



*A technology of ball bearing steel at the "Belarusian Metallurgical Plant" RUP is worked out and possibility of its production is demonstrated. Technological parameters of smelting, pouring and rolling of steel are given.*

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, БГПА,  
В. В. ФИЛИППОВ, А. Б. СТЕБЛОВ, В. А. ТИЩЕНКО, РУП "БМЗ",  
И. Л. НУМЕРАНОВА, БГТУ, Д. В. ЛЕНАРТОВИЧ, БГПА

## КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ ШХ15СГ В УСЛОВИЯХ РУП "БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД"

УДК 669.14.018.24

Сталь для подшипников по своему назначению составляет особую группу конструкционных сталей, которая по составу и свойствам близка к инструментальной. Производство подшипниковой стали осуществляется преимущественно на заводах специальных сталей с разливкой выплавленного металла в слитки. Для производства подшипников на отечественных заводах используются стали, закупаемые в России, Украине и странах Европы.

В соответствии с решением научно-технического совета РУП "Белорусский металлургический завод" было дано поручение техническим службам завода и Комплексной научно-производственной лаборатории "Проблемы металлургического производства" БГПА в рамках научно-исследовательской работы доказать возможность производства по переделам шарикоподшипниковой стали ШХ15СГ для дальнейшего ее использования ОАО "Минский подшипниковый завод". Из известных подшипниковых сталей эта марка отличается повышенным содержанием легирующих элементов и предназначена для производства роликоподшипников больших диаметров и колец для подшипников. Марка стали ШХ15СГ имеет также лучшую прокаливаемость при термообработке.

В работе приведены основные технологические параметры и результаты анализа качества стали при производстве шарикоподшипниковой стали ШХ15СГ в условиях РУП "БМЗ".

**Выплавка в ДСП-3.** Опытная плавка №32523 стали ШХ15СГ была произведена на БМЗ в июле 2001 г. Сталь выплавлялась в ДСП-3 с использованием углеродистого лома 2А, 3А и передельного чугуна. Печь оборудована трансформатором с номинальной мощностью 75 МВА, а также оснащена системой эркерного выпуска металла, донной продувкой металла инертными газами, тремя стеновыми и дверной газокислородными горелками.

Загрузка металлошихты производилась в два приема — завалка и подвалка. Продувка металла кислородом осуществлялась через водоохлаждаемую непогружную фурму "Mark-4" и эркерную комбинированную фурму. Одновременно с продувкой металла кислородом в печь вдувались порошкообразные углеродсодержащие материалы для наведения пенистого шлака.

Основные технологические параметры выплавки стали в ДСП приведены ниже.

| Параметры выплавки               |                             |                    | Масса стали, т |        |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------|--------|
| расход кислорода, м <sup>3</sup> | расход газа, м <sup>3</sup> | расход извести, кг | жидкой         | годной |
| 1101                             | 663                         | 6793               | 113            | 101,9  |

Выпуск плавки из печи в сталеразливочный ковш производился при температуре 1678°C при содержании углерода 0,49%. При выпуске под струю присаживались науглероживатель типа А, ферромарганец FeMn 78, высокоуглеродистый феррохром и алюминий чушковый. После выпуска металл продувался аргоном в стальковше в течение 6 мин и плавку передавали на участок внепечной обработки стали.

**Внепечная обработка.** На установке "печь—ковш" в стальковше наводился шлак присадками извести и плавикового шпата. Шлак раскислял смесь, состоящей из науглероживателя, ферросилиция и плавикового шпата. Основность шлака на внепечной обработке составила 2,96 и 3,30, а содержание FeO+MnO — 0,50 и 0,66 %. После доведения химического состава металла по углероду, кремнию и хрому плавка при температуре 1555°C передавалась на вакууматор РН. Общее время обработки металла в ковше составило 80 мин, в вакууматоре — 25 мин, время работы в "печи—ковше" под током — 0,65 ч, время продувки

аргоном — 1,15 ч. Температура жидкого металла до обработки — 1513°C, после обработки — 1504°C. После вакуумирования металл продувался в стальковше аргоном в течение 16 мин, поверхность металла утеплялась золой рисовой лужки и затем плавка передавалась на МНЛЗ-3.

