



The development of the heating technology of bar bearing steel ShH 15SG in conditions of RUP "BMZ" is considered in the article. The embedding of this technology of heating of steel ShH 15SG allowed to roll the mill bar Ø80–130 mm in conditions of RUP "BMZ" guaranteeing the requirements of GOST 801-78.

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова» НАН Беларуси,
В. А. МАТОЧКИН, В. А. ТИЩЕНКО, РУП «Белорусский металлургический завод»,
Д. В. ЛЕНАРТОВИЧ, Белорусский национальный технический университет

УДК 669.046

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ ШХ15СГ В УСЛОВИЯХ РУП «БМЗ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА

В работах [1, 2] приведены результаты и основные технологические параметры при производстве на РУП «Белорусский металлургический завод» гаммы заготовок из шарикоподшипниковых сталей круглого и квадратного сечения.

В период с августа 2001 г. по октябрь 2003 г. было выплавлено 12 плавков стали ШХ15СГ и одна плавка стали ШХ15 с последующей разливкой на МНЛЗ-3 и прокаткой на стане 850 на сортовой круг диаметрами 80, 90, 100, 115, 130 мм и квадрат 125x125 мм. Металл был поставлен на ОАО «Минский подшипниковый завод» для изготовления крупногабаритных подшипников. Анализ качества готового проката плавков показал, что практически по всем показателям (твёрдости, неметаллическим включениям, микропо-

ристости, полосчатости, обезуглероженному слою, карбидной ликвации, центральной пористости, точечной неоднородности и др.) выполнены требования существующих ГОСТ [1]. Вместе с этим был проведен сравнительный анализ показателей проката из шарикоподшипниковой стали производства РУП «БМЗ» и основных производителей стран СНГ (на примере Оскольского электрометаллургического комбината и ОАО «Днепроспецсталь»). Установлено, что показатели качества подшипниковых сталей, производимых РУП «БМЗ», выше, чем производителей стран СНГ. В качестве примера в табл. 1 приведено сравнение показателей по неметаллическим включениям для кругов диаметром 80 мм из сталей ШХ15, ШХ15СГ и вакуумированной электростали ОАО «Днепроспецсталь».

Таблица 1. Сравнительные данные по содержанию неметаллических включений

Предприятие	Оксиды (мин./макс./сред.)	Сульфиды (мин./макс./сред.)	Глобулы (мин./макс./сред.)
ОАО «Днепроспецсталь»	1,0/2,0/1,5	1,0/2,1/1,7	0,5/1,5/1,0
РУП «БМЗ»	0,2/1,2/0,6	1,3/1,9/1,6	0,8 /1,6/1,1

Следует отметить, что шарикоподшипниковая сталь производства РУП «БМЗ» также превосходит и требования ASTM метод А стандарта E45-95 и DIN 50602-85. Исключение составляют показатели по карбидной неоднородности. Подшипниковая сталь перед прокаткой требует гомогенизирующего нагрева и соответствующего оборудования для управления температурным режимом прокатки и последеформационного охлаждения. Исследования микроструктуры готового проката [3, 4] показывают, что для обеспечения требований ГОСТ 801-78 по карбидной неоднородности (полосчатость, карбидная ликвация и карбидная сетка) необходимо растворить карбиды при нагреве перед прокаткой, а затем исключить их появление в готовом прокате. В связи с отмеченным рекомендуемая

температура конца прокатки должна быть не более 1000°С с последующим ускоренным охлаждением до 700°С и замедленным охлаждением до полного остывания проката, что в условиях стана 850 РУП «БМЗ» не обеспечивается и изначально предполагает высокую карбидную неоднородность в готовом прокате.

Наибольшую сложность представляло обеспечение требований ГОСТ 801-78 по показателям карбидной сетки, которая должна быть не более 3 баллов.

