

Г. В. Левченко, Е. Е. Нефедьева, А. И. Серов\*, Е. Н. Смирнов\*\*, И. Н. Галухина\*\*

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, Днепропетровск

\*ОАО «Донецкий металлопрокатный завод», Донецк

\*\*Донецкий национальный технический университет, Донецк

## Формирование структуры и механических свойств круглого проката из непрерывнолитой стали

Исследованы особенности формирования структуры и механических свойств круглого проката диаметром от 25 до 56 мм из непрерывнолитой стали 45.

**Ключевые слова:** круглый прокат, структура, плотность, вытяжка

Особенность современного этапа разработки и внедрения новых технологических процессов производства сортового проката машиностроительного сортамента состоит в том, что многие производители стремятся перейти на использование непрерывнолитых заготовок малого сечения (от 125×125 до 150×150 мм). При этом в качестве своеобразного эталона степени совершенства технологического процесса принята технологическая схема, которая обеспечивает в металле комплекс свойств, способный выдерживать осадку в горячем (холодном) состоянии на величину деформации 66 и 75 %.

Несмотря на имеющиеся сложности реализации подобных технологических схем, опыт производства и переработки проката ответственного назначения из непрерывнолитой заготовки мелких сечений показал, что благодаря меньшему размеру сечения непрерывнолитой заготовки (НЛЗ), по сравнению с обычно применяемыми, улучшаются условия кристаллизации стали, устраняются сегрегация химических элементов по длине заготовки и усадочные явления [1]. Однако, прокатка сопровождается меньшей степенью деформации металла, вследствие чего в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры.

Цель данной работы – сравнительное исследование дендритной и зеренной структур профилей разного диаметра, произведенных из непрерывнолитой заготовки.

Материалами для исследований являлись образцы из непрерывнолитой заготовки размером 135×135 мм, отлитой без защиты струи на участке «промковш-кристаллизатор», и полученного из нее круглого горячекатаного проката диаметрами 25 и 56 мм (ГОСТ 2590) из стали 45 (ГОСТ 1050; табл. 1).

Образцы для металлографического анализа отбирали в поверхностных (П) и центральных (Ц) слоях и на расстоянии  $\frac{1}{4}$  толщины ( $\frac{1}{2} R$ ). Металлографические исследования выполнены на микроскопе «Axiovert 200 M MAT» производства фирмы «Carl Zeiss». Дендритную структуру выявляли травлением в горячем растворе пикрата натрия.

Оценка макроструктуры образцов непрерывнолитой заготовки проводилась по ДСТУ 4061-2001 – по всему сечению заготовки наблюдались поры размером 5,67–68,80 мкм.

Результаты металлографического анализа дендритной структуры образцов непрерывнолитой заготовки и круглого проката представлены на рис. 1, 2 и в табл. 2. Известно, что дендритная структура характеризуется двумя основными параметрами – химической неоднородностью, показателем которой является коэффициент дендритной ликвации, и средним размером дендритных ветвей. Чем меньше последний, тем выше дисперсность (плотность) дендритной структуры и меньше развита химическая неоднородность [2].

Направленность и размеры зеренной структуры металла в литом состоянии тесно связаны с особенностями формирования дендритной неоднородности по сечению заготовки [3]. При кристаллизации НЛЗ на поверхности металла наблюдается строго ориентированная структура (оси дендритов первого порядка). Структуры  $\frac{1}{2} R$  и центральных участков заготовок по своей морфологии сходны соответственно с участками ориентированной (переходной участок) и неориентированной структур равноосных кристаллов.

