

## ПОКАЗАТЕЛЬ РАЗМЕРНОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В АСПЕКТЕ ВЛИЯНИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ ВАГОННЫХ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 20ГЛ

*Богданов Р.А.*

*Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия*

**Ключевые слова:** рама боковая, балка надрессорная, ударная вязкость, площадь и средний размер неметаллических включений, сталь 20ГЛ.

**Аннотация.** В настоящей работе исследовали факторы воздействия металлографии неметаллических включений (НМВ), в частности, сульфидов и точечных оксидов по площади и среднему размеру, на значения ударной вязкости  $KCV_{-60}$  в образцах из стали 20ГЛ, используемой на вагонные отливки – «Рама боковая» и «Балка надрессорная».

## THE DIMENSION INDEX OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN THE ASPECT OF THE IMPACT ON THE IMPACT STRENGTH OF 20GL STEEL CASTINGS

*Bogdanov R.A.*

*Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia*

**Keywords:** side frame, spring beam, impact strength, area and average size of non-metallic inclusions, steel 20GL.

**Abstract.** In this work, the factors of the impact of metallography of nonmetallic inclusions (NMV), in particular, sulfides and point oxides in area and average size, on the values of the impact strength of  $KCV_{-60}$  in samples of 20GL steel used for carriage castings: "Side frame" and "Spring beam" were investigated.

### **Введение**

Производство вагонного литья на предприятии АО «ПО «Бежицкая сталь» увязано с длительностью и сложностью технологического процесса его изготовления, приводящего к появлению различных видов брака. Так, статистика электродуговых плавков по вагонным отливкам – «Рама боковая» и «Балка надрессорная», получаемым из стали 20ГЛ, за весь период 2022 г показывает наличие брака только по одной лишь ударной вязкости со значениями  $KCV_{-60} < 2,0 \cdot 10^2$  кДж/м<sup>2</sup> в количестве (491 плавка или 20,6%) от общего объёма (2383 плавков).

В отличие от термообработки, меняющей микроструктуру различных сталей [1-2], технология выплавки литейной стали 20ГЛ в электродуговых печах (ДСП-15) способствует образованию в ней неметаллических включений (НМВ), по-своему влияющих на показатели ударной вязкости с учетом их размера и конфигурации, расположения и вида [3-4].

Цель работы – провести сравнительный анализ НМВ по размерным показателям в образцах из литейной стали 20ГЛ с разными результатами ударной вязкости  $KCV_{-60} < 2,0$  и  $KCV_{-60} > 2,0 \cdot 10^2$  кДж/м<sup>2</sup>.

### Методика проведения исследований

Анализатором немецкой фирмы Spectro Analytical Instruments GmbH модели "СПЕКТРОМАХх" устанавливали концентрацию согласно ГОСТу 32400-2013 химических элементов в литейной стали 20ГЛ, применяемой на предприятии АО «ПО «Бежицкая сталь» для вагонных отливок: «Рама боковая» и «Балка надрессорная».

Для металлографического анализа НМВ отобрали два образца из стали 20ГЛ с химическим составом и разной ударной вязкостью (табл. 1, рис. 1).

Ударную вязкость фиксировали маятниковым копром "PSd 450-2" (WPM Leipzig GmbH) согласно ГОСТ 9454-78 с V-образным надрезом при низких температурах ( $-60^{\circ}\text{C}$ ).

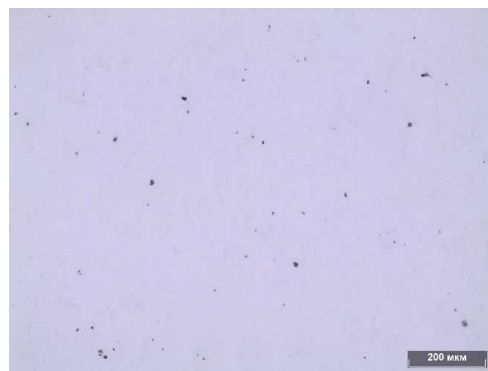
Установленной программой Vestra Image System на электронном растровом микроскопе Zeiss SIGMA VP фирмы «Carl Zeiss» проводили металлографический анализ НМВ образцов №1 и №2 (табл. 2, рис. 2).