В связи с изложенным выше выполнены исследования микроструктуры при изменении режимов нагрева заготовок в печах с шагающими балками перед прокаткой на стане 850 РУП «БМЗ» (рис. 1). В процессе исследований варьиро-

вали температуру нагрева и длительность нагрева заготовок. Результаты показали, что температура конца прокатки заготовок шарикоподшипниковой стали по схеме в 9–11 проходов в среднем превышала 1040°C. При этом

карбидная сетка на отдельных плавках достигала 4–5 баллов. Следует отметить, что при этом наблюдалась и повышенная зачистка поверхности проката, которая достигала на некоторых раскатах 100%.

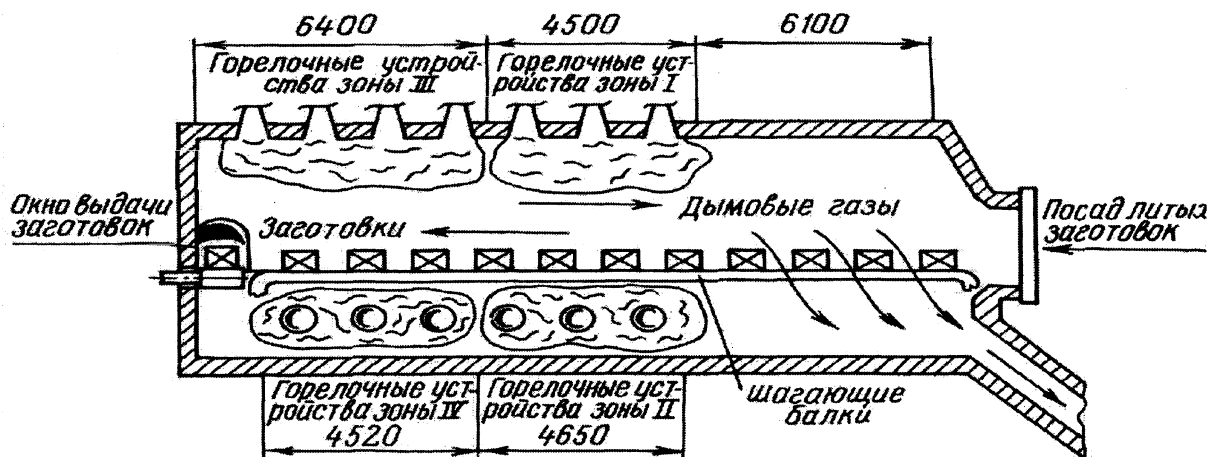


Рис. 1. Подогрвательная печь стана 850 РУП «БМЗ»

По действующей в условиях РУП «БМЗ» технологии производства шарикоподшипниковой стали после разливки непрерывнолитые заготовки охлаждаются в штабелях под колпаками, после чего их нагревают в 4-зонной подогрвательной печи. Средняя температура нагрева заготовок к моменту выдачи из подогрвательной печи (при дальнейшей передаче в нагревательную печь стана 850) составляла 767°C. При этом минимальная установленная в процессе исследований температура посада в нагревательную печь составляла 626°C при средней температуре посада на этой плавке 748°C. Максимальная температура составила 913°C.

В исследованиях, результаты которых приведены в работах [6, 7], показано, что при испытании образцов подшипниковой стали ШХ15СГ фазовое превращение, при котором происходит изменение параметров стали, находится в интервале 750–860°C. Таким образом, интенсификация нагрева в первые 20–30 минут после посада в печь нецелесообразна, так как это может привести к термическим напряжениям, связанным со структурными превращениями.

В дальнейшем был выполнен расчет скорости нагрева поверхности по условию коэффициента температуропроводности стали для заготовки сечением 300x400 мм при нагреве ее в подогрвательной печи. В результате анализа данных установлено, что скорость нагрева в 1-й и 2-й зонах значительно выше требуемой, что приводит к существенному температурному градиенту по сечению заготовки при одновременном процессе фазовых превращений в поверхностных слоях металла. С целью оптимального расхода топлива и предотвращения дефектов в виде трещин, вызванных термическими напряжениями, было пред-

ложено снизить температуру нагрева в 1-й и 2-й зонах до 810–840°C и в 3-й и 4-й – в пределах 930–1000°C.