С учетом особенностей затвердевания НЛЗ и степени деформации показано, что наиболее

Таблица 1

### Химический состав исследуемой стали

Исходная заготовка, мм	Профиль (ГОСТ 2590), мм	Вытяжка суммарная, $\mu^*$	Химический состав, %							
			C	Mn	Si	S	P	Gs	Ni	Cu
135×135	Ø 25	37,146	0,44	0,73	0,18	0,20	0,20	0,13	0,14	0,25
	Ø 56	7,403	0,42	0,72	0,18	0,24	0,17	0,13	0,12	0,22

\* $\mu$  – отношение площадей поперечного сечения заготовки и проката

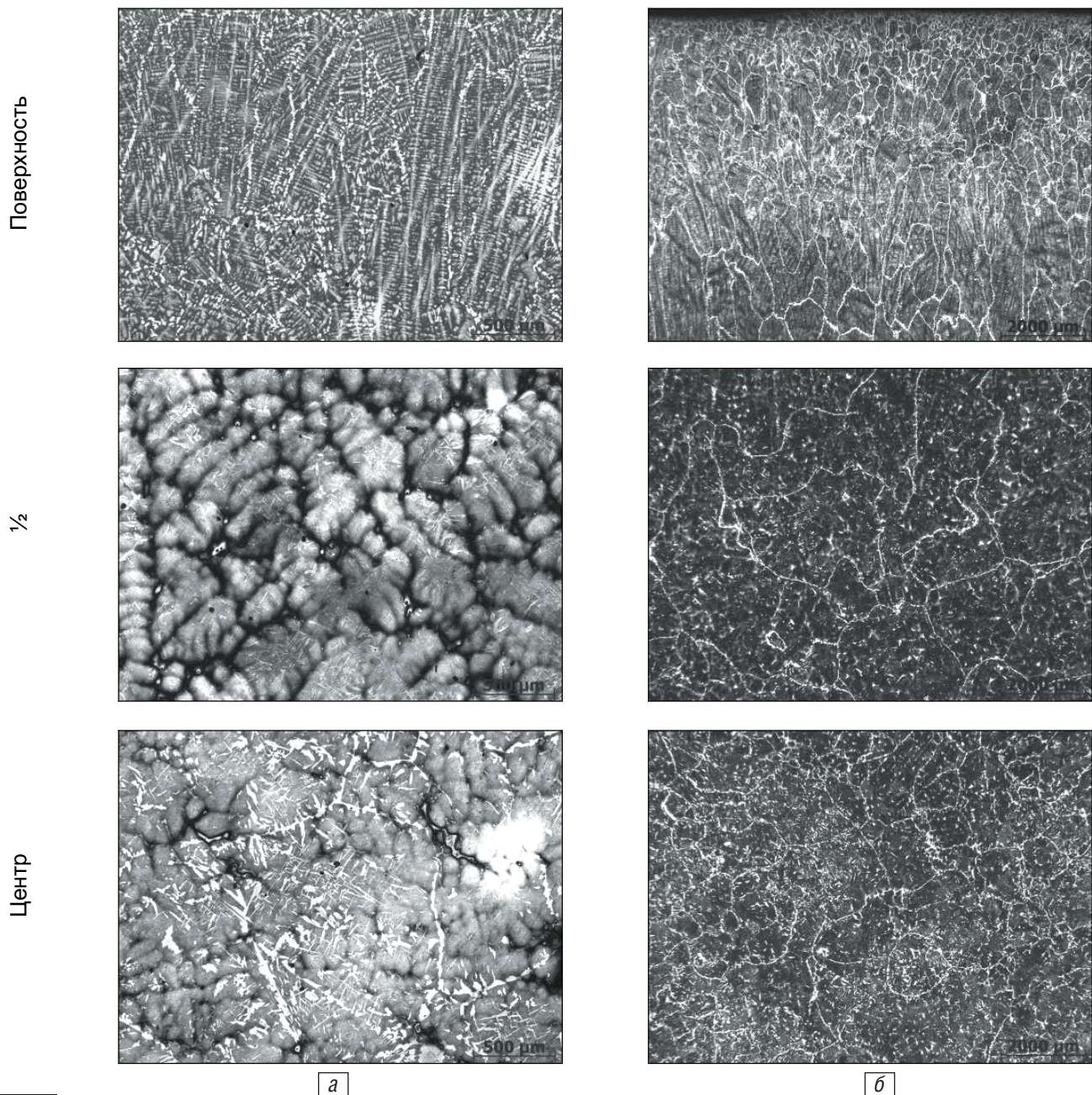


Рис. 1. Микроструктура по сечению НЛЗ 135х135 мм: дендритная (а); зеренная (б), ×30