Табл. 1. Химический состав и значения ударной вязкости образца

№ образца	Химический состав, %										KCV, кДж/м <sup>2</sup>	Заключение
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	Al		
1	0,21	1,19	0,40	0,012	0,016	0,17	0,11	0,12	0,002	0,051	115,0	Не соотв.
2	0,20	1,18	0,39	0,016	0,015	0,14	0,08	0,14	0,002	0,049	273,8	Соотв.



а



б

Рис. 1. Рассредоточение НМВ нетравленных образцов №1 (а) и №2 (б), x100

Табл. 2. Количество НМВ (сульфидов) в пределах площади на образце №1

№	Цвет	от	до	Количество, %	Количество, шт
1	Желтый	0	10	82,7	2503
2	Красный	10	20	8,43	255
3	Зеленый	20	30	3,64	110
4	Синий	30	40	1,95	59
5	Оливковый	40	50	1,36	41
6	Фиолетовый	50	60	0,83	25
7	Светло-желтый	60	70	0,56	17

Табл. 2. Продолжение

№	Цвет	от	до	Количество, %	Количество, шт
8	розовый	70	80	0,3	9
9	зеленый	80	90	0,13	4
10	голубой	90	100	0,099	3

### Результаты исследований и их обсуждение

Подбор образцов из стали 20ГЛ проводили с учетом однотипности их химического состава (табл. 1), исключив его из факторов воздействия на результаты ударной вязкости [5].

Акцент исследования образцов из стали 20ГЛ с разной ударной вязкостью сделан на размерные показатели площади и среднего диаметра сульфидов (С) и оксидов точечных (ОТ) в зависимости от их количества на нетравленных шлифах (рис. 2-9).

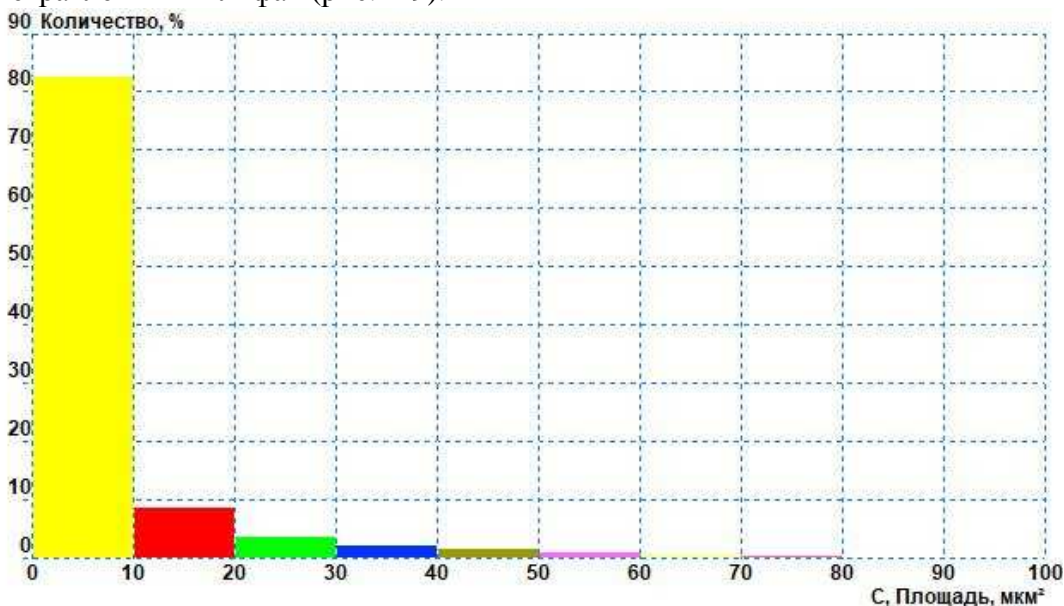


Рис. 2. Диаграмма соотношения количества и площади сульфидов в образце №1

Сопоставление количества занимаемой площади сульфидов с разных образцов (рис. 2-3) из стали 20ГЛ показывает фактическое совпадение в пределах от 0 мкм<sup>2</sup> до 100 мкм<sup>2</sup>, но и разницей в наличии по минимуму крупных включений сульфидов в пределах от 100 мкм<sup>2</sup> до 550 мкм<sup>2</sup> в образце №2.

