



There is worked out the complex (through) technology of production of high-quality ball bearing steel and proved the possibility of slugs production of square 125x125 mm and round section with diameter 130 mm, 115 mm and 90 mm in conditions of RUP "Belarussian metallurgical works".

Г. А. АНИСОВИЧ, НАН Беларуси,
В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, БНТУ,
В. В. ФИЛИППОВ, А. Б. СТЕБЛОВ, М. П. ГУЛЯЕВ, В. А. ТИЩЕНКО, РУП «БМЗ»,
И. А. ТРУСОВА, И. Л. НУМЕРАНОВА, Д. В. ЛЕНАРТОВИЧ, БНТУ

УДК 669.14.018.24

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНИЯ ВЫПУСКА ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ И КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ РУП «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

В соответствии с Республиканской программой по импортозамещению специалистами НАН Беларуси, БНТУ и РУП «БМЗ» продолжены исследования, направленные на освоение производства высококачественной шарикоподшипниковой стали в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» для дальнейшего ее использования машиностроительными и металлургическими предприятиями, и в частности ОАО «Минский подшипниковый завод».

В работе [1] приведены основные технологические параметры и результаты анализа качества стали при производстве круглой заготовки диаметром 115 мм из стали ШХ15СГ, освоенной на РУП «БМЗ» в 2001 г. Полученный среднесортный круглый прокат диаметром 115 мм передан ОАО «Минский подшипниковый завод», на котором был изготовлен подшипник 36-й серии.

Анализ качества непрерывнолитой заготовки, проката и готовой металлопродукции, проведенный изготовителем (РУП «БМЗ») и заказчиком (ОАО «МПЗ») показал, что качество металла

соответствует требованиям ГОСТ, предъявляемым к шарикоподшипниковым сталям. С целью дальнейшего увеличения доли импортозамещающей металлопродукции и наращивания объемов производства шарикоподшипников различного типа-размера по запросу ОАО «МПЗ» в 2002 г. в условиях РУП «БМЗ» освоено производство кругов диаметром 90 мм и квадрата сечением 125x125 мм из непрерывнолитых заготовок сечением 250x300 мм, а также разработана технология производства кругов диаметром 130 мм из непрерывнолитых заготовок сечением 300x400 мм.

Производство круглой заготовки диаметром 90 мм и квадрата сечением 125x125 мм

Технология выплавки, внепечной обработки и разливки на МНЛЗ шарикоподшипниковой стали (ШХ15СГ) из заготовки поперечным сечением 250x300 мм подробно изложена в работе [1]. Химический состав стали ШХ15СГ в готовом сорте приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав марки стали ШХ15СГ плавки №32523

Номер пробы	Массовая доля химических элементов, %															
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	As	Ti	Mo	Sn	Ni+Cu	V	N
42	1,00	0,50	1,02	0,015	0,01	1,38	0,1	0,14	0,01	0,008	0,004	0,02	0,008	0,24	0,011	0,007
Требования ГОСТ 801-78	0,95-1,05	0,40-0,65	0,90-1,20	Не более 0,027	Не более 0,02	1,30-1,65	Не более 0,30	Не более 0,25	-	-	-	-	-	Не более 0,50	-	-

Как видно из таблицы, химический состав стали ШХ15СГ плавки №32523 соответствует требованиям ГОСТ 801-78. Содержание кислорода

в металле составляло 0,006% и определялось на приборе ARL 3560.

Нагрев заготовок перед прокаткой. Как отмечено

но в работе [1], основными задачами нагрева заготовок из подшипниковой стали перед последующей пластической деформацией являются достижение требуемого качества нагрева, исключения возможного трещинообразования, и обеспечение при этом требуемой микроструктуры горячекатаного неотожженного проката и, в первую очередь, требуемой карбидной неоднородности. В связи с отмеченным выше непрерывнолитые заготовки в холодном состоянии были посажены в подогревательную печь. Нагрев заготовок осуществляли по ТИ П2-01-2000 (для 4-й группы марок сталей). Средняя продолжительность нагрева

ва металла в подогревательной печи составила 130 мин для заготовок с целью последующей прокатки на круг диаметром 90 мм и 180 мин для заготовок на квадрат сечением 125x125 мм. После нагрева в подогревательной печи заготовки пересаживали в нагревательную печь. Температура поверхности блюмов при посадке в нагревательную печь составила соответственно 828 – 859 и 830 – 843 °С.