**Разливка на МНЛЗ-3.** Металл разливался на четырех ручьях в сечение 250×300 мм. В процессе разливки со скоростью 0,5 м/мин сталь в кристаллизаторе подвергалась электромагнитному перемешиванию. Температура в промежуточном ковше составляла 1474°C. В процессе разливки была задействована система автоматического поддержания уровня металла. Металл в промежуточном ковше утеплялся золой рисовой шелухи. Конечный химический анализ по разливочной пробе из середины плавки приведен ниже.

|                        |       |       |       |                |                |       |
|------------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-------|
| Содержание элемента, % | C     | Si    | Mn    | P              | S              | Cr    |
|                        | 0,994 | 0,512 | 1,009 | 0,015          | 0,010          | 1,369 |
| Содержание элемента, % | Ni    | Cu    | Al    | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> |       |
|                        | 0,095 | 0,148 | 0,013 | 0,007          | 0,006          |       |

После разливки металл был порезан на заготовки длиной 5300 мм и штабелирован на складе заготовок, где охлаждался под колпаком в течение 24 ч.

**Качество непрерывнолитой заготовки.** От непрерывнолитой заготовки были отобраны пробы для оценки макроструктуры. После фрезерования и травления поверхности темплетов было произведено сравнение протравленных образцов с эталонами шкал стандарта ОСТ 14-1-235-91. В результате металлографического анализа установлено, что в образцах нет межкристаллитных трещин и ликвационных полосок, осевая ликвация оценена 1,0 — 2,5 балла. Отмечалось сосредоточение пор 4 и 1,5 баллов вблизи теплового центра в зоне встречи фронта затвердевания. Единичные мелкие включения диаметром до 1 мм, располагающиеся под поверхностью, оценивались по шкале "краевое точечное загрязнение" 0,5 балла. Наружная мелкозернистая корочка состоит из дезориентированных мелких кристаллов глубиной залегания

8 мм. На поверхности заготовок не обнаружено раковин от налипания шлака, раздутия или вогнутости по поперечному сечению.

**Нагрев заготовок перед прокаткой.** При сформированной макроструктуре непрерывнолитой заготовки и обеспечении исходной пластичности слитка основными задачами нагрева заготовки подшипниковой стали перед прокаткой являются достижение качества нагрева, достаточного для последующей горячей деформации и обеспечение при этом требуемой микроструктуры горячекатаного неотожженного проката. В частности, под этим понимается в основном требуемая карбидная неоднородность.

Непрерывнолитые заготовки были посажены в холодном состоянии в подогревательную печь. Нагрев заготовок осуществлялся совместно с заготовками 4-й группы марок сталей по ТИ П2-01-2000. Время пребывания заготовок в подогревательной печи составило 1 ч, после чего при температуре поверхности 765—811°C заготовки были пересажены в нагревательную печь. Температурный режим нагревательной печи представлен в табл. 1.

Учитывая многочисленные экспериментальные данные и результаты численных расчетов по математической модели [1], можно определить с достаточной точностью, что температура поверхностных слоев заготовки составляет в момент выдачи 1180°C, среднемассовая температура по сечению заготовки — 1172—1174°C. Отбор окалина после печного нагрева не производился, но было отмечено, что окалина хорошо удаляется с поверхности заготовки при гидросбиве и в процессе деформации.