Отличительной особенностью исследуемых образцов является количество среднего диаметра сульфидов в диапазоне от 0 мкм до 3 мкм и существование минимального объема (менее 5%) средних размеров в пределах от 32 мкм до 116 мкм в образце №2 (рис. 4-5).

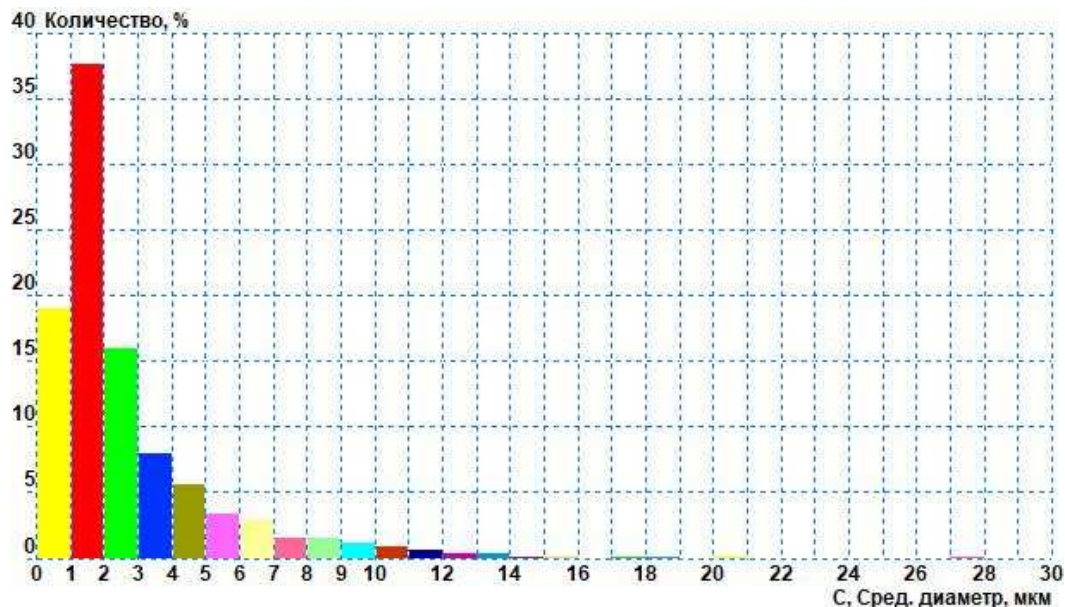


Рис. 4. Диаграмма соотношения количества и среднего диаметра сульфидов в образце №1

По сравнению с сульфидами, соотношение количества занимаемой площади оксидов точечных с разных образцов (рис. 6-7) из стали 20ГЛ отображает существенные несоответствия: нахождение в образце №1 оксидов точечных в количестве свыше 5% в пределах от 0 мкм<sup>2</sup> до 60 мкм<sup>2</sup> и в количестве менее 5% в пределах от 60 мкм<sup>2</sup> до 350 мкм<sup>2</sup> с аналогией образца №2 количество оксидов точечных свыше 50% в пределах от 0 мкм<sup>2</sup> до 10 мкм<sup>2</sup> и в количестве менее 5% в пределах от 10 мкм<sup>2</sup> до 530 мкм<sup>2</sup>.

