> min	Elongation %, min	Bend test 180 gr. radius	
DIN 17100-80	Rst37-2	channel 65 mm 65x36 equal angle 20x20x3:4 25x25x3:4 28x28x3 30x30x3:4 35x35x4.5	0,17 (0,19)	0,030 (0,045)	0,050 (0,055)	N <sub>max</sub> = = 0,012 (0,014)	340-470	235M	26	D=a	Approved by TÜV
	St44-2	40x40x4:5 40x40x4:5 50x50x4:5	0,21 (0,23)	0,035 (0,045)	0,050 (0,060)	Cu max = = 0,35	410-540	275	22	D = 2,5a	
	St50-2		0,30 max	0,035 (0,045)	0,050 (0,060)			470-610	295	20	