Режим нагрева металла в нагревательной печи стана 850 проводили в соответствии с требованиями ТИ 840-П2-01-2000 с изменениями №3 (табл. 2).

Таблица 2. Режим нагрева непрерывнолитых заготовок в нагревательной печи стана 850 *

Температура нагрева в печи по зонам, °С							Время нагрева, ч:мин		
1	2	3	4	5	6	7	мин.	макс.	сред.
1110-1150	1125-1140	1150-1170	1190-1205	1190	1190	1175	2:27	4:40	3:44
1110	110	1175	1200	1185	1200	118	2:08	2:12	2:11
Требование ТИ 840-П2-01-2000									
1110-1180	1110-1180	1150-1220	1190-1260	1170-1240	1180-1250	1150-1220	1:30	3:10	-
Рекомендуемый режим нагрева металла по зонам печи по плану работ НТУ-СПЛ-20-2002									
1110-1160	1110-1160	1150-1200	1190-1240	1170-1210	1180-1220	1150-1200	2:00	2:30	-

* В числителе приведены данные при нагреве заготовки под дальнейшую прокатку на круг диаметром 90 мм, в знаменателе – на квадрат сечением 125x125 мм.

При прохождении металла через установку гидросбива отмечалось полное удаление окалины с поверхности заготовок.

Прокатку непрерывнолитых заготовок на круг диаметром 90 мм и квадрат сечением 125x125 мм проводили согласно действующей технологической инструкции ТИ 840-П2-01-2000, при этом для круга диаметром 90 мм использовали стандартную калибровку валков, а для квадрата сечением 125x125 мм – универсальную калибровку, предусматривающую возможность осуществлять прокатку из заготовок двух типоразмеров – 250x300 и 300x400 мм.

В процессе прокатки регистрировали температуру поверхности раската в каждом проходе, момент и усилие прокатки (табл. 3).

Требования технологической инструкции ТИ-840-П2-01-2000 включают в себя температуру поверхности металла перед первым проходом – 1000–1200 °С, температуру поверхности металла 4-й группы после окончания прокатки в пределах 1020–1180 °С, максимальное усилие прокатки – 5550 кН, отключающий момент прокатки – 1446 кН·м, нормальный момент прокатки – 256 кН·м.

Из таблицы видно, что качество нагрева, усилия деформирования при прокатке стали ШХ15СГ, температура поверхности заготовок начала и конца прокатки соответствовали действующей технологической инструкции.

Температура конца прокатки находилась в пределах 1010–1040 °С. Это объясняется интенсивным выделением теплоты от работы деформации в процессе прокатки. Наблюдались случаи, когда отдельные раскаты при прокатке на круг диаметром 90 мм имели температуру поверхности после последнего прохода в пределах 950 °С. Это относилось к случаям прокатки с повышенными паузами между проходами и кантовками, что снижало производительность стана не менее чем в 2 раза.

Усилия прокатки по пропускам не достигали предельных (5550 кН) и находились в пределах 1105 – 2115 кН для прокатки на круг диаметром 90 мм и от 1000 до 2618 кН для квадрата сечением 125x125 мм. Моменты прокатки по проходам также не превышали предельных (отключающий момент прокатки 1446 кН·м).