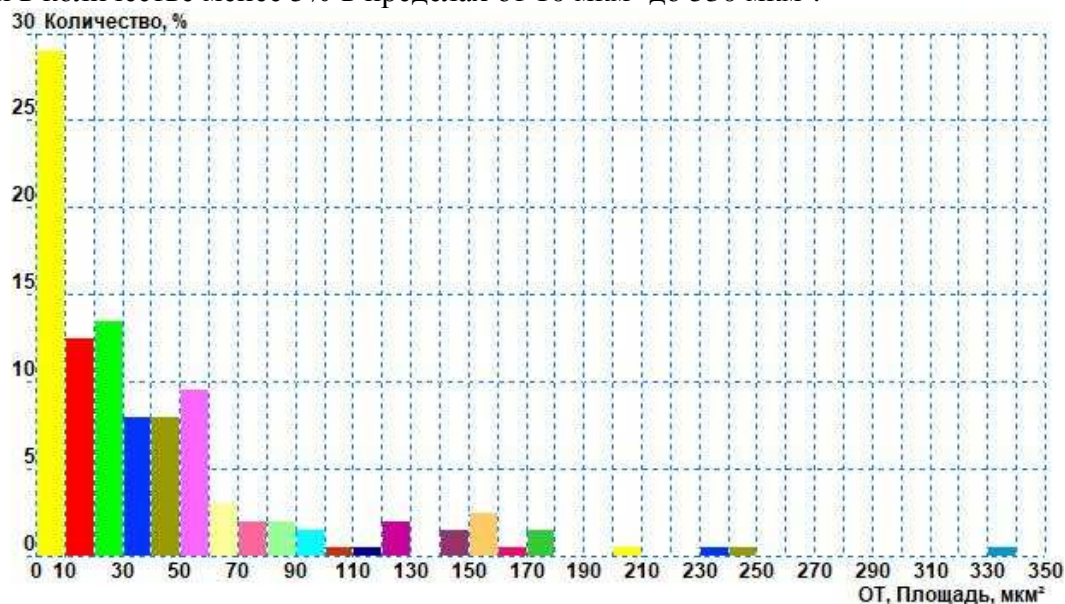


Рис. 6. Диаграмма соотношения количества и площади оксидов точечных в образце №1

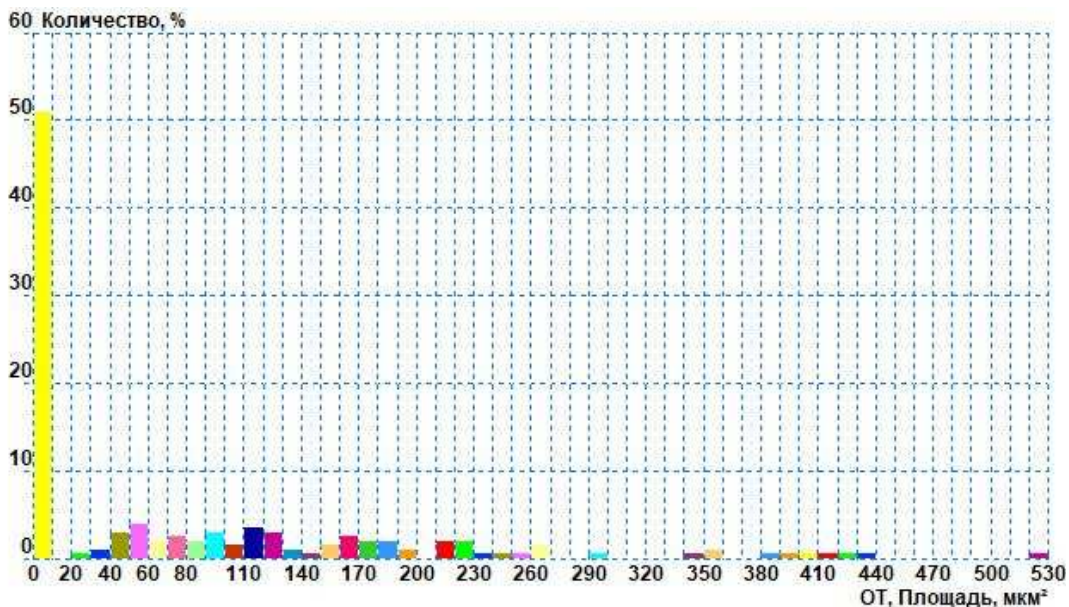


Рис. 7. Диаграмма соотношения количества и площади оксидов точечных в образце №2

Сопоставляя диаграммы по количеству среднего диаметра занимаемой оксидами точечными (рис. 8-9), можно заметить существенную разницу: наличие в образце №2 крупных включений оксидов точечных в количестве менее 5% в пределах от 25 мкм до 45 мкм и присутствие в образце №1 оксидов точечных в количестве свыше 5% в пределах от 2,92 мкм до 10,7 мкм.