**Прокатка заготовок на стане "850".** После нагрева заготовки были прокатаны на круг диаметром 115 мм по действующей схеме калибровок в девять проходов. Температура поверхности металла начала прокатки (перед первым проходом) составляла в среднем 1010°C и окончания прокатки (после последнего прохода) — 1075—1090°C. Среднее усилие прокатки по проходам колебалось от 1386 до 2276 кН при максимально допустимых 5550 кН, из чего следует заключить, что технологичность прокатки данной марки стали обеспечи-

Таблица 1. Режим нагрева литой заготовки в нагревательной печи стана "850"

| Температура нагрева в печи по зонам, °C                          |           |           |           |           |           |           | Время нагрева, ч: мин |              |         |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|--------------|---------|
| 1  | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | минимальное           | максимальное | среднее |
| 1150   | 1135      | 1180      | 1215      | 1185      | 1220—1200 | 1200—1195 | 2;34                  | 2;40         | 2;37    |
| 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 |           |           |           |           |           |           |                       |              |         |
| 1110—1160  | 1110—1160 | 1150—1200 | 1190—1240 | 1170—1220 | 1180—1230 | 1150—1200 | 2;00                  | 2;30         | —       |



вается. В процессе прокатки регистрировались следующие параметры: температура поверхности раската в каждом пропуске, момент и усилие прокатки. Анализ полученных данных показал, что при прокатке заготовок усилия прокатки по пропускам не достигали предельных значений и находились в пределах 1317—2292 кН. Минимальное усилие приходится на проход №2, в котором раскат шириной 260 мм деформируется с обжатием  $\Delta H = 57$  мм и температурой поверхности раската 1043°C. Наибольшее усилие прокатки на обеих заготовках зарегистрировано в предчистовом проходе №8 (плоский овал). Температура поверхности в этом проходе составляла 1037—1054°C, средняя температура — 1046°C. Относительное обжатие в этом проходе  $\epsilon = 27,4\%$ , вытяжка за проход  $\lambda = 1,377$  — самая большая в данной схеме деформации.

Ориентируясь на среднemasсовую температуру заготовки в момент выдачи из нагревательной печи (1180°C), можно предположить, что в первом проходе при температуре поверхности заготовки 1012°C среднemasсовая температура составит 1170—1175°C. В этом момент идет интенсивное падение температуры заготовки, что связано с излучением с поверхности заготовки, контактом заготовки с валками и водой. Затем наблюдается рост температуры поверхности в результате интенсивного выделения тепла от работы деформации. В этот момент происходит и рост среднemasсовой температуры заготовки. После прохода №6 длина раската составляет 18,2 м и прирост температуры от деформации уже не компенсирует потерь тепла от поверхности раската. Происходит падение температуры раската, а следовательно, и ухудшение пластических свойств металла. Температура поверхности перед завершающим проходом №9 составляет 1054°C. Усилие прокатки в этом случае максимальное (2292—2259 кН). В последнем проходе относительное обжатие и вытяжка составляют соответственно  $\epsilon = 19,2\%$ ,  $\lambda = 1,237$ . После прокатки раскат со среднemasсовой температурой около 1120°C транспортируется по рольгангу на пилу горячей резки, при этом наблюдается интенсивное снижение температуры поверхности. Это наиболее опасный период с точки зрения возникновения дефектов на поверхности и микроструктуры, в частности карбидной неоднородности.

**Анализ качества готового проката.** После охлаждения проката на воздухе были отобраны необходимые технологические пробы. Технологическая осадка отобранного образца дала удовлетворительный результат. Отделка готового проката проводилась в линии адыюстажа. После дробеструйной установки, где производился сбив окалин с поверхности заготовок, контроль качества поверхности готового проката осуществлялся на установке "Мекана" магнито-люминесцентным методом. Установка "Мекана" настраивалась на

обнаружение и отметку поверхностных дефектов глубиной 0,2 мм. Поверхностные дефекты на раскатах после прокатки заготовок отсутствовали. Затем заготовки транспортировались к установке ультразвукового контроля (УЗК), где все прутки контролировались на наличие внутренних дефектов согласно требованиям ГОСТ 21120-75, группа качества 2. При контроле качества проката внутренних и поверхностных дефектов не выявлено. Порезка заготовок выполнялась на пиле холодной резки на длину 6000 мм. В исследованных пробах обнаружено содержание кислорода 0,006% при норме 0,002%. Этот показатель согласуется с потребителем и браковочным признаком не является.