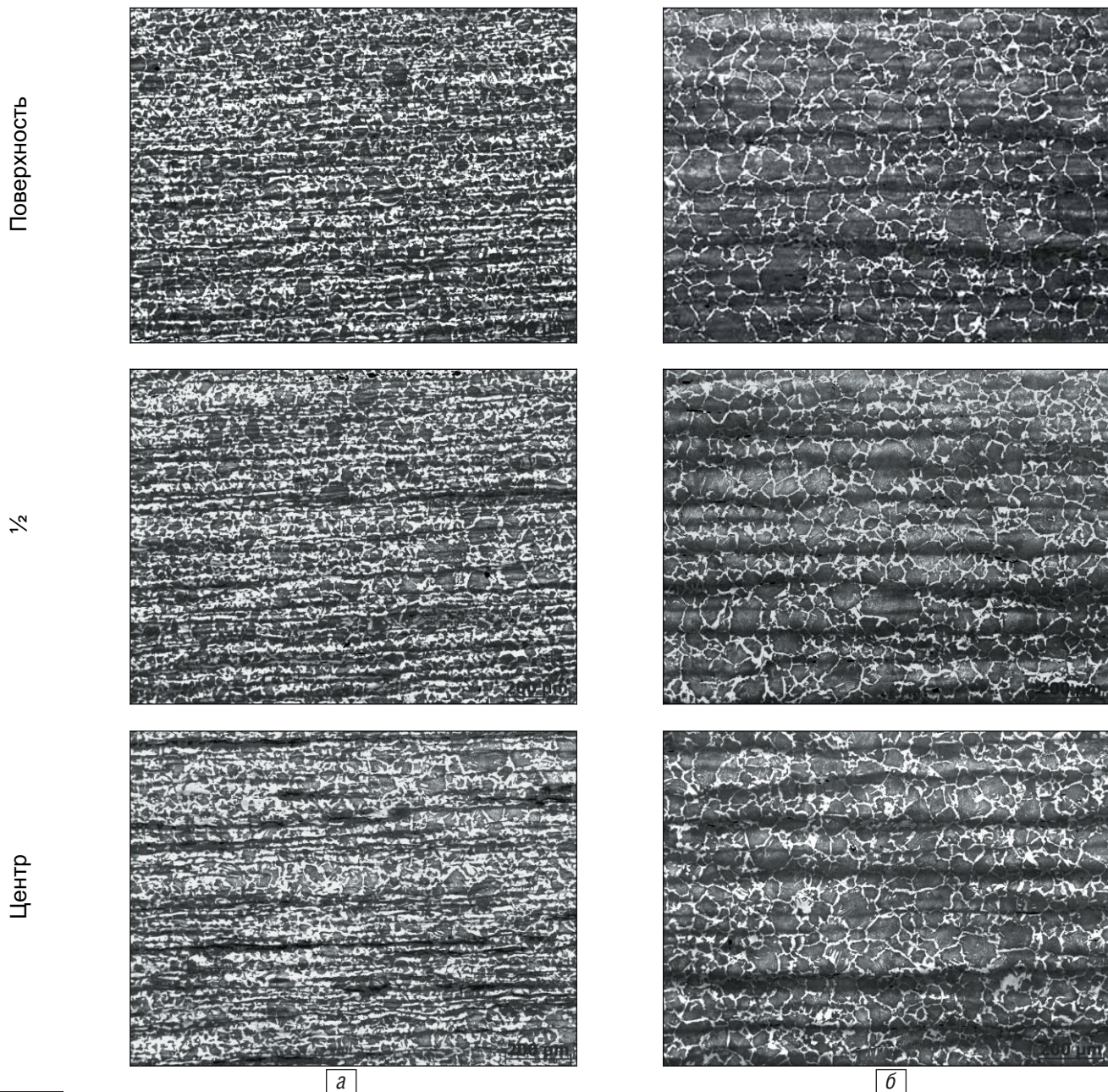
Таблица 2

Результаты расчета вытяжки проката по изменению плотности дендритной структуры

Вид продукции	Место исследования	Количество дендритов на 1 мм <sup>2</sup> поперечного шлифа, шт	Плотность дендритной структуры в объеме сплава, 1/мм <sup>2</sup>	Уплотнение дендритной структуры*	Среднее по сечению уплотнение дендритной структуры	Вытяжка фактическая
НЛЗ, 135×135 мм	поверхность	418,09	836,18	–	–	–
	½ R	28,53	57,07	–		
	центр	23,25	46,50	–		
Круглый прокат, Ø 25 мм	поверхность	3617,70	7235,40	8,65	54,34	37,14
	½ R	2216,05	4432,10	77,66		
	центр	1783,78	3567,56	76,72		
Круглый прокат, Ø 56 мм	поверхность	1221,10	2442,20	2,92	11,01	7,40
	½ R	453,70	907,40	15,89		
	центр	331,03	662,06	14,23		

\*отношение плотности структуры проката и исходной НЛЗ





**Рис. 2.** Изменение дендритной структуры по сечению горячекатаных заготовок  $\varnothing$  25 мм (а) и  $\varnothing$  56 мм (б), изготовленных из непрерывнолитого