

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ БУНТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ ШХ15 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПЕРЛИТА

С. А. Савченко

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

Н. Н. Мельников

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

Научный руководитель И. В. Астапенко

Приведены результаты исследований по совершенствованию режима поточной термообработки бунтового горячекатаного проката для получения микроструктуры сорбитообразного перлита. Установлено, что при эффективном поточном двухстадийном охлаждении бунтового проката из непрерывнолитых заготовок диффузионный термокинетический распад переохлажденного аустенита происходит с получением мелкодисперсной перлитной структуры. Отмечено, что последующий сфероидизирующий отжиг такого проката приводит к полной глобулизации пластин цементита Fe_3C .

Ключевые слова: поточная термообработка, горячая прокатка, подшипниковая сталь, дисперсность перлита, двухстадийное охлаждение, динамическая рекристаллизация, термокинетический распад аустенита.

Цель работы – разработка методики расчета водяного охлаждения режима поточной двухстадийной термообработки бунтового проката из подшипниковой стали ШХ-15 для получения мелкодисперсной сорбитообразной структуры перлита.

Объектом исследования в работе является технологический процесс прокатки шарикоподшипниковых (ШХ) бунтовых сталей.

В течение более раннего этапа проводимых работ было установлено, что наилучшей исходной структурой под сфероидизирующий отжиг при прокатке катанки из ШХ-сталей на проволочных станах является сорбит. Сфероидизация грубопластинчатого перлита не позволяет получить полную глобулизацию пластин цементита, поскольку Cr и Mn, распределяясь в цементите, замедляют процесс сфероидизации из-за большого межпластинчатого расстояния [1]. Структура троостита прекрасно подходит для сфероидизации, но при этом твердость после термообработки повышается выше требований ГОСТ 801.

Для получения равномерной микроструктуры и стабильного ОБС после анализа термокинетических диаграмм превращения переохлажденного аустенита стали ШХ-15 [2] был разработан усовершенствованный режим поточной термообработки: начальное поэтапное охлаждение водой до температуры 870 ± 20 °С в зоне виткообразователя и последующие охлаждение воздухом на роликовом конвейере четырьмя первыми вентиляторами с требуемой мощностью подачи. Начальная температура охлаждения в зоне виткообразователя была принята равной 870 ± 20 °С (точка A_{r3}) как наиболее оптимальная для формирования мелкодисперсной структуры без образования заметной карбидной сетки при разных скоростях охлаждения [3]. Температура переохлажденного аустенита в период распада – 630 ± 20 °С во временном интервале движения по роликовому конвейеру воздушного охлаждения 15–80 с. При этом интенсивность охлаждения во время переохлаждения составила $\Delta T / \Delta \tau = 18\text{--}20$ °С/с.

Снижение температуры раската в камерах принудительного водяного охлаждения определили исходя из уравнения теплового баланса, согласно которому количество тепла, отдаваемое металлом, равно количеству тепла, поглощаемого водой [4]. При охлаждении раската с начальной температуры t_n до конечной температуры t_k секундное количество тепла, отдаваемого металлом, составляет:

$$Q_1 = \omega v \rho C_c (t_n - t_k), \quad (1)$$

где ω – площадь сечения катанки; v – скорость движения раската; $\rho = 7550