Результаты испытаний механических свойств готового проката и металлографических исследований марки стали ШХ15СГ в круге диаметром 115 мм позволяют сделать следующие выводы. Требования ГОСТ 801-78 для горячекатаной неотожженной стали диаметром более 80 мм выполнены по всем показателям: твердости, неметаллическим включениям (оксиды, сульфиды, глобулы), микропористости, полосчатости, обезуглероженному слою, карбидной ликвации, центральной пористости, точечной неоднородности, ликвационному квадрату, излому. Исключением является один показатель — карбидная сетка, который не должен превышать 3 балла. По этому показателю в неотожженном состоянии наблюдается превышение — 3—5 баллов. Результаты основного показателя механических свойств проката (твердость) в состоянии поставки горячекатаный неотожженный прокат свидетельствуют о достаточно высокой однородности свойств, среднее значение твердости составляет  $356 \pm 6$  НВ. Таким образом, абсолютное отклонение от среднего значения равно 1,6%. Результаты металлографических исследований образцов от проб готового проката приведены в табл. 2, 3.

В макроструктуре исследуемой стали отсутствуют следы усадочной раковины, расслоения, скворечники, пузыри, флокены, инородные включения. Излом стали в закаленном состоянии — однородный мелкозернистый, фарфоровидный, без остатков усадочной раковины, флокенов, без микровключений. При внешнем осмотре на теплотах выявлены межкристаллитные трещины 0,5 балла в соответствии с ГОСТ 10243.

Отбор проб и подготовка образцов для оценки загрязненности стали неметаллическими включениями производились в соответствии с требованиями ГОСТ 1178. Вырезанные образцы подвергались закалке с нагревом до 850°C, охлаждением в масле и отпуску при температуре 150—160°C в течение 1 ч. Оценку загрязненности проводили путем сравнения со шкалами №1, 2, 3 (ГОСТ 801-78) по наиболее загрязненному месту каждого шлифа (табл. 3). Для стали V группы ГОСТ 801-78 (горячекатаная неотожженная, диаметром более

Таблица 2. Макроструктурный анализ образцов по ГОСТ 10243

| Номер плавки           | Номер образца | Макроструктура               |                               |                            |            |
|------------------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------|
|                        |               | центральная пористость, балл | точечная неоднородность, балл | ликвационный квадрат, балл | излом      |
| 32523                  | 1             | 1,0                          | 0                             | 0                          | Уд.        |
|                        | 2             | 1,0                          | 0                             | 0                          | Уд.        |
|                        | 3             | 1,0                          | 0,5                           | 0                          | Нет данных |
|                        | 4             | 1,0                          | 0                             | 0                          | Нет данных |
|                        | 5             | 1,5                          | 0,5                           | 0                          | Нет данных |
|                        | 6             | 1,5                          | 0,5                           | 0                          | Нет данных |
| Требования ГОСТ 801-78 |               | Не более                     |                               | Нет флоконов               |            |
|                        |               | 2                            | 2                             | 0,5                        |            |