металла,  $\times 30$

проработанными оказываются поверхностные слои, в которых плотность элементов дендритной структуры максимальна. По мере приближения к центральным слоям плотность дендритной структуры уменьшается, что свидетельствует об ухудшении прорабатываемости (табл. 2).

Расчеты показали, что при деформации НЛЗ 135 $\times$ 135 мм на круглые заготовки  $\varnothing$  25 и 56 мм плотность дендритной структуры по сечению в среднем повышается в 54,34 и 11,01 раза соответственно.

Показано, что дендритная структура плотнее по всему сечению заготовки  $\varnothing$  25 мм (рис. 2, табл. 2) по сравнению с заготовкой  $\varnothing$  56 мм. Полученные данные говорят о том, что лучшая проработка дендритной структуры достигнута после деформации в круглой заготовке  $\varnothing$  25 мм.

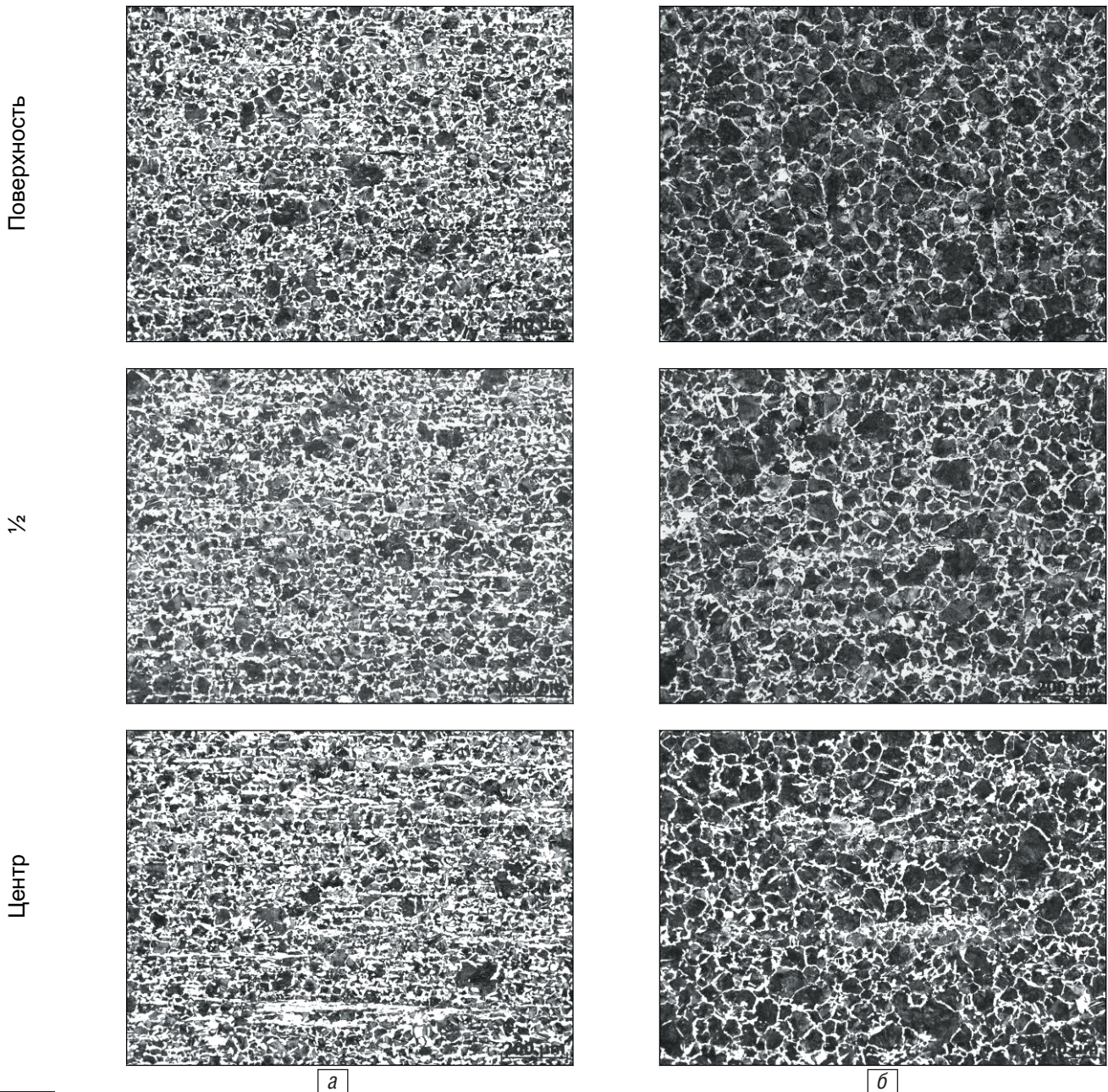
Образующаяся зеренная структура в непрерывнолитой заготовке крайне неравноосная, вытянутая от поверхности к центру заготовки, границы перлит-