Анализ качества готового проката. После прокатки полученные раскаты были порезаны на пиле горячей резки, после раскроя металл охлаждали на речном холодильнике. В работе [1] отмечено, что при прокатке литых заготовок на передельную катаную заготовку сечением 125x125 мм показатель карбидной неоднородности не является определяющим и устраняется в процессе дальнейшей переработки. В связи с этим термообработке в колодцах замедленного охлаждения для ослабления карбидной неоднородности, а также снятия внутренних напряжений и исключения

Таблица 3. Технологические параметры прокатки на стане 850 *

	Номер прохода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Температура, °С											
мин.	<u>902</u> 1025	<u>700</u> 984	<u>700</u> 1016	<u>926</u> 988	<u>1001</u> 1013	<u>937</u> 976	<u>928</u> 1009	<u>971</u> 999	<u>949</u> 1010	<u>983</u> –	<u>944</u> –
средн.	<u>1062</u> 1056	<u>719</u> 1005	<u>831</u> 1046	<u>1059</u> 1012	<u>1056</u> 1038	<u>1076</u> 1000	<u>1050</u> 1028	<u>1087</u> 1022	<u>1056</u> 1013	<u>1088</u> –	<u>1036</u> –
макс.	<u>1098</u> 1087	<u>1134</u> 1025	<u>1050</u> 1076	<u>1118</u> 1036	<u>1082</u> 1063	<u>1120</u> 1024	<u>1089</u> 1047	<u>1133</u> 1044	<u>1092</u> 1015	<u>1132</u> –	<u>1086</u> –
Усилие, кН											
мин.	<u>42</u> 1574	<u>21</u> 956	<u>65</u> 956	<u>56</u> 2366	<u>9</u> 414	<u>132</u> 896	<u>123</u> 1616	<u>30</u> 1146	<u>282</u> 1322	<u>530</u> –	<u>100</u> –
средн.	<u>1105</u> 1696	<u>1566</u> 1067	<u>1480</u> 1124	<u>1597</u> 2546	<u>1439</u> 1570	<u>1510</u> 1000	<u>1360</u> 1528	<u>1969</u> 2618	<u>1767</u> 2216	<u>2115</u> –	<u>1947</u> –
макс.	<u>3301</u> 1817	<u>4718</u> 1178	<u>4718</u> 1292	<u>4718</u> 2725	<u>3257</u> 2725	<u>3542</u> 1104	<u>4009</u> 1440	<u>4090</u> 4090	<u>3593</u> 3109	<u>4000</u> –	<u>4748</u> –
Момент, кН · м											
мин.	<u>544</u> 327	<u>600</u> 628	<u>423</u> 496	<u>438</u> 551	<u>317</u> 403	<u>300</u> 272	<u>177</u> 427	<u>291</u> 587	<u>228</u> 456	<u>196</u> –	<u>178</u> –
средн.	<u>632</u> 338	<u>676</u> 659	<u>581</u> 516	<u>498</u> 590	<u>411</u> 512	<u>345</u> 288	<u>221</u> 463	<u>337</u> 589	<u>267</u> 495	<u>238</u> –	<u>229</u> –
макс.	<u>886</u> 348	<u>1038</u> 689	<u>967</u> 536	<u>810</u> 628	<u>580</u> 621	<u>570</u> 304	<u>473</u> 499	<u>499</u> 591	<u>323</u> 533	<u>323</u> –	<u>330</u> –

* В числителе приведены данные при прокатке круга диаметром 90 мм, в знаменателе – квадрата сечением 125x125 мм.

образования межкристаллитных трещин подвергался круглый прокат диаметром 90 мм.

Контроль качества готового проката проводили магнито-люминисцентным методом с целью обнаружения поверхностных дефектов глубиной 0,2 мм и на установке ультразвукового контроля. Анализ показал отсутствие поверхностных и внутренних трещин в прокате.

Результаты испытаний механических свойств проката по основному показателю свидетельствуют о достаточно высокой однородности свойств: среднее значение твердости для круглого проката диаметром 90 мм составляет 297–306 НВ при среднем значении 352 НВ, для квадрата сечением 125x125 мм – 323–370 НВ при среднем значении 352 НВ.