Таблица 3. Микроструктурный анализ образцов

| Номер плавки           | Номер образца | Неметаллические включения, балл |         |              |         |              |         | микропористость, балл |
|------------------------|---------------|---------------------------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|-----------------------|
|                        |               | оксиды                          |         | сульфиды     |         | глобули      |         |                       |
|                        |               | максимальное                    | среднее | максимальное | среднее | максимальное | среднее |                       |
| 32523                  | 1             | 0,5                             | 0,75    | 2            | 2,25    | 3,5          | 2,75    | Отсутствует           |
|                        | 2             | 1                               |         | 2,5          |         | 2            |         | То же                 |
|                        | 3             | 2,5                             | 1,5     | 2,0          | 1,58    | 1,5          | 1,08    | »                     |
|                        | 4             | 2,0                             | 1,5     | 1,5          | 1,58    | 1,5          | 1,08    | »                     |
|                        | 5             | 1,0                             | 1,5     | 2,5          | 1,58    | 1,0          | 1,08    | »                     |
|                        | 6             | 05                              | 1,5     | 1,0          | 1,58    | 1,0          | 1,08    | »                     |
|                        | 7             | 1,5                             | 1,5     | 1,0          | 1,58    | 1,0          | 1,08    | »                     |
|                        | 8             | 1,5                             | 1,5     | 1,5          | 1,58    | 0,5          | 1,08    | »                     |
| Требования ГОСТ 801-78 |               | Не более                        |         |              |         |              |         |                       |
|                        |               | 3                               | 2,75    | 3            | 3       | 3            | 2,5     | 3                     |

80 мм) допускаются отдельные выпадения по баллам неметаллических включений: по одному выпадению — не более 1 балла для двух видов включений. Кроме оценки максимальным баллом, плавка оценивалась средним баллом из максимальных оценок каждого образца. При микроскопическом анализе в образце №1 выявлено силикатное недеформируемое включение (шкала №3, глобули) 3,5 балла, что в пересчете среднего значения на плавку из двух образцов дало результат 2,75 балла. Превышение величины выпадения не является браковочным признаком. Это объясняется повышенным содержанием кислорода в стали.

Карбидная неоднородность контролировалась на тех же образцах, на которых оценивалась загрязненность неметаллическими включениями.

Оценка проводилась сравнением с эталонами шкал №4, 5 и 6 (ГОСТ 801-78) по максимальному баллу (табл. 4).

В заэвтектидных сталях при медленном охлаждении в области сердцевины литой заготовки имеет место сегрегация карбидов. После придания формы проката в горячем состоянии при охлаждении может образоваться сетка карбидов. Это явление следует ослаблять специальными мерами воздействия на прокат. Температурная обработка стали типа ШХ включает в себя смягчающий сфероидизирующий отжиг, при котором обеспечивается растворение карбидной фазы в аустените и образование зернистого перлита. Это явление подтвердили испытания на наличие карбидной сетки в горячекатаном металле, которая соответ-

Таблица 4. Анализ карбидной неоднородности

| Номер плавки           | Номер образца | Микроструктура     |                          |                       |                            |
|------------------------|---------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
|                        |               | полосчатость, балл | карбидная ликвация, балл | карбидная сетка, балл | обезуглерожженный слой, мм |
| 32523                  | 1             | 3                  | 2                        | 2                     | 0,04                       |
|                        | 2             | 3                  | 2                        | 3                     | 0,02                       |
| Требования ГОСТ 801-78 |               | Не более           |                          |                       |                            |
|                        |               | 4                  | 3                        | 3                     | 1,1                        |

ствовала 5-му баллу шкалы №4 и в этих же образцах после отжига карбидная сетка соответствовала 3-му баллу ГОСТ 801-78.

**Анализ результатов и рекомендации.** Появление карбидной сетки в образцах было ожидаемо еще до проведения исследований. Это связано с тем, что в условиях БМЗ нет возможности проводить термическую обработку готового проката, так же как и гомогенизацию непрерывнолитых заготовок перед прокаткой [2—4]. Гомогенизация (диффузионный отжиг) в общем случае является необходимой операцией при производстве шарикоподшипниковой стали. Отжиг состоит в нагреве заготовок до 1100—1200°C и длительной выдержке 15—20 ч. Нередко применяют ступенчатую гомогенизацию — первая выдержка в течение 2 ч при температуре 1120—1200 °C, вторая — при 1160—1240°C и третья — при 1150—1200°C. Такая обработка носит название ступенчатой высокотемпературной обработки (СВТО).