ных зерен извилистые, часто незамкнутые. Влияние последующей деформации приводит к образованию более выгодной (с точки зрения уменьшения поверхностной энергии) форме зерен.

По результатам металлографического анализа можно судить о том, что заготовка  $\varnothing$  25 мм отличается мелкозернистой зеренной структурой, размер зерна порядка 8-7 номера согласно ГОСТ 5639 (встречаются зерна 5 номера). В заготовке  $\varnothing$  56 мм неравномерная зеренная структура, размер зерна порядка 5-4 номера (встречаются зерна 3 номера) (рис. 3). По-видимому, это можно объяснить условиями охлаждения заготовок – заготовка меньшего диаметра охлаждалась быстрее, что способствовало получению более мелкозернистой структуры.

Для оценки степени проработки литой структуры на практике часто используется показатель продольной деформации (вытяжка  $\mu$ ), определяемый как отношение площадей поперечного сечения слитка и





**Рис. 3.** Изменение зеренной структуры по сечению горячекатаных заготовок Ø 25 (а) и Ø 56 мм (б), ×30

заготовки. В частности, в работе [4] для полной проработки литой структуры и получения качественного проката рекомендуется вытяжка более 10.

Степень вытяжки позволяет прогнозировать изменение макроструктуры металла в результате деформации. В то же время исследования показали, что для оценки возможности готового металлопроката из непрерывнолитого металла удовлетворять требования потребителя по структуре и ее однородности, а по уровню механических свойств лучше использовать структурный критерий [5] – плотность дендритной структуры.

Так, если оценивать проработку исследованного металла (см. табл. 1) по степени вытяжки, то заготовка Ø 25 мм имеет  $\mu \sim 37,1$ , а Ø 56 – всего около 7,5. Вместе с тем, характер дендритной (рис. 2) и зеренной (рис. 3) структур свидетельствует о необходимости дополнительной оценки характера происходящих структурных превращений в стали для получения целостного представления.

От неметаллических включений во многом зависят как технологические, так механические и эксплуатационные свойства стали.

Отметим, что механические свойства проката удовлетворяют требованиям ГОСТ 2590.