Металлографический анализ макроструктуры (табл. 4) показал, что в прокате отсутствуют следы усадочной раковины расслоения, скворечники, пузыри, флокены, инородные включения. Дефекты, обнаруженные на поперечных шлифах, такие, как центральная пористость, не превышают требований ГОСТ 801-78, точечная неоднородность существенно ниже допустимых норм, ликвационный квадрат отсутствует. Отмеченное выше свидетельствует о хорошем качестве непре-

рывной заготовки и соблюдении разработанной технологии выплавки и разлива.

При текущем анализе макроструктуры квадрата сечением 125x125 мм были выявлены межкристаллитные трещины 0,5 балла. При повторном анализе на дополнительно отобранных пробах межкристаллитных трещин обнаружено не было. Следует заметить, что данный дефект макроструктуры проката ГОСТ 801-78 не регламентируется.

Излом стали в закаленном состоянии – однородный мелкозернистый, фарфоровидный, без остатков усадочной раковины, флокенов, макро-включений. В большей степени в образцах стали ШХ15СГ присутствуют сульфиды и силикаты недеформирующиеся (глобулы). Анализ микро-структуры образцов, проведенный в соответствии с требованиями ГОСТ 1178, показал наличие существенного запаса по данным показателям качества. Оксиды меньше требований ГОСТ 801-78 в 2,6 раза для круга диаметром 90 мм и в 3,6 раза для квадрата сечением 125x125 мм, сульфиды соответственно – в 2,1 и 2,4 раза, глобулы – в 1,75 и 2,5 раза. Микропористость при норме 3 балла практически отсутствует. Анализ карбидной неоднородности показал, что на образцах, отобранных от круглого проката диаметром 90 мм,

Таблица 4. Макроструктурный анализ образцов *

Номер образца	Макроструктура				
	центральная пористость, балл	точечная неоднородность, балл	ликвационный квадрат, балл	подсадочная ликвация, балл	межкристаллитные трещины, балл
1	0,5	0,5	0,0	0,5	0,0
	1,0	0,5	0,0	1,5	0,5
2	0,5	0,5	0,0	1,5	0,0
	1,0	0,5	0,0	2,5	0,5
3	0,5	0,5	0,0	1,0	0,0
	2,0	1,0	0,0	2,5	0,0
4	1,0	0,5	0,0	1,0	0,0
	1,5	1,0	0,0	3,5	0,0
Требования ГОСТ 801-78	Не более			-	
	2,0	2,0	0,5		

* В числителе приведены данные при прокатке круга диаметром 90 мм, в знаменателе – квадрата сечением 125x125 мм.

карбидная ликвация составляет 1–2 балла (при норме 3), карбидная сетка имеет 2–3 балла (при норме 3), полосчатость – 3,0–3,5 балла (при норме 4). Для образцов квадрата сечением 125x125 мм получены следующие результаты: карбидная сетка – 2,0–2,5 балла, карбидная ликвация – 1,5–2,0, полосчатость – 3,0–3,5 балла.

Круглый прокат из стали ШХ15СГ диаметром 90 мм передан ОАО «Минский подшипниковый завод», на котором из проката была изготовлена вторая партия подшипников 36-й серии.

В результате анализа качества готового круга диаметром 90 мм и квадрата сечением 125x125 мм установлено, что основные показатели механических свойств, макроструктуры неметаллических включений, микроструктуры, карбидной неоднородности соответствуют требованиям ГОСТ 801-78. Анализ готовой продукции, проведенный заказчиком, подтвердил, что качество металла соответствует требованиям ГОСТ 801-78.

Производство круглой заготовки диаметром 130 мм

В условиях действующего оборудования РУП «Белорусский металлургический завод» производство круглого проката диаметром 130 мм на стане 850 возможно только из непрерывнолитых заготовок сечением 300x400 мм. В августе 2002 г. на заводе осуществлена опытная плавка (№ 33052) стали ШХ15СГ с последующей разливкой на МНЛЗ-3 в заготовки сечением 300x400 мм.

