

УДК 621.785.369

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ ГОМОГЕНИЗИРУЮЩЕГО ОТЖИГА ПОДШИПНИКОВЫХ МАРОК СТАЛЕЙ НА ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

С. А. САВЧЕНКО, В. И. ВОЗНАЯ

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Республика Беларусь*

И. В. АСТАПЕНКО

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

Рассмотрена актуальная проблема производства сортового проката в прутках из подшипниковых марок сталей с высокими требованиями к карбидной неоднородности на действующем производстве стана 370/150 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Описана технология высокотемпературного отжига непрерывно-литых заготовок на станах 850 и 370/150. Выявлена степень влияния процесса гомогенизации непрерывно-литых заготовок на уровень карбидной неоднородности в готовом сорте. Выполнен анализ проблем, возникающих при производстве сортового проката в прутках из непрерывно-литых заготовок подшипниковых марок сталей, предварительно прошедших гомогенизирующий отжиг. Проведено исследование причин получения аварийного брака при прокатке. Установлены особенности проведения гомогенизирующего отжига, а также оптимальные режимы использования производственных мощностей. Произведен расчет затрат на проведение гомогенизирующего отжига.

Ключевые слова: гомогенизирующий отжиг, подшипниковая сталь, непрерывно-литая заготовка, горячая сортовая прокатка, температурный режим прокатки, дефекты микроструктуры стали, карбидная неоднородность (сегрегация).

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE REGIMESHOMOGENIZING ANNEALING OF BEARING STEEL GRADES AT OJSC “BSW – MANAGEMENT COMPANY OF “BMC” HOLDING”

S. A. SAVCHENKO, V. I. VOSNAYA

*OJSC “BSW – management company of “BMC”
holding”, Zhlobin, the Republic of Belarus*

I. V. ASTAPENKO

*Educational Institution “Sukhoi State Technical University
of Gomel”, the Republic of Belarus*

The article considers the current problem of production of high-grade rolled stock in bars from bearing grades of steels with high requirements for carbide heterogeneity at the current production of mill 370/150 of BMZ OJSC – management company of BMC holding. The technology of high-temperature annealing of continuously cast blanks at mills 850 and 370/150 is described. Degree of influence of homogenisation process of continuous cast blanks on level of carbide inhomogeneity in finished class is revealed. Analysis of problems arising during production of rolled stock in bars from continuously cast billets of bearing grades of steels, which have previously undergone homogenizing annealing, has been performed. Investigation of causes of emergency scrap during rolling was

carried out. Features of homogenizing annealing are established, as well as optimal modes of use of production facilities. The cost of homogenizing annealing has been calculated.

Keywords: homogenizing annealing, bearing steel, continuous cast billet, hot grade rolling, temperature mode of rolling, defects of steel microstructure, carbide inhomogeneity (segregation).

Введение

Как известно, методы устранения карбидной ликвации лежат в основе технологии выплавки и разливки, в прокатном же производстве и при термообработке возможна лишь минимизация негативных факторов, влияющих на потребительские свойства подшипников. Основным мероприятием в прокатном производстве, направленным на уменьшение карбидной ликвации, является создание условий для диффузии – равномерного распределения атомов карбида железа по всему объему заготовки, достигаемого при гомогенизирующем (диффузионном) отжиге [1]. Гомогенизирующий отжиг проводят на слитках и непрерывно-литых заготовках при высоких температурах (около 1100–1200 °С), так как в этом случае более полно протекают диффузионные процессы, обеспечивающие выравнивание химического состава по всему объему металла [2].

Цель настоящей работы – исследование технологического процесса высокотемпературного отжига с последующим прокатом подшипниковых сталей в условиях стана 370/150 СПЦ-2 ОАО «БМЗ» для устранения карбидной ликвации.

Технология гомогенизации

Для отработки технологии гомогенизирующего отжига было выбрано два основных маршрута: маршрут 1 – отжиг на стане 850 (табл. 1); маршрут 2 – отжиг на стане 370/150 (табл. 2) [3], [4].

Таблица 1

Температурный режим в нагревательной печи стана 850

Размер заготовки, мм	Температура в печи по зонам, °С				
	1, 2	3	4	5	6
250 × 300 × 2900÷5500	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190

Примечания:

1. Продолжительность нагрева непрерывно-литых заготовок в печи – не менее 10 ч.
2. Соотношение расхода газа и воздуха устанавливается в диапазоне от 1 : 9,5 до 1 : 10,5.