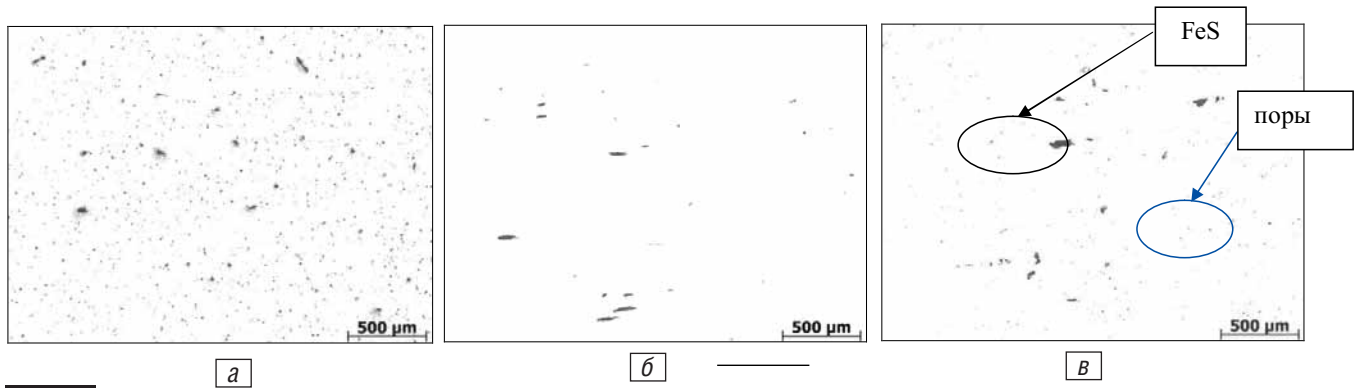
**Таблица 3** Уровень показателей механических характеристик представлен в табл. 3.

#### Механические свойства круглой стали

Требования ГОСТ 2590 к стали 45 после нормализации	Диаметр круга, мм	$\sigma_r$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %
		355	600	не менее 16	не менее 40
По результатам испытаний	Ø 25	438	651	19	42
	Ø 56	497	662	24	41

Значения пластических характеристик ( $\psi$ ) находятся на нижнем пределе, допустимом ГОСТ, однако микроструктура не объясняет





**Рис. 4.** Микроструктура: непрерывнолитого металла – 1/4 толщины (а); круглой заготовки разного диаметра – 1/2 R: Ø 25 мм (б); Ø 56 (в), ×30

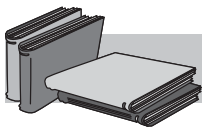
данного явления. Поэтому провели оценку загрязненности (по стандарту ГОСТ 1778-70) неметаллическими включениями круглой стали, которая показала, что как в непрерывнолитом металле, так и круглой заготовке довольно большим количеством неметаллических включений обладают сульфиды железа (рис. 4).

Для непрерывнолитого металла, по сравнению с круглой заготовкой, характерно наличие значительного количества пор по сечению, которые в процессе деформации завариваются в некоторой степени, а сульфиды принимают вытянутую форму и их количество уменьшается. В заготовке Ø 25 мм в процессе деформации поры заваривались, включения в основ-

ном составляют 3 балла, а в заготовке Ø 56 мм – порядка 4 баллов (согласно ГОСТ 1778-70). Однако полностью избавиться от пор после проработки заготовки Ø 56 мм не удалось, хотя количество их уменьшилось (рис. 4).

