

## Литература

1. Вакуумная самоходная подметально-уборочная машина CityLeon 6 м<sup>3</sup> (Китай). – Режим доступа: <https://esauto.by/catalog/kommunalnaya-tekhnika/oborudovanie-dlya-letnegosoderzhaniya-dorog/podmetatelno-uborochnaya-tekhnika/vakuumnaya-samokhodnaya-podmetelno-uborochnaya-mashina-cityleon-6-m-kub/?ysclid=lw7yv6gkxz74115928>.
2. Электрическая подметально-вакуумная машина Bucher Citycat2020ev. – Режим доступа: <https://dst-cfo.ru/product/elektricheskaya-podmetelno-vakuumnaya-mashina-bucher-citycat2020ev/?ysclid=lw7ytj6fvp904812949>.
3. Вакуумная самоходная подметально-уборочная машина CityMouse 2 м<sup>3</sup>. – Режим доступа: <https://esauto.by/catalog/kommunalnaya-tekhnika/oborudovanie-dlya-letnegosoderzhaniya-dorog/podmetatelno-uborochnaya-tekhnika/vakuumnaya-samokhodnaya-podmetelno-uborochnaya-mashina-citymouse-2-m-kub/>.

УДК 621.785.363

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫДЕРЖЕК  
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ СФЕРОИДИЗИРУЮЩЕМ ОТЖИГЕ  
БУНТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ ШХ15****С. А. Савченко**

*Открытое акционерное общество «Белорусский  
металлургический завод» – управляющая компания холдинга  
«Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин*

**Г. А. Слепнев**

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

Научный руководитель И. В. Астапенко

*Представлены результаты исследования влияния длительности временных выдержек при циклическом (маятниковом) сфероидизирующем отжиге бунтового проката из подшипниковой стали ШХ15 на степень полноты трансформации пластинчатого перлита в зернистый. Исследования проведены на катанке диаметром 6,5 мм, прокатанной по усовершенствованному режиму, позволяющему получить исходную мелкодисперсную перлитную структуру с межпластинчатым расстоянием 0,126–0,235 мкм и размером пластин цементита не более 0,8 мкм.*

**Ключевые слова:** подшипниковая сталь, сфероидизирующий отжиг, исходная структура, пластинчатый перлит, маятниковый (циклический) отжиг, время циклических изотермических выдержек, обезуглероженный слой, цементитные пластины и глобулы.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF HOLDING DURATION DURING  
CYCLIC SPHEROIDIZING ANNEALING OF ROLLED COIL  
FROM SHKH15 STEEL****S. A. Savchenko**

*Belarusian Steel Works – the management company of the BMC holding, Zhlobin*

**G. A. Slepnev**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Science supervisor I. V. Astapenko

*The results of a study of the influence of the duration of temporary exposures during cyclic (pendulum) spheroidizing annealing of rolled coils made of ShKh15 bearing steel on the degree*

of completeness of transformation of lamellar pearlite into granular pearlite are presented. The studies were carried out on wire rod with a diameter of 6.5 mm, rolled according to an improved mode, which makes it possible to obtain an initial fine pearlite structure with an interplate distance of 0.126–0.235  $\mu\text{m}$  and a cementite plate size of no more than 0.8  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** bearing steel, spheroidizing annealing, initial structure, lamellar pearlite, pendulum (cyclic) annealing, cyclic isothermal holding time, decarburized layer, cementite plates and globules.

Цель работы – исследование влияния временных этапов выдержек сфероидизирующего отжига бунтового проката из подшипниковой стали диаметром 6,5 мм на процесс сфероидизации пластинчатого перлита с целью сокращения времени циклического отжига маятникового типа.

В работе представлены результаты исследования влияния длительности временных выдержек при циклическом (маятниковом) сфероидизирующем отжиге бунтового проката из подшипниковой стали ШХ15 на степень полноты трансформации пластинчатого перлита в зернистый. Исследования проводились на катанке диаметром 6,5 мм, прокатанной по усовершенствованному режиму после гомогенизирующего отжига непрерывнолитых заготовок [1, 2], позволяющему получить исходную мелкодисперсную перлитную структуру с межпластинчатым расстоянием 0,126-0,235 мкм и размером пластин цементита не более 0,8 мкм [3, 4].