После подогрвательной печи заготовки нагревали в 7-зонной нагревательной печи с шагающими балками (рис. 2). Температура в зонах печи в среднем изменялась от 1112 до 1186°C в 1–4-й зонах и от 1160 до 1170°C в 5–7-й зонах. Длительность нагрева заготовок изменялась от 2 ч до 4 ч 55 мин. Для статистической оценки влияния основных параметров нагрева на качество микроструктуры были введены новые переменные:

\bar{T} – средняя температура по зонам печи:

$$\bar{T} = \frac{1}{7} (\sum T_i), \quad (1)$$

где i – зоны печи от 1 до 7;

V_n – скорость нагрева на каждой плавке, °C/ч:

$$V_n = (\bar{T} - T_{\text{min}}) / \tau_n. \quad (2)$$

Был выполнен корреляционный анализ влияния средней температуры по печи \bar{T} на показатели $КС$ (карбидная сетка), $КЛ$ (карбидная ликвация), $П$ (полосчатость).

На рис. 3 в качестве примера приведена корреляционная зависимость показателя $КС$ от средней температуры печи \bar{T} . Данные получены на всем объеме 13 исследуемых плавков сталей ШХ15СГ и ШХ15 в кругах диаметрами 80, 90, 100, 115, 130 мм. Анализ результатов показывает, что повышение средней температуры печи \bar{T} снижает показатель карбидной сетки. Аналогичные данные получены по карбидной ликвации и полосчатости.

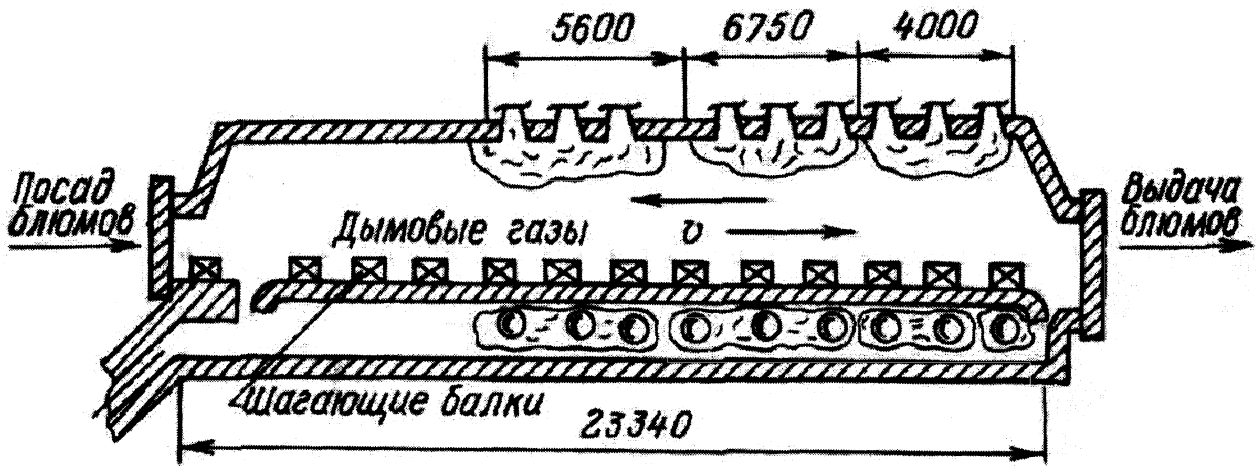


Рис. 2. Нагревательная печь стана 850 РУП «БМЗ»