Выплавка в ДСП-3, внепечная обработка и разливка. Один из способов повышения качества шарикоподшипниковой стали – уменьшение содержания кислорода в стали [2, 3]. Результаты анализа качества готового проката при производстве круглой заготовки диаметром 90 мм показали наличие в одном из образцов силикатного недеформируемого включения 3,5 балла при требованиях ГОСТ 801-78 3,0 балла [1]. Это объясняется повышенным содержанием кислорода в

стали. В связи с отмеченным выше разработана усовершенствованная технология выплавки стали ШХ15СГ, отличительной особенностью которой является вакуумирование недораскисленного металла и доведение по химическому составу на вакууматоре RH.

В качестве шихтовых материалов использовали углеродистый лом 2А, 3А, легированный лом Б-3 (ШХ15) и пердедельный чугуи. Выпуск плавки в сталковш осуществляли при температуре 1700 °С и содержании углерода 0,31%. При выпуске под струю присаживали науглероживатель типа С, силикомарганец SiMn 17, высокоуглеродистый феррохром, ферросилиций FeSi 65. Затем металл в сталковше продували аргоном в течение 8 мин и передавали для внепечной обработки на установку «печь–ковш» и вакууматор. После доведения химического состава стали по содержанию хрома и марганца и десульфурации металл при температуре 1572 °С передавали на вакууматор RH. Присадку материалов в процессе вакуумирования производили двумя порциями: науглероживатель и феррохром; оставшийся науглероживатель, ферросилиций, феррохром, ферромарганец до заданных значений. После вакуумирования металл продували в сталковше аргоном в течение 49 мин с интенсивностью 150 л/мин. По организационным причинам плавка была подвергнута повторному вакуумированию, перед которым присаживали алюминиевую катанку. После второго вакуумирования металл продували аргоном в течение 14 мин с интенсивностью 130 л/мин и с температурой 1499 °С передавали на МНЛЗ-3. Скорость разливки металла на сечение 300x400 мм составляла 0,5–0,55 м/мин, в качестве шлакообразующей смеси использовали скориалий 189. Частота ЭМП в кристаллизаторе составляла 2 Гц. После разливки и разрезки на мерные длины (4150 мм) заготовки охлаждали под колпаком в течение 24 ч.

Анализ макроструктуры непрерывнолитой заготовки выявил сосредоточение пор размером 0,5–1,0 мм в центральной части заготовки и наличие усадочной раковины размером 3,5 мм. Дефект был оценен по шкале «центральная пористость» 4 балла. Серный отпечаток, приготовленный по методу Баумана, выявил дефект «осевая ликвация» – 2,5 балла. На темплете обнаружено незначительное количество ликвационных полосок, которые оценены как «ликвационные полоски общие» – 1 балл.

Нагрев заготовок. В соответствии с ранее разработанной технологией производства шарикоподшипниковой стали посад непрерывнолитых

заготовок сечением 300x400 мм в нагревательную печь стана 850 производился после предварительного нагрева в подогревательной печи. Средняя продолжительность нагрева составила 4 ч 13 мин, температура в 1-й зоне – 900–1000 °С, 2-й – 900–1000, 3-й – 1080–1100, 4-й – 1020–1050 °С. Температура поверхности заготовок при посадке в нагревательную печь составляла 659–891 °С. Температура посадки заготовок, несмотря на увеличение продолжительности пребывания заготовок в подогревательной печи, снижалась в течение времени загрузки в нагревательную печь. Режим нагрева непрерывнолитых заготовок сечением 300x400 мм приведен в табл. 5.

Таблица 5. Режим нагрева непрерывнолитых заготовок в нагревательной печи стана 850

Температура нагрева в печи по зонам, °С							Время нагрева, ч:мин		
1	2	3	4	5	6	7	мин.	макс.	средн.
1200	1190	1250	1240	1210	1200	1180	2:01	3:00	2:30
Требование ТИ 840-П2-01-2000									
1110–1180	1110–1180	1150–1220	1190–1260	1170–1240	1180–1250	1150–1220	1:30	3:10	–
Рекомендуемый режим нагрева металла по зонам печи по плану работ НТУ-ПО (СПЛ)-21-2002									
1110–1160	1110–1160	1150–1200	1190–1230	1170–1200	1180–1210	1150–1190	2:00	2:30	–

На отдельных заготовках продолжительность нагрева превышала рекомендуемую на 30 мин, что было вызвано подстуживанием металла в процессе прокатки после 8-го прохода. Расчетная температура поверхностных слоев заготовки, определяемая с использованием математического моделирования нагрева в печи [4], составляла 1170–1180 °С, среднемассовая температура – 1172–1174 °С.