Появление карбидной сетки можно исправить более высоким и длительным нагревом перед горячей деформацией. При прокатке литых заготовок на передельную катаную заготовку сечением 125×125 мм показатель карбидной неоднородности не является определяющим, так как устраняется в процессе дальнейшей переработки, и условия поставки согласуются с потребителем. Для промышленного освоения подшипниковых сталей в условиях БМЗ необходимы дополнительные исследования влияния технологии нагрева на показатели микроструктуры готового проката.

Для исключения возникновения напряжений при нагреве заготовок холодного посада целесообразно нагревать заготовки в течение 2,0—2,5 ч до температуры 800°C, затем дальнейший нагрев производится по режиму горячего посада. Рекомендуемая среднемаховая температура заготовки перед выдачей на стан не должна превышать 1130°C. На заводах "Днепроспецсталь" и Челябинском металлургическом заводе внедрены ступенчатые режимы нагрева стали ШХ15, которые заключаются в нагреве до 1280—1300°C в сварочной зоне, затем производится охлаждение заготовок перед выдачей из печи до температуры поверхности металла 1180°C. Ступенчатый гомогенизирующий нагрев способствует получению плотной однородной макроструктуры и уменьшению степени структурной полосчатости на 1—2 балла.

В условиях стана "850" РУП "БМЗ" такой нагрев затруднителен, так как печь стана "850" противоточная без пережимов между томильной и сварочной зонами. В этом случае целесообразно отработать режим нагрева с интенсификацией нагрева в зонах 3 и 4 до максимально возможной по условиям эксплуатации печи и снизить подаваемое тепло в зоне выдачи до соотношения расхода газ—воздух, обеспечивающим недожог газа в этих зонах с дожиганием в зонах 3, 4. Длительность

нахождения металла в томильной зоне должна быть по возможности максимальной. Заготовку, выданную на прокат, целесообразно выдержать перед прокаткой дополнительно 10—15 с. на рольганге. Прокатку следует проводить со скоростью ниже средней, принятой при прокатке по конкретной схеме деформации. Особенно важно обеспечить требуемую температуру конца прокатки, т.е. в последнем проходе. Температура конца прокатки должна находиться в интервале 950 - 830°C. После завершения деформации необходимо охладить раскат с максимально возможной скоростью от 900 до 700°C. Это делается с целью предотвращения образования грубой карбидной сетки, так как карбидное превращение начинается при 750°C и заканчивается при 700°C; при 675 — 750°C начинается ферритное превращение. Быстрое охлаждение стали в этом интервале не является опасным, так как образующиеся внутренние напряжения релаксируют в результате достаточной пластичности стали. Охлаждение проката после 700°C должно быть замедленным вследствие опасности образования трещин из-за повышенной флокеночувствительности подшипниковой стали. Поэтому дальнейшее охлаждение проводят (в зависимости от назначения стали) либо на спокойном воздухе в штабелях, либо длительное время (до 72 ч) в неотапливаемых колодцах до температуры 200°C. После водоохлаждения металл отправляется на термообработку.

На основе опубликованных данных по Ижевскому, Златоустовскому заводам, заводу "Серп и молот", комбинату "Днепроспецсталь" можно сделать обобщение технологии термообработки горячекатаной стали ШХ15СГ в прутках диаметром не более 80 мм. В основном это нагрев до 790°C, выдержка 12 ч, охлаждение до 630°C со скоростью 40°C/ч, затем охлаждение на воздухе. Увеличение длительности отжига на 8—10 ч снижает карбидную сетку на 0,5 балла. Повышение температуры отжига от 790 до 820°C практически не сказывается на снижении карбидной сетки [5—8].