### Выводы

Проведенные исследования показали, что существующий уровень технологии гарантирует получение качественного круглого проката Ø 25 мм. При производстве проката больших диаметров необходимо совершенствовать параметры технологии, выплавки и разливки стали с целью улучшения макроструктуры НЛЗ.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Интенсификация режима обжаривания на блюминге 1150 / А. П. Чекмарев, В. Л. Павлов, В. М. Клименко и др. // *Сталь*. – 1955. – № 10. – С. 916-921.
2. Голиков И. Н., Масленков О. Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. – М.: *Металлургия*, 1977. – 224 с.
3. Паршин В. М., Козачков Е. А., Корниенко А. И. Особенности литой структуры непрерывнолитых слитков крупного прямоугольного сечения // *Изв. вузов. Чер. металлургия*. – 1987. – № 11. – С. 43-47.
4. Правосудович В. В., Сокуренок В. П., Данченко В. Н. Дефекты стальных слитков и проката. – М.: «Интермет Инжиниринг», 2006. – 382 с.
5. Оценка деформированного состояния металла по изменению параметров дендритной структуры / Г. В. Левченко, Е. Г. Демина, С. А. Воробей и др. // *Металлургическая и горнорудная пром-сть*. – 2009. – № 4. – С. 72-75.

### Анотація

*Левченко Г. В., Нефедьева О. Є., Серов О. І., Смірнов Є. М., Галухіна І. М.*  
Формування структури та механічних властивостей круглого прокату з безперервнолитої сталі

Досліджено особливості формування структури і механічних властивостей круглого прокату діаметром від 25 до 56 мм з безперервнолитої сталі 45.

### Ключові слова

круглий прокат, структура, щільність, витяжка

The features of structure formation and mechanical properties of the rounds in diameter from 25 to 56 mm of continuous casting steel 45 was investigated

Поступила 30.03.11

УДК 621.74.021

**А. М. Михальцов, А. А. Пивоварчик, С. П. Задруцкий, В. А. Розум, И. Г. Либерг\*,  
В. П. Каргинов\*\***

Белорусский национальный технический университет, Минск

\*ООО «Комплекс Плюс», Харьков

\*\*ООО «Союз», Днепропетровск

## Противозадирные свойства смазок при литье под давлением алюминиевых сплавов

Приведены результаты по исследованию влияния смазки и шероховатости поверхности оснастки на процесс разделения контактирующих поверхностей на границе отливка-стержень при литье под давлением алюминиевых сплавов.

**Ключевые слова:** смазка, литье под давлением, отливка, стержень, алюминиевые сплавы

Усилия, возникающие при выталкивании отливки из пресс-формы, обусловлены обжатием поверхностей, охватываемых отливкой в результате усадки сплава при его затвердевании и охлаждении. Принято считать [1, 2], что при выталкивании из пресс-формы отливка перемещается по охватываемым поверхностям (стержням). Сопротивление выталкиванию обусловлено наличием сил трения между отливкой и охватываемыми поверхностями.

Вместе с тем, осциллограммы процесса выталкивания отливки из пресс-формы, приведенные в работе [1], свидетельствуют о том, что съем отливки со стержня происходит одновременно, импульсно, если стержень установлен без перекосов и на его поверхности отсутствуют задиры.

Рассмотрим схему сил, действующих при удалении отливки со стержня, предложенную авторами работы [3] (рис. 1).

Условие равновесия сил, действующих при съеме отливки со стержня, спроектированных на горизонтальную ось, можно записать в следующем виде:

$$P = T \cos \beta - F \sin \beta,$$

где  $P$  – усилие извлечения стержня из отливки;  $T$  – сила трения между отливкой и стержнем;  $F$  – реакция нормального давления со стороны отливки, вызванная усадкой сплава;  $\beta$  – литейный уклон стержня.

Если предположить, что у стержня идеально

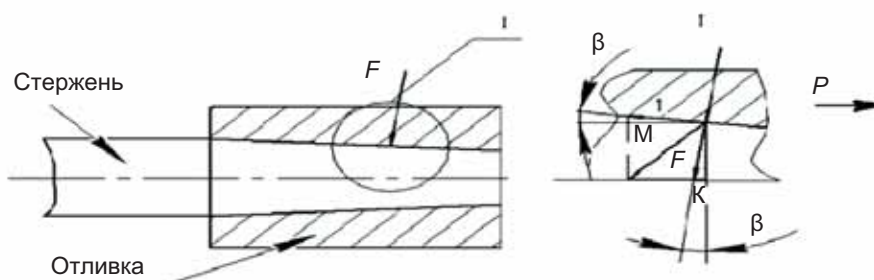


Рис. 1.

Схема сил, действующих при удалении отливки со стержня