Основным отличием маршрута 1 от маршрута 2 является возможность планирования отжига на стане 850 малыми партиями во время технологического ремонта прокатного оборудования. При этом максимальная вместимость печи на стане 850 составляет 150 т, на стане 370/150 – 550 т. Наиболее оптимальным был признан отжиг в печах стана 850, так как работа проводилась в период планового ремонта, поэтому простои прокатных станов были сведены к минимуму.

Также была отработана технология гомогенизирующего нагрева в печи стана 370/150 (рис. 1) [5].

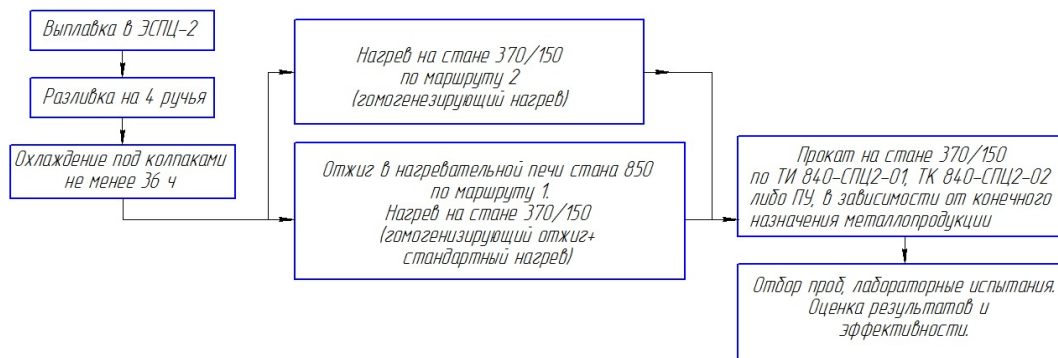


Рис. 1. Схема технологических операций производства прутка с гомогенизирующим отжигом

Таблица 2

Температурный режим в нагревательной печи стана 370/150

Температура в печи по зонам для заготовок 250 x 300 x 2900÷5900 мм, °С								
Верхняя зона предварительного нагрева	Нижняя зона предварительного нагрева	Верхняя зона основного нагрева	Нижняя зона основного нагрева	Верхняя левая зона томления	Верхняя центральная зона томления	Верхняя правая зона томления	Нижняя, торцевая зона томления	
1	2	3	4	5	6	7	8	
860–1050	860–1050	1150 ± 15		1150 ± 15	1205 ± 15	1205 ± 15	1205 ± 15	1205 ± 15

Примечания:

1. Минимальное время нагрева – 500 мин в зонах 3–8.
2. Рекомендованное время нахождения блюмов по зонам: в зонах 3, 4 – 140 мин; в зонах 5–8 – 360 мин (контроль по системе слежения).

Главный критерий оценки эффективности – степень влияния процесса гомогенизации на уровень карбидной неоднородности в готовом сорте CZ6 (не более 6,3) и CZ7 (не более 7,4). Результаты металлографических испытаний горячекатаного прутка, произведенного из непрерывно-литых заготовок, прошедших гомогенизацию на станах 850 и 370/150, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты металлографических испытаний

Гомогенизирующий отжиг блюмов на стане 850			Гомогенизирующий нагрев блюмов на стане 370/150		
Профиль, мм	Карбидная ликвация сомкнутая CZ6	Карбидная ликвация раздробленная CZ7	Профиль, мм	Карбидная ликвация сомкнутая CZ6	Карбидная ликвация раздробленная CZ7
38	6,2	7,4	36	6,3	7,2
45	6,1	7,4	36	6,3	7,2
45	6,3	7,3	40	6,1	7,1
50	6,1	7,3	40	6,1	7,1

Окончание табл. 3

Гомогенизирующий отжиг блюмов на стане 850			Гомогенизирующий нагрев блюмов на стане 370/150		
Профиль, мм	Карбидная ликвация сомкнутая CZ6	Карбидная ликвация раздробленная CZ7	Профиль, мм	Карбидная ликвация сомкнутая CZ6	Карбидная ликвация раздробленная CZ7
50	6,3	7,4	45	6,1	7,3
50	6,2	7,2	45	6,1	7,2
50	6,2	7,2	45	6,2	7,3
53	6,2	7,3	45	6,2	7,2
53	6,2	7,4	45	6,3	7,3
53	6,3	7,4	45	6,2	7,2
55	6,0	7,4	45	6,1	7,2
55	6,1	7,3	45	6,2	7,2
55	6,3	7,4	45	6,2	7,2
55	6,1	7,4	45	6,2	7,2
58	6,1	7,2	45	6,1	7,2
60	6,2	7,2	45	6,1	7,1
60	6,2	7,2	45	6,1	7,1
65	6,2	7,4	45	6,2	7,2
70	6,1	7,3	50	6,1	7,2
70	6,2	7,2	50	6,1	7,2
75	6,2	7,2	55	6,2	7,1
75	6,1	7,4	55	6,1	7,1
75	6,1	7,3	55	6,1	7,1
75	6,2	7,3	60	6,1	7,1
80	6,2	7,3	60	6,1	7,2
80	6,1	7,4	60	6,1	7,1
80	6,2	7,3	60	6,3	7,3
80	6,2	7,3	60	6,3	7,3