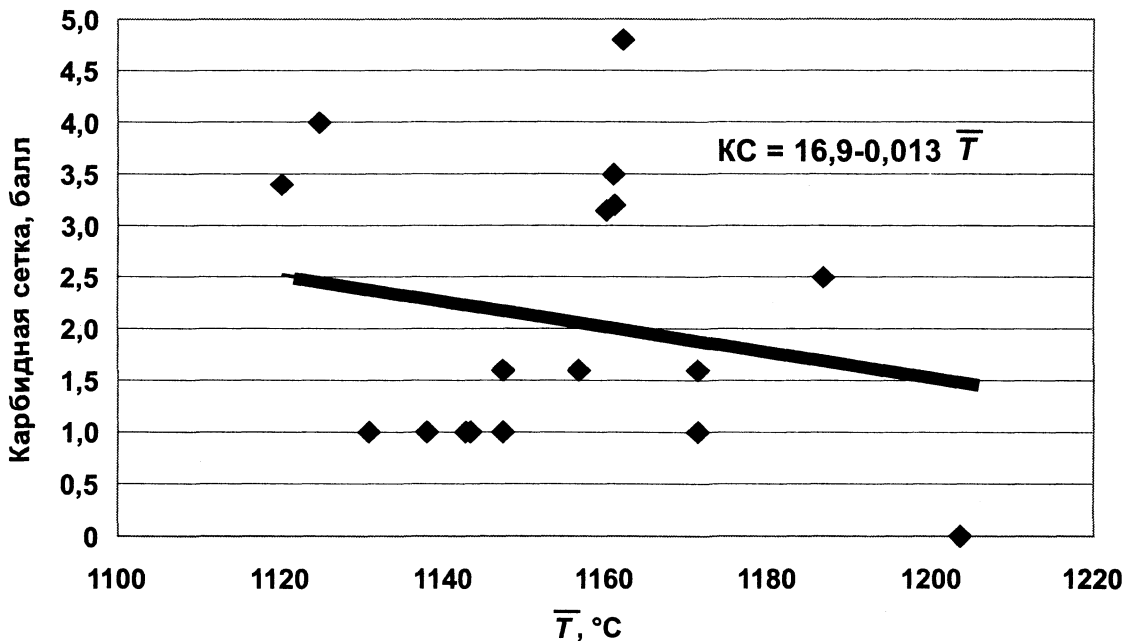


Рис. 3. Изменение показателя карбидная сетка (КС) от средней температуры \bar{T}

На рис. 4 приведены данные по влиянию скорости нагрева V_n на показатель микроструктуры карбидной сетки. Из рисунка видно, что снижение скорости нагрева V_n приводит к ухудшению показателей качества.

На основании результатов исследований были предложены температуры нагрева заготовок по зонам. Так, температура в 4-й зоне должна находиться в пределах 1190–1240°C, в зоне выдачи заготовок из печи – в пределах 1140–1190°C. Температура в нижней зоне печи перед выдачей должна быть на 20°C выше верхней зоны для предотвращения искривления заготовок при прокатке на стане. Длительность нагрева заготовок в нагревательной печи должна быть не менее 2 ч 30 мин – 2 ч 40 мин.

При изучении и выборе рациональных режимов процесса прокатки на стане 850 рассматривали действующие схемы прокатки заготовок с

различной степенью подстуживания металла, при этом конечной целью являлось снижение температуры конца прокатки. На отдельных заготовках осуществлялась выдержка перед началом прокатки от 30 с до 4 мин. Анализ результатов показал, что на исследуемых заготовках не было установлено желаемого снижения температуры конца прокатки и получения соответственно более низких значений карбидной сетки. Температура конца прокатки находилась в интервале 1030–1050°C, а на отдельных заготовках был получен неисправимый брак по трещинам из-за потери пластичности в поверхностных слоях при их подстуживании. Часть заготовок прокатывалась с подстуживанием между проходами от 15 до 40 с, начиная с 8-го по 11-й проходы. На этих заготовках удалось получить снижение температуры в пределах 1016–1023°C и соответствующее улучшение качества микроструктуры. Однако при