Прокатка на стане 850. В процессе прокатки непрерывнолитой заготовки сечением 300x400 мм (24 заготовки) на круглый прокат диаметром 130 мм регистрировали температуру раската в каждом проходе, момент и усилие прокатки. Изменение цикла прокатки, т. е. подстуживание 5–12 подкатов, не позволило получить требуемую (по плану работ) температуру прокатки (850–950 °С). За исключением раскатов 8, 9 и 11 блюма температура конца прокатки превышала требуемую. Усилия прокатки по пропускам не достигали предельных значений 5550 кН. Максимальное усилие прокатки (5549 кН) отмечалось в проходах 3 и 4. Моменты прокатки по проходам также не превышали предельных значений в соответствии с действующей технологической инструкцией ТИ 840-П2-01-2000.

После прокатки круглые заготовки диаметром 130 мм подвергали термообработке в колодцах замедленного охлаждения (для группы охлаждения Б): нагрев от 200 до 450 °С – 8 ч; нагрев от 450 до 680 °С – 5 ч; выдержка при 680 °С – 6 ч; охлаждение от 680 до 400 °С – 14 ч.

Анализ качества готового проката. Технологическая осадка на пробах, отобранных от двух раскатов, дала удовлетворительный результат. Химический состав образцов соответствует ГОСТ 801-78. Среднее значение твердости неотожженного проката составляло 354⁺⁴₋₃ НВ, отожженных образцов – 354⁺⁷₋₁₂ НВ.

Дефекты, обнаруженные на поперечном шлифе образцов, отобранных от раската после прокатки на стане 850 и после термообработки в колодцах контролируемого охлаждения, не превышают допустимые нормы по ГОСТ 801-78: центральная пористость оценивается максимальным баллом 0,5 (требование ГОСТ 801-78 не более 2,0), точечная неоднородность – 0,5 (по ГОСТ 801-78 не более 1,5).

Результаты микроструктурного анализа образцов на неметаллические включения, микропористость, карбидную неоднородность и наличие обезуглероженного слоя приведены в табл. 6, 7.

В образцах стали ШХ15СГ присутствуют групповые сульфидные включения, вытянутые вдоль направления деформации, и единичные сульфиды, имеющие более округлую форму, максимальный балл – 2. Имеют место нитриды титана с максимальным размером 20 мкм, которые оценены по шкале (глобули) 2 балла. Оксиды строчечные в стали ШХ15СГ мелкие, в виде коротких строчек. Максимальный и средний баллы из максимальных оценок каждого образца соответствуют нормам ГОСТ 801-78. Микропористость в стали ШХ15СГ отсутствует.

Таблица 6. Микроструктурный анализ образцов на неметаллические включения и микропористость

Номер образца	Неметаллические включения, балл						Микропористость, балл
	оксиды		сульфиды		глобули		
	макс.	средн.	макс.	средн.	макс.	средн.	Отсутствует
1	0,5	0,83	2,0	1,58	2,0	1,33	То же
2	1,0		1,5		1,0		>>
3	0,5		1,5		0,5		>>
4	0,5		1,5		2,0		>>
5	2,0		1,5		1,5		>>
6	0,5		1,5		1,0		>>
Требования ГОСТ 801-78	Не более						3,0
	3,0	2,75	3,0	3,0	2,5	2,5	

Таблица 7. Микроструктурный анализ образцов на карбидную неоднородность и наличие обезуглероженного слоя