Исходя из данных табл. 3, видно, что оба варианта – термообработка малотоннажных партий 850 стана и крупнотоннажных партий стана 370/150 позволяют достигнуть требуемых значений карбидной неоднородности на готовом прутке CZ6 не более 6,3 и CZ7 – не более 7,4.

Результаты и обсуждение исследований

Риски, связанные с проведением гомогенизации, можно разделить на очевидные и неочевидные. К очевидным рискам можно отнести увеличение угара металла и, как следствие – появление поверхностных дефектов, к неочевидным – получение аварийного брака по причине расслоения раската.

Интенсивное выгорание поверхности блюмов в окислительной атмосфере печи приводит к обезуглероживанию поверхностного слоя, а также способствует появле-

нию поверхностных дефектов прокатного происхождения, таких как прокатная пленка и чешуйчатость. Решить проблему удалось, ограничив температуру и время нагрева в печи, а также сохранив исходную и вторичную окалины [6]–[7], [9].

Основным риском, связанным с гомогенизацией, является аварийный брак, проявляющийся при прокате подшипниковых марок сталей, легированных марганцем и кремнием, таких, как ШХ15СГ и ШХ20СГ. За период внедрения дополнительной термообработки (с 01.01.2020 г. по 01.09.2020 г.) было отмечено несколько случаев разрушения заготовки при прокате. При металлографических исследованиях дефект был классифицирован как расслой.

Расслой – это продольное нарушение сплошности металла различной протяженности, приводящее к его разрушению [8]. Расслой, вызвавший получение аварийного брака, произошел вследствие возникновения в осевой части заготовки напряжений, связанных со структурными превращениями при неравномерном нагреве. Зарождение трещины во всех зафиксированных случаях произошло на расстоянии от 300 до 500 мм от торцов непрерывно-литой заготовки. В процессе развития под действием структурных напряжений осевая трещина выходит на грани и торец блюма, достигает критического размера при прокатке и приводит к его разрушению по типу расслоя (рис. 2).

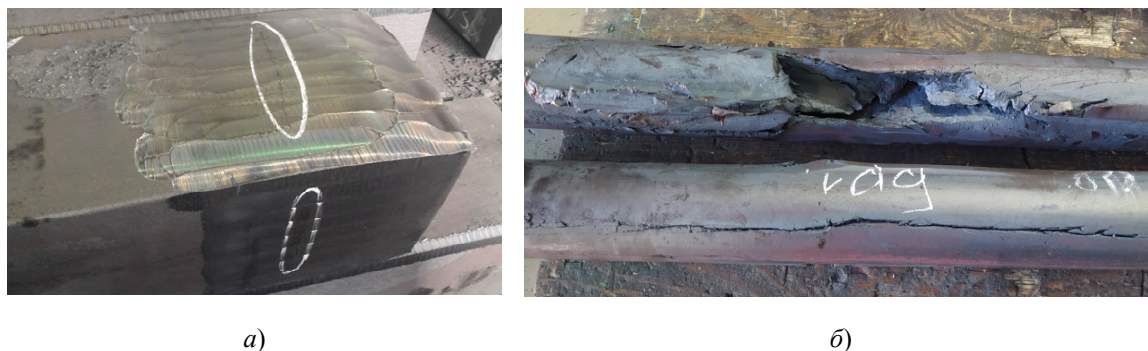


Рис. 2. Дефекты, выявленные при аварийном браке:
а – внешний вид трещины на блюме 250×300 после гомогенизирующего отжига;
б – расслой на прутке

Для поиска основной причины были проанализированы режимы выплавки и разливки, охлаждение под колпаками и дальнейший гомогенизирующий отжиг на станах 370/150, 850.