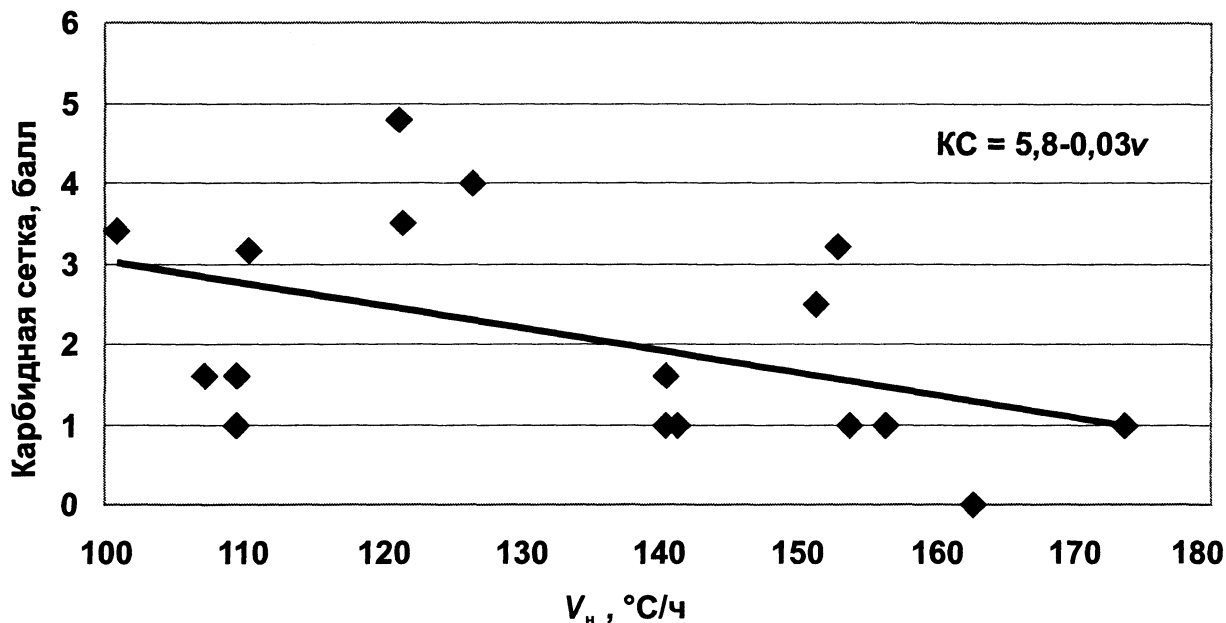


Рис. 4. Изменение показателя KS от скорости нагрева V_n

этом потеря производительности стана составила около 30%.

В дальнейшем выполнены расчеты по изменению среднemasсовой температуры раскатов, при этом начальная температура прокатки заготовки составляла 1120, 1160 и 1180°C с паузами по 40 с после 8, 9, 10-го проходов. Установлено, что температура конца прокатки снижается не более чем на 10°C, так как наблюдается разогрев заготовки в результате работы деформации в процессе прокатки. Наиболее существенно это явление проявляется на заготовках с температурой начала прокатки 1120°C. В этом случае температура конца прокатки на круге диаметром 130 мм составляет 1035°C при прокатке с паузами и без них.

На основании сделанных выводов и имеющейся информации получено уравнение регрессии от технологических факторов нагрева и прокатки по наиболее неблагоприятному показателю микроструктуры (карбидная сетка, балл):

$$KS = 17,4 - 0,0094 \bar{T} - 0,007 T_4 + 0,004 T_{кп}, \quad (3)$$

где \bar{T} – средняя температура в нагревательной печи, °C; T_4 – температура в 4-й зоне; $T_{кп}$ – температура конца прокатки, °C.

Из уравнения (3) следует, что увеличение средней за период нагрева температуры в печи, а также температуры в 4-й зоне, снижает показатель по карбидной сетке. Увеличение температуры конца прокатки повышает показатель карбидной сетки. Расчетное значение карбидной сетки при параметрах нагрева и прокатки на так называемом

плохом расчетном уровне $\bar{T}=1120^\circ\text{C}$, $T_4=1150^\circ\text{C}$, $T_{кп}=1085^\circ\text{C}$ (зарегистрированные опытные данные) имеет показатель $KS = 3,3$ балла при диаметре проката 100 мм.

Расчетное значение карбидной сетки при параметрах нагрева и прокатки на так называемом «хорошем уровне» $\bar{T}=1203^\circ\text{C}$, $T_4=1240^\circ\text{C}$, $T_{кп}=1004^\circ\text{C}$ (зарегистрированные опытные данные) имеет показатель $KS = 1,1$ балла при диаметре проката 100 мм.