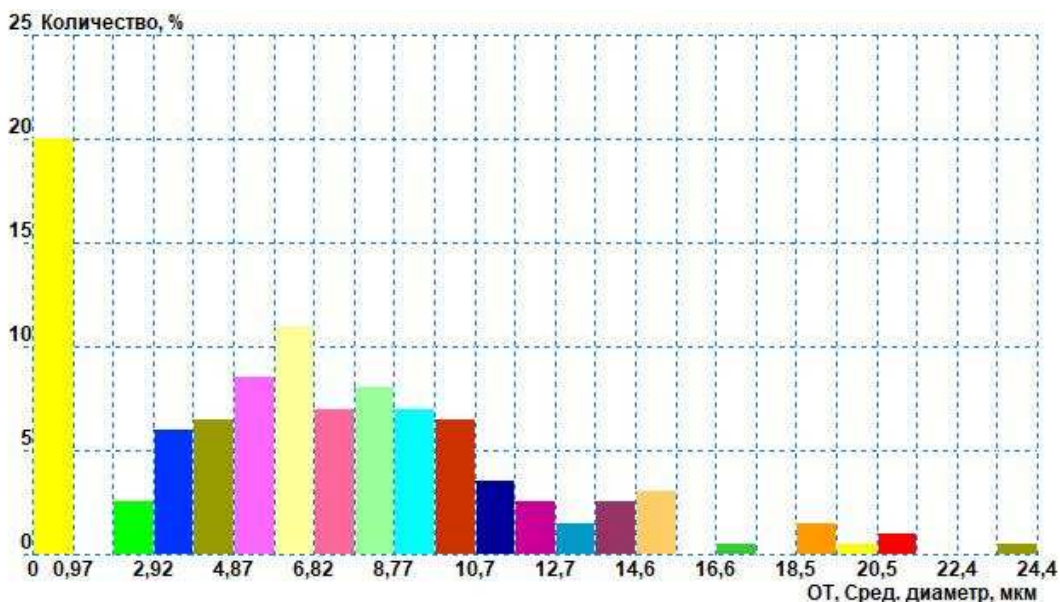


Рис. 8. Диаграмма соотношения количества и среднего диаметра оксидов в образце №1