При анализе существующей технологии отклонения не выявлены. Было замечено, что дефекты проявлялись только на первых блюмах плавки, которые проходили гомогенизацию на стане 850 [3]–[5].

На примере стана 370/150 при производстве из заготовок $140 \times 140 \times 12000$ мм были выявлены пики нагрузок на электродвигатель клетей, которые четко совпадают с количеством мест соприкосновения заготовок с водоохлаждаемыми балками (рис. 3).

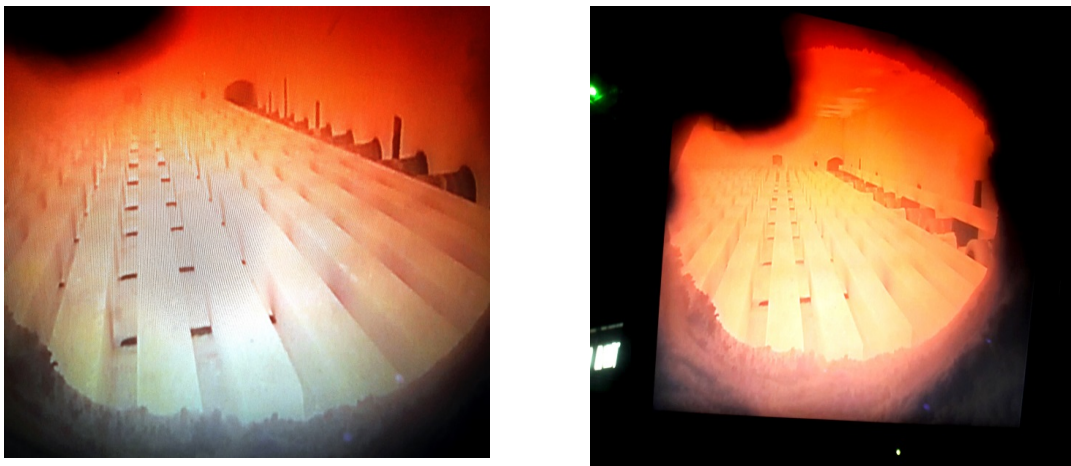


Рис. 3. Расположение заготовок на водоохлаждаемых балках в процессе нагрева на стане 370/150