Номер образца	Полосчатость, балл	Карбидная ликвация, балл	Карбидная сетка, балл	Обезуглероженный слой в состоянии поставки, мм
1	3,0	1,0	1,0	0
2	3,0	0,5	1,0	0
3	3,0	0	1,0	0
4	3,0	0	1,0	0
5	3,5	0,5	1,0	0
Требования ГОСТ 801-78	Не более			
	4,0	3,0	3,0	1,1

При прокатке стали ШХ15СГ на стане 850 на поверхности горячекатаных заготовок диаметром 130 мм были обнаружены поверхностные дефекты. Для определения причин возник-

новения дефектов было отобрано восемь проб на макро- и микроструктурный анализ. Результаты оценки дефектов на макротемплетах приведены в табл. 8.

Таблица 8. Макроструктурный анализ поверхностных дефектов

Номер пробы	Глубина залегания дефекта, мм	Форма полости дефекта (макроструктура)
1	20,0	Грубые, раскрытые разрывы металла
2	5,0	Мелкие разветвленные разрывы
3	15,0	Трещины, направленные в глубь металла под небольшим углом
4	50,5	Грубые раскрытые разрывы, доходящие до центра пробы
5	-	Дефекты не обнаружены
6	120,0	Грубая трещина, пересекающая образец на две половины
7	8,0	Небольшие, извилистые, взаимно пересекающиеся трещины, в виде локальных участков с поверхности образца
8	15,0	Трещины, направленные в глубь металла под небольшим углом

Несмотря на внешние различия дефектов на поверхности круга диаметром 130 мм, они практически не отличаются по металлографическим признакам, а именно: трещины имеют разветвленный характер. Наблюдается ярко выраженная разноразмерность в районе дефекта: перлит имеет структуру крупного зерна по сравнению с основной структурой. Вокруг раскрытых участков наблюдается обезуглероживание. В продолжении трещин просматриваются

ферритные дорожки, заполненные точечными оксидами.

Форма полостей дефектов и структурные изменения металла вокруг них (ветвистая полость с дорожками ликватов) — характерные генетические признаки горячих кристаллизационных трещин, которые сохраняются от слитка до готового проката. Поверхностные дефекты оценивались и классифицировались в соответствии с ГОСТ 21014-88.

Проанализировав данные, можно сделать вывод, что на исследуемых образцах круга диаметром 130 мм стали ШХ15СГ выявлены раскатанные трещины, образовавшиеся в процессе кристаллизации непрерывнолитой заготовки.

Полученные круглые заготовки диаметром 130 мм направлены на дальнейшую переработку на ОАО «МПЗ».

Заключение

В соответствии с Республиканской программой по импортозамещению впервые в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» разработана сквозная технология и доказана возможность производства высококачественной шарикоподшипниковой стали для дальнейшего ее использования машиностроительными и металлургическими предприятиями. Отработаны основные технологические параметры процессов выплавки в сверхмощных ДСП разливки на МНЛЗ радиального типа на заготовки сечением 250x300 и 300x400 мм, нагрева в печи с шагающими бал-

ками и прокатки на стане 850 заготовок квадратного (125x125 мм) и круглого (диаметры 130, 115 и 90 мм) сечений. Анализ качества непрерывнолитой заготовки и готового проката, проведенный изготовителем (РУП "БМЗ") и заказчиком (ОАО «Минский подшипниковый завод»), на котором были изготовлены подшипники 36-й серии, показал, что качество металла соответствует требованиям ГОСТ 801-78.

Литература

1. Комплексная технология производства шарикоподшипниковой стали ШХ15СГ в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» / В. И. Тимошпольский, В. В. Филиппов, А. Б. Стеблов и др. // *Литье и металлургия*. 2001. №4. С. 97–102.
2. Полоцкий Д. Я., Гудим Ю. А. Выплавка легированной стали в дуговых печах. М.: Металлургия, 1988.
3. Кацнельсон Я. Е., Спиркин Г. В., Кирсанов Ю. Н. // *Производство электростали*. М.: Металлургия, 1975. №4. С. 85–92.
4. Тимошпольский В. И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего технического уровня. Мн.: Наука і тэхніка, 1995.