Следует отметить, что в образовании карбидной сетки ведущим элементом является углерод. Подсчитано, что в равновесной бинарной системе Fe—C каждая десятая доля процента углерода увеличивает количество карбидной фазы на 1,5 мас. %. Однако количество карбидов зависит не только от содержания углерода, но и от легирующих элементов, которые могут вступать с углеродом в различные карбидные соединения. Установлено, что повышение содержания углерода в стали ШХ15 от 0,95 до 1,06% увеличивает среднеарифметический балл карбидной сетки на 0,5 балла. Увеличение содержания хрома в пределах 1,35—1,58% также повышает средний балл карбидной сетки на 0,5%. Наиболее интенсивно на изменение карбидной сетки влияет ускоренное подсуживание после прокатки. Если металл уско-

ренно охлаждается с температуры 850—820°C до 700°C, то карбидная сетка снижается на 1,0—1,5 балла. Выпадение из аустенита заэвтектидных карбидов начинается при температурах ниже 800°C. Однако прокатка подшипниковой стали при таких низких температурах затруднена. При малой величине действительного зерна данное количество выпадающих из аустенита избыточных карбидов распределяется на большое количество зерен (граница зерен), следовательно, толщина карбидной сетки в этом случае уменьшается. Если температура конца прокатки повышается от 900 до 1000°C, то величина микрзерна возрастает в 3 раза. Однако изменение размера микрзерна не сказывается на величине карбидной сетки после отжига. В некоторых случаях, когда ожидается повышенный балл карбидной сетки, целесообразен повторный отжиг. Он возможен при более низкой температуре (780°C), что дает некоторую экономическую выгоду. В случае проведения повторного отжига возможно снижение карбидной сетки на 0,5 балла.

Одним из возможных вариантов является прокатка непрерывнолитых заготовок в катаную передельную заготовку сечением 125×125 мм. С достоверной вероятностью 95% можно ожидать ухудшение показателей по макроструктуре и качеству поверхности на 15—20% при прокатке непрерывнолитой заготовки на сечение 125×125 мм. Из этой заготовки можно получить требуемый прокат диаметром от 75 до 5,5 мм.

**Выводы.** Впервые в условиях РУП "Белорусский металлургический завод" разработана технология и доказана возможность производства по переделам шарикоподшипниковой стали (ШХ15СГ) с целью

дальнейшего ее использования ОАО "Минский подшипниковый завод". Анализ качества непрерывнолитой заготовки и готового проката показал, что для промышленного освоения подшипниковых сталей в условиях РУП "БМЗ" необходимы дополнительные исследования влияния технологии нагрева на показатели микроструктуры готового проката.

Заводы, выбранные в качестве поставщика готовой продукции для ОАО "МПЗ", должны быть определены совместно РУП "БМЗ" и ОАО "МПЗ" по результатам испытаний круглого проката на подшипниковом заводе.

### Литература

1. Теплотехнология металлургических мини-заводов / В. И. Тимошпольский, Ю. В. Феоктистов, А. Б. Стеблов и др. Мн.: Наука і техника, 1992.
2. Ляшенко В. П., Климова В. Н., Ковалев В. Н., Сивоконь Н. А. Влияние технологии охлаждения на структуру и свойства стали ШХ15 // Сталь. 1985. № 2. С. 81—83.
3. Синельников В. А., Каблуковский А. Ф. Повышение качества подшипниковой стали // Сталь. 1988. № 5. С. 26—29.
4. Шербединский Г. В., Зеличенок Б. Ю., Филиппов Г. А., Глазкова С. М. Высокотемпературная пластичность конструкционных сталей ОЭМК // Сталь. 1990. № 7. С. 92—95.
5. Воинов С. Г., Шалимов А. Г. Шарикоподшипниковая сталь. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1962.
6. Спектор А. Г., Зельбет Б. М., Киселева С. А. Структура и свойства подшипниковых сталей. М.: Металлургия, 1980.
7. Комиссаров А. И. Карбидная сетка в подшипниковых сталях и пути ее снижения. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1969.
8. Коваль Ю. А., Неровный Ю. М., Крикунов Б. П., Шербина В. Н. Влияние технологических параметров на качество подшипниковой стали // Сталь. 1988. № 5. С. 36—38.