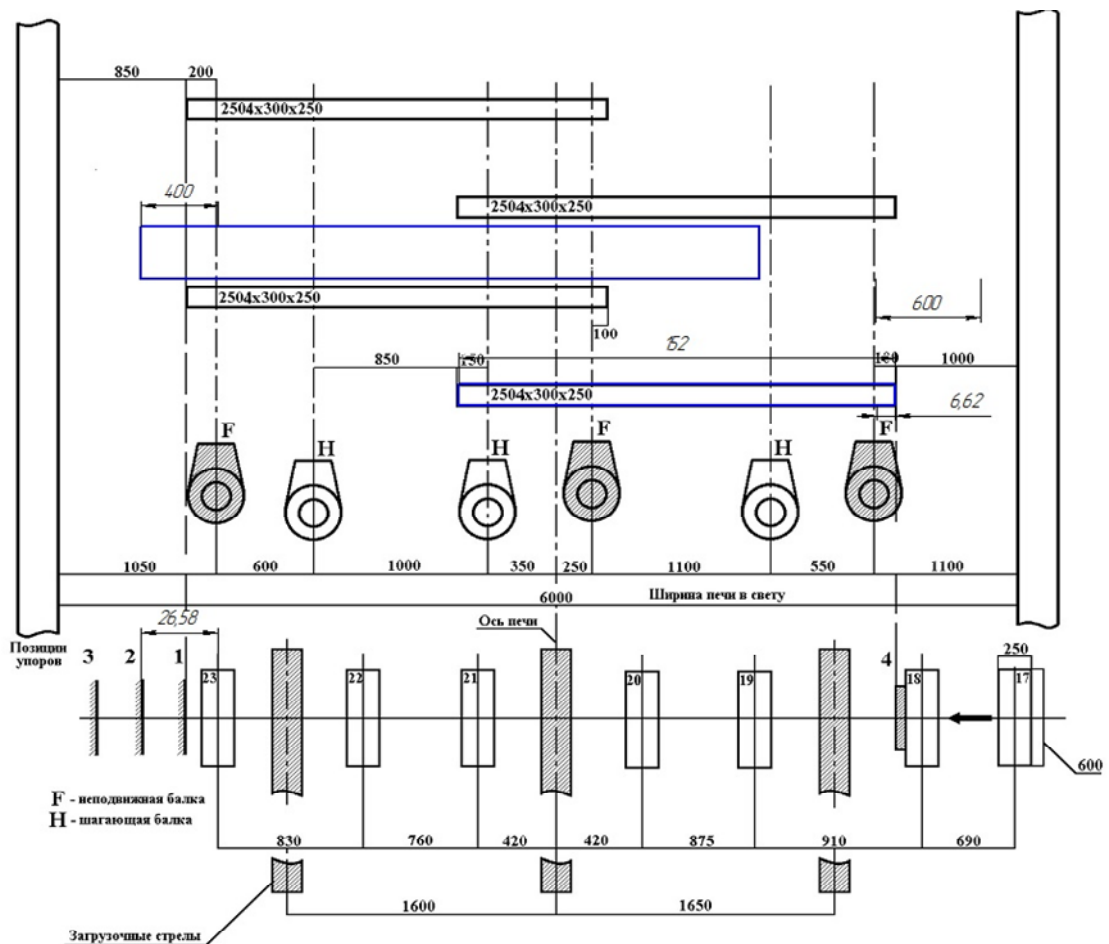


Рис. 4. Схема посадки блюмов в печь стана 850

Отжиг непрерывно-литых заготовок проводился на стане 850 через нагревательную печь с температурой 1100 °С в 1 и 2 зонах. Позиционирование литых заготовок размером 250 × 300 × 2900÷5500 мм осуществлялось у передвижного упора в позиции 2 и у встроенного поднимающегося и опускающегося упора между роликами 18 и 19 в позиции 4.

Ключевым фактором, выявленным в процессе анализа причин аварийного брака, является возникновение трещин на расстоянии около 400 мм, т. е. исключительно в местах контакта бруса с водоохлаждаемой балкой. Предположительно, негативному воздействию подвергались только первые заготовки ввиду большого градиента температур. По мере последующей загрузки печи температура снижается и не происходит теплового удара на остальных заготовках. Для устранения проблемы была разработана альтернативная схема нагрева, заключающаяся в прохождении через подогревательную печь и последующую выдержку в нагревательной печи (табл. 4 и 5).

Таблица 4

Режимы нагрева в подогревательной печи стана 850

Размер заготовки, мм	Температура в печи по зонам, °С			
	1	2	3	4
250 × 300 × 2900÷5500	810–870	810–870	930–990	930–990

Примечания:

1. Продолжительность нагрева непрерывно-литых заготовок в печи – от 2 до 4 ч.
2. Соотношение расхода газа и воздуха в диапазоне: зоны 1, 2 – 1 : 10; зоны 3, 4 – от 1 : 9 до 1 : 10.

Таблица 5

Режимы нагрева (гомогенизирующий отжиг) в нагревательной печи стана 850

Размер заготовки, мм	Температура в печи по зонам, °С				
	1, 2	3	4	5	6
250 × 300 × 2900÷5500	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190

Примечания:

1. Продолжительность нагрева непрерывно-литых заготовок в печи – не менее 10 ч.
2. Соотношение расхода газа и воздуха устанавливается в диапазоне от 1 : 9,5 до 1 : 10,5.

Увеличение себестоимости продукции происходит за счет затрат, возникающих при проведении гомогенизации.

К потребляемым ресурсам (затратам) относятся:

- 1) газ природный;
- 2) электроэнергия;
- 3) вода оборотная.

Проведение термообработки сопровождается дополнительным увеличением себестоимости от 4 до 7 %. За период внедрения гомогенизирующего отжига выход годной продукции составил 97 % за 2019–2020 гг. (табл. 6), а выход годной продукции за 2017–2018 гг. – 87 %. Таким образом, выход годной продукции в подшипниковых марках сталей, прошедших гомогенизацию, увеличился на 10 %. Следовательно, процент брака по карбидной неоднородности с внедрением отжига снижен с 13 до 3 %.

Таблица 6

Уровень карбидной сегрегации за период с 2017 по 2020 г.