Одновременно следует рекомендовать снижение содержания углерода и хрома, стремясь к нижнему пределу по ГОСТ 801-78. На рис. 5 приведены результаты расчета изменения среднemasсовой температуры при прокатке заготовки сечением 300x400 мм по действующей схеме в 11 проходов и опытной схеме в 13 проходов. Из рисунка видно, что при реализации схемы в 13 проходов температура конца прокатки уменьшается с 1078 до 1030°C, что благоприятно сказывается на показателях карбидной сетки. Снижение температуры металла по проходам более плавное, тогда как в заводской схеме видно увеличение температуры в 4, 7 и 9-м проходах. Это свидетельствует и о повышенных усилиях прокатки в этих проходах, так как увеличение температуры объясняется повышением работы деформации и перегрузке клетки, как следствие, растет и температура прокатки. Увеличение цикла прокатки на 13–15% в данном случае целесообразно, поскольку позволит снизить затраты на зачистку проката и улучшить макро- и микроструктуру. К сожалению, данная схема деформации полностью не решает проблему снижения температуры и получения карбидной сетки менее 3 баллов. Требуемые показатели карбидной сетки обеспечиваются при рекомендованной в [5, 8] температуре конца прокатки $\leq 1000^\circ\text{C}$.

Анализ данных по параметрам технологии нагрева, прокатки и последеформационного охлаждения, а также показателей качества в гото-

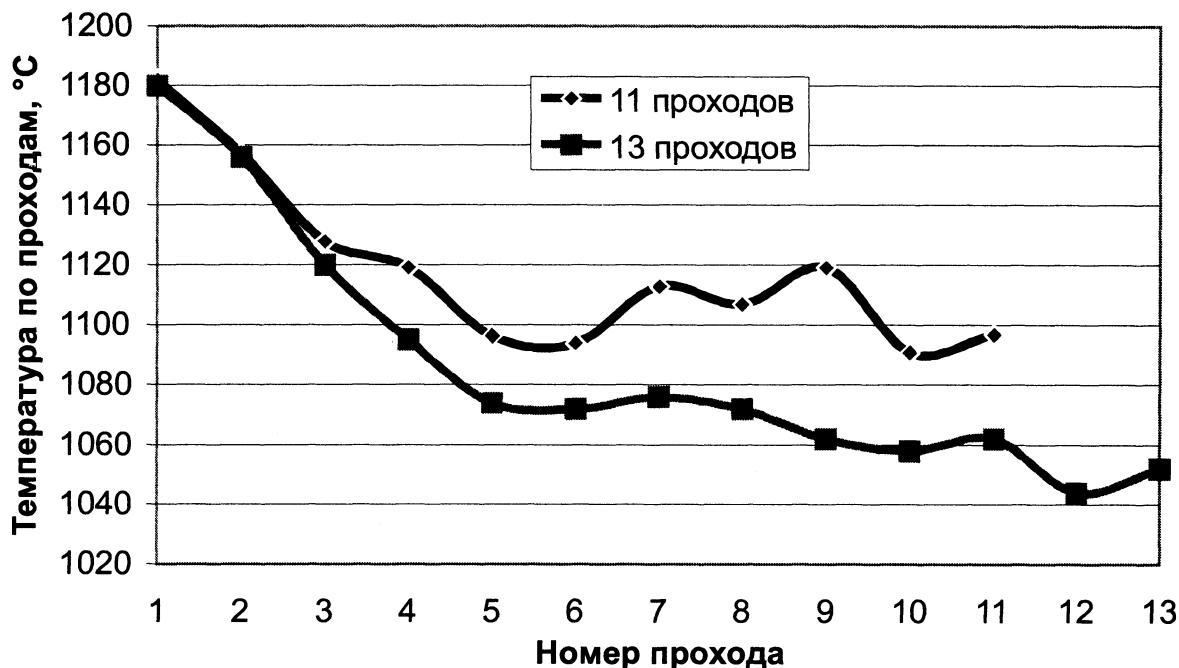


Рис. 5. Изменение расчетной среднемассовой температуры при прокатке заготовки сечением 300x400 мм по действующей схеме (11 проходов) и предлагаемой схеме (13 проходов)

вом сорте на опытных плавках подшипниковой стали позволяет сделать вывод о необходимости совершенствования технологии оборудования на стане 850.