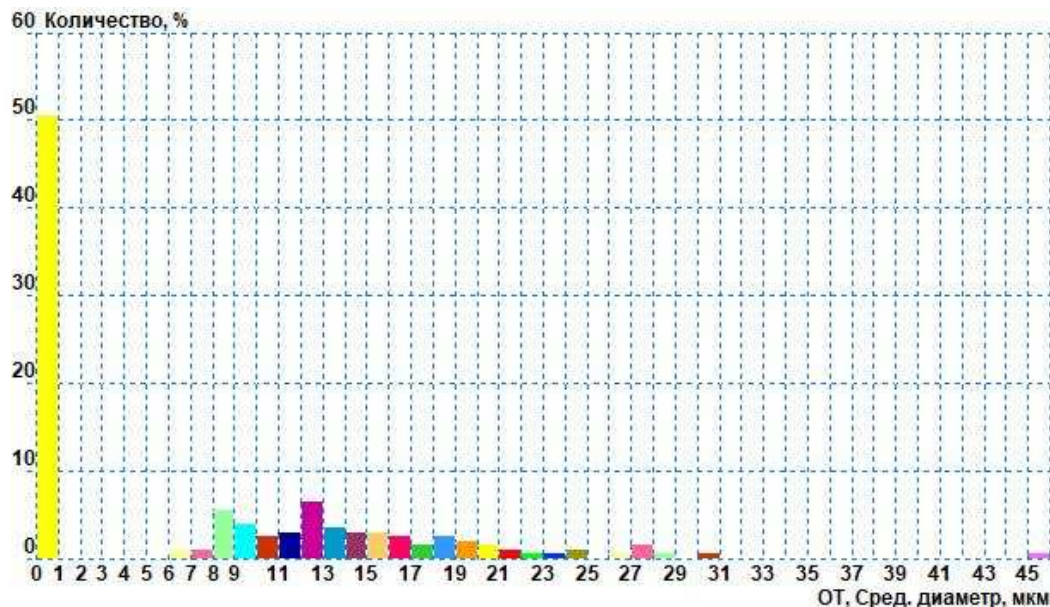


Рис. 9. Диаграмма соотношения количества и среднего диаметра оксидов в образце №2

### Выводы

Проанализировав образцы из стали 20ГЛ с разной ударной вязкостью на предмет количества занимаемой площади и среднего размера сульфидов и оксидов точечных, складывается парадоксальная ситуация: в образце с ударной вязкостью  $KCV_{-60} > 2,0 \cdot 10^2$  кДж/м<sup>2</sup> имеет место мелкие и крупные включения, соответственно, в пределах от 0 мкм<sup>2</sup> до 10 мкм<sup>2</sup> и от 100 мкм<sup>2</sup> до 550 мкм<sup>2</sup>, в отличие от образца с ударной вязкостью  $KCV_{-60} < 2,0 \cdot 10^2$  кДж/м<sup>2</sup>, где преобладают в основном средние включения в пределах от 10 мкм<sup>2</sup> до 100 мкм<sup>2</sup>.

Данному факту есть только одно объяснение: прочностные характеристики металлической матрицы после термообработки (нормализации) предопределило результат в образце №2 с ударной вязкостью  $KCV_{-60} > 2,0 \cdot 10^2$  кДж/м<sup>2</sup>, а не повышенное количество мелких и крупных НМВ в виде сульфидов и оксидов точечных.

### Список литературы

1. Солнцев Ю.П. Хладостойкие стали и сплавы: учебник для вузов. – СПб.: Химиздат, 2017. – 476 с.
2. Богданов Р.А. Неметаллические включения как показатель ударной вязкости вагонных отливок из стали 20ГЛ // Черные металлы. – 2022. – № 2. – С. 29-35.
3. Богданов Р.А., Маркова Ю.М. Микроструктурные параметры как показатели надежности вагонных отливок из стали 20ГЛ // Черные металлы. – 2021. – № 8. – С. 22-26.
4. Богданов Р.А. Влияние модифицирования на ударную вязкость ответственных вагонных отливок из стали 20ГЛ // Заготовительные производства в машиностроении. – 2021. – Т. 19, № 7. – С. 291-297.

5. Богданов Р.А., Давыдов С.В., Болдырев Д.А. Влияние химического состава на ударную вязкость ответственных вагонных отливок из стали 20ГЛ // Сталь. – 2019. – № 12. – С. 48-51.

### References

1. Solntsev Yu. P. Cold-resistant steels and alloys: textbook for universities. – SPb.: Himizdat, 2017. – 476 p.
2. Bogdanov R.A. Nonmetallic inclusions as an indicator of the impact strength of carriage castings made of steel 20GL // Ferrous metals. 2022, no. 2, pp. 29-35.
3. Bogdanov R.A., Markova Yu.M. Microstructural parameters as indicators of reliability of carriage castings from steel 20GL // Ferrous metals. 2021, no. 8, pp. 22-26.
4. Bogdanov R.A. The effect of modification on the impact strength of critical carriage castings made of steel 20GL // Procurement production in mechanical engineering. 2021, vol. 19, no. 7, pp. 291-297.
5. Bogdanov R.A., Davydov S.V., Boldyrev D.A. The influence of chemical composition on the impact strength of critical carriage castings made of steel 20GL // Steel. 2019, no. 12, pp. 48-51.

<b>Богданов Роман Александрович</b> – кандидат технических наук, доцент	<b>Bogdanov Roman Alexandrovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor
Lpim-bra@yandex.ru	

*Received 21.09.2023*