2017–2018 гг.					
Годная продукция, 87 %		Годная продукция, 87 %		Годная продукция, 98 %	
Карбидная сетка отвердевшая CN ₅	Количество образцов	Карбидная ликвация CZ ₆	Количество образцов	Карбидная ликвация CZ ₇	Количество образцов
5,0	169	6,0	61	7,0	11
5,1	651	6,1	912	7,1	376
5,2	655	6,2	1117	7,2	956
5,3	365	6,3	463	7,3	813
5,4	276	6,4	254	7,4	284
5,5	130	6,5	84	7,5	32
5,6	78	6,6	26	7,6	4
5,7	88	6,7	1	7,7	3
5,8	15	–	–	–	–
5,9	1	–	–	–	–
<i>Всего испытаний</i>	2428	–	2918	–	2479

Продолжение табл. 6

2018–2019 гг.					
Годная продукция, 93 %		Годная продукция, 90 %		Годная продукция, 98 %	
Карбидная сетка отвердевшая CN ₅	Количество образцов	Карбидная ликвация CZ ₆	Количество образцов	Карбидная ликвация CZ ₇	Количество образцов
5,0	19	6,0	28	7,1	365
5,1	432	6,1	810	7,2	576
5,2	550	6,2	492	7,3	568
5,3	375	6,3	324	7,4	182
5,4	235	6,4	140	7,5	32
5,5	65	6,5	34	7,6	3
5,6	40	6,6	1	7,7	1
5,7	12	–	–	–	–
5,8	1	–	–	–	–
<i>Всего испытаний</i>	1729	–	1829	–	1727

Продолжение табл. 6

2019–2020 гг.					
Годная продукция, 90 %		Годная продукция, 97 %		Годная продукция, 100 %	
Карбидная сетка отвердевшая CN ₅	Количество образцов	Карбидная ликвация CZ ₆	Количество образцов	Карбидная ликвация CZ ₇	Количество образцов
5,0	6	6,0	56	7,0	1
5,1	208	6,1	501	7,1	234
5,2	177	6,2	130	7,2	208
5,3	145	6,3	71	7,3	214
5,4	89	6,4	19	7,4	78
5,5	49	6,5	2	–	–
5,6	13	–	–	–	–
5,7	4	–	–	–	–
5,0	6	6,0	56	7,0	1
<i>Всего испытаний</i>	691	–	779	–	735
Критерий оценки эффективности					
Не более 5,4		Не более 6,3		Не более 7,4	

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено следующее:

1. Гомогенизирующий отжиг позволяет достичь уровня карбидной сегрегации, необходимого для выполнения контрактных требований CZ₆ – не более 6,3 и CZ₇ – не более 7,4.

2. При гомогенизации увеличивается не только выход годной продукции, но и угар металла в печи, потребление природного газа, вероятность образования обезуглероженного слоя и поверхностных дефектов, что приводит к снижению производительности стана и повышению себестоимости проката.

3. По результатам оценки эффективности внедрения гомогенизирующего отжига за период с 2017 по 2020 г. выход годной продукции в подшипниковых марках сталях, прошедших гомогенизацию, увеличился по карбидной неоднородности на 10 %: с 87 % в 2017–2019 гг. до 97 % в 2019–2020 гг.

Литература

1. Бокштейн, Б. С. Атомы блуждают по кристаллу / Б. С. Бокштейн. – М. : Наука, 1984. – 208 с.
2. Чередниченко, В. С. Материаловедение / В. С. Чередниченко. – М. : Омега-Л, 2008. – 752 с.
3. Савченко, С. А. Анализ влияния деформационных параметров прокатки на качество прутка из шарикоподшипниковой стали в условиях стана 370/150 ОАО «БМЗ» / С. А. Савченко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2019. – С. 116–119.

4. Савченко, С. А. Совершенствование технологического процесса горячей прокатки шарикоподшипниковых сталей в условиях стана 370/150 ОАО «БМЗ» УКХ «БМК» / С. А. Савченко // *Металл 2019* : тез. докл. 19-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых работников, Жлобин, 3–6 июля 2019 г. / ОАО «БМЗ УКХ «БМК». – Жлобин, 2019. – С. 37–38.
5. 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. (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, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2020. – С. 100–102.
6. Темлянцев, М. В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М. В. Темлянцев, Ю. Е. Михайленко. – М. : Теплотехник, 2006. – 200 с.
7. Тлустенко, С. Ф. Теория и режимы нагрева и термообработки заготовок и деталей в процессах ОМД / С. Ф. Тлустенко. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 80 с.
8. ГОСТ 21014–88. Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности. – Взамен ГОСТ 20847–75, ГОСТ 21014–75 ; введ. 16.11.88. – М. : Изд-во стандартов, 1995.
9. Исследование дефектов непрерывно-литой заготовки диаметром 200 мм и причин их образования в условиях ОАО «БМЗ» / И. А. Ковалева [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2012. – № 3. – С. 59–62.

Получено 20.04.2021 г.