Как было показано выше, попытка добиться снижения температуры конца прокатки понижением температуры в печи, подстуживанием за счет выдержки заготовки перед станом или перед проходами приводит к захлаживанию поверхности, появлению дефектов поверхности и потере производительности стана. Известны решения, которые обеспечивают снижение температуры за счет воздушного охлаждения в потоке [9]. Для реализации данного подхода предлагается установить вентиляторы направленного действия (возможно и форсунки водовоздушного охлаждения) в зону раскатного поля за станом. В этом случае выходящая из клетки заготовка за время нахождения на раскатном поле будет интенсивно охлаждаться.

После стана раскат транспортируется к пиле горячей резки и после порезки поступает на реечный холодильник. С рольганга перед холодильником заготовка поступает на холодильник, поворачиваясь при этом на каждом шаге перемещения. На этом участке шириной 1,2–1,5 м заготовка делает 3–4 шага и охлаждается на воздухе. В этом месте холодильника необходимо установить водовоздушное охлаждение, чтобы интенсивно охлаждать заготовку, желательно до 700°C. Затем заготовка должна охлаждаться медленно с 700 до 200°C. С этой целью над холодильником следует установить легкосъёмные экраны. Возможна установка легкосъёмного навеса штормного типа из теплоизолирующего температурно-стойкого тканевого материала с высокой отражательной способностью.

Выводы

Разработанная технология производства сортового проката диаметром 80–130 мм из сталей ШХ15, ШХ15СГ в условиях РУП «БМЗ» обеспечивает требования ГОСТ 801-78.

С целью повышения качества готового проката, и в первую очередь, достижения необходимых показателей по карбидной неоднородности разработаны режимы нагрева непрерывнолитых заготовок в подогревательной и нагревательной печах прокатного стана 850.

Для получения более стабильной микроструктуры по карбидной неоднородности предложена схема деформации с увеличенным до 13 числом проходов на стане.

С целью дальнейшего улучшения качества микроструктуры целесообразно установить дополнительное оборудование для регулируемого охлаждения раскатов на стане 850 и холодильнике после порезки раската на мерные длины.

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. Комплексная технология освоения выпуска шарикоподшипниковой стали и круглой заготовки в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» / Г.А. Анисович, В.И. Тимошпольский, В.В. Филиппов и др. // *Литье и металлургия*. 2003. № 1. С. 16–22.
3. Синельников В.А. Создание технологических основ производства бездефектной непрерывнолитой заготовки малых сечений стали ШХ15 для изготовления тел качения: Тр. 7-го конгресса сталеплавыльщиков. М.: ОАО "Черметинформация", 2003. С. 340–345.
4. Спектор А.Г., Зельбет Б.М., Киселева С.А. Структура и свойства подшипниковых сталей. М.: Металлургия, 1980.

5. Комиссаров А.И. Карбидная сетка в подшипниковых сталях и пути ее снижения. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1969.

6. Миленин А.А., Дья Х., Стеблов А.Б., Лапенко С.А. Математическое моделирование прокатки непрерывнолитого слитка из стали ШХ15 на стадии неполной кристаллизации его сердцевин // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії. Краматорськ. 2003. С. 178–183.

7. Milenin A., Dyja H., Steblov A., Timospolskij V. Vjdeling of the termo-mechanical processes

during continuous casting and rolling of steel SH15 // IV Miedzynarodova Sesja Naukowa "Nowe technologie i osiagniecia w metallurgii i inzynierii materialowej, Czestochowa. 2003. S. 168–181.

8. Яценко Ю.В., Емченко В.С., Реус В.А., Лихов В.К. Качество катанки подшипниковой стали после двухстадийного охлаждения // Сталь. 1985. №6. С. 62–63.

9. Ляшенко В.П., Климова В.Н., Сокол И.Я., Диомидов Б.Б. Оптимизация технологии отжига ускоренно охлажденной ШХ15 // Сталь. 1989. №6. С. 71–74.