Для проведения сфероидизирующего отжига бунтового проката из подшипниковых сталей применяется универсальный режим циклического отжига маятникового типа с двумя циклами «нагрев/охлаждение» (рис. 1) [5].

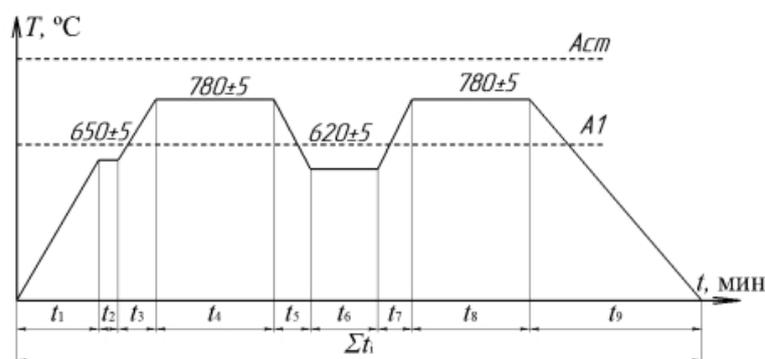


Рис. 1. Схема действующего, утвержденного режима сфероидизирующего отжига маятникового типа для бунтового проката из стали ШХ-15

Металлографическое исследование образцов осуществлялось на катанке диаметром 6,5 мм из стали ШХ15 с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA GMS с энергодисперсионным микроанализатором AztecLive Automated Ultim Max 65. Прокатка и ТО проводились по усовершенствованному режиму в проволочной линии и линии «Стелмор» мелкосортно-проволочного стана (МСПС) 370/150.

Исследования были проведены на катанке диаметром 6,5 мм из стали ШХ15 после сфероидизирующего отжига по четырем экспериментальным режимам, к которой предъявлялись следующие требования согласно ГОСТ 801:

- уровень обезуглероженного слоя (далее – ОБС) – не более 0,25 мм для стали диаметром от 4 до 15 мм;
- микроструктура горячекатаной отожженной стали – не более 4 балла;
- твердость горячекатаной отожженной стали – 179–207 НВ.

Сфероидизирующий отжиг проводился в лабораторной печи Maetherm A-125-1300.

Проведение исследовательской работы было разделено на четыре экспериментальных режима с вариацией длительности интервалов выдержек, представленных в табл. 1. При этом температуры выдержек остались неизменными по отношению к базовому варианту (табл. 1).

Таблица 1

Параметры стадий выдержки сфероидизирующего отжига по экспериментальным режимам

Номер экспериментального режима	Параметр	Интервалы времени $t_i$ (см. рис. 1)			
		$t_2$	$t_4$	$t_6$	$t_8$
1	Время интервала, % от базового	90			
2		75			
3		50			
4		25			

Микроструктура после отжига имела зону частично обезуглероженного слоя ОБС с характерными участками: зоной феррито-перлитной структуры, зоной пластинчатого перлита при основной структуре зернистого перлита или зоной зернистого перлита, обедненной карбидами в подповерхностной зоне, что является несоответствием по ОБС (не более 1 % от диаметра) (рис. 2, а, б).

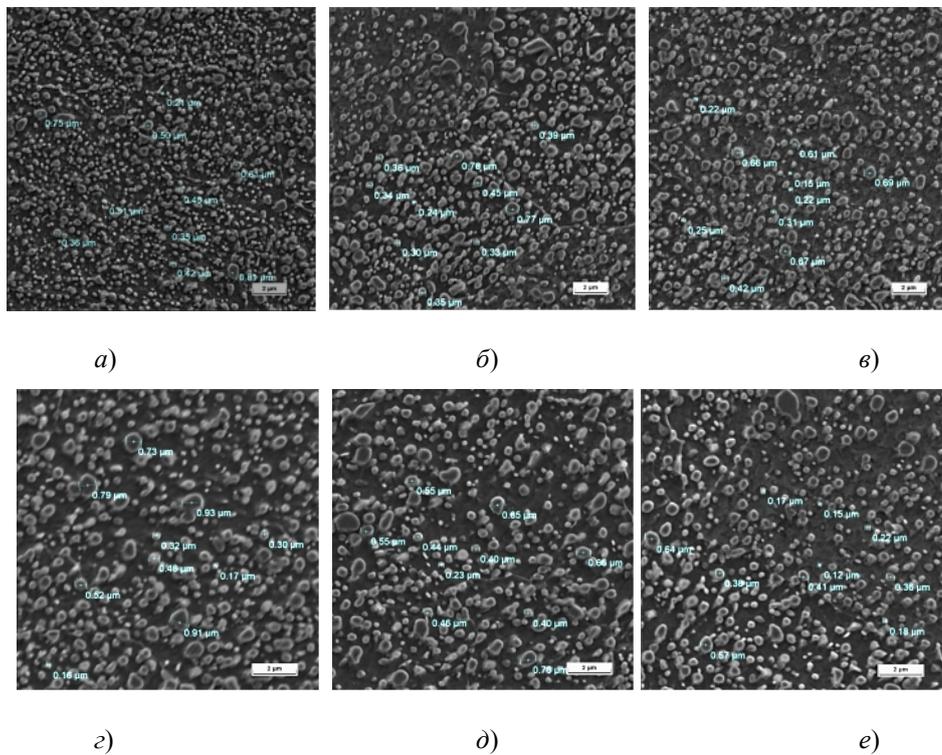


Рис. 2. Микроструктура образцов после проведения сфероидизирующего отжига:

а, б, в – подповерхностная (до 1,5 мм) зона после отжига по режимам № 1, 2, 3 соответственно; г, д, е – центральная зона после отжига по режиму № 1, 2, 3 соответственно,  $\times 20000$

Анализ влияния усовершенствованного режима отжига (формирование сфероидизированного перлита) на микроструктуру проката показал, что режимы № 1–3 обеспечивают полную трансформацию пластин карбида железа в глобули.

Результаты исследования качественных показателей бунтового проката по ГОСТ 801 приведены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Качественные показатели бунтового проката по ГОСТ 801 после прокатки по усовершенствованному режиму охлаждения и проведения штатного сфероидизирующего отжига**

Параметры	Номер экспериментального режима			
	1	2	3	4
Уровень обезуглероженного слоя	0,1–0,10	0,1–0,14	0,1–0,10	0,39–0,45
Микроструктура горячекатаной отожженной стали, балл зернистого перлита (ЗП)	2	2	2–3	7–8
Твердость, НВ	183–191	181–190	185–198	202–215

После отжига по режиму № 4 эффект формирования структуры зернистого перлита не достигнут.

Таким образом, сделаем следующие выводы:

1. При мелкопластинчатом сорбитообразном перлите в исходной микроструктуре бунтового проката из стали ШХ15 происходит существенное (до 50 %) снижение времени циклического сфероидизирующего отжига.

2. При недостаточном времени выдержек (режим № 4) сфероидизация пластин карбидов железа не происходит, однако их дробление также не обнаружено. Это свидетельствует о том, что сфероидизация мелкодисперсного перлита происходит в одну стадию – непосредственно при трансформации пластин в глобули.

#### Л и т е р а т у р а

1. Астапенко, И. В. Анализ влияния гомогенизирующего отжига блюмов подшипниковых марок стали на качество проката / И. В. Астапенко, С. А. Савченко // Современные проблемы машиноведения : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф.и (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого». – Гомель, 2020. – С. 100–102.
2. Савченко, С. А. Оценка эффективности режимов гомогенизирующего отжига подшипниковых марок сталей на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / С. А. Савченко, В. И. Возная, И. В. Астапенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2021. – № 2 (85). – С. 52–61.
3. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали / И. А. Панковец [и др.] // Черная металлургия. – 2021. – № 77 (7). – С. 804–810. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-7-804-810>
4. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путеев [и др.] // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 65–73. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-65-73>
5. Особенности формирования мелкодисперсной структуры бунтового проката подшипниковой стали / С. А. Савченко [и др.] // Черные металлы. – 2024. – № 4. – С. 32–38. <https://doi.org/10.17580/chm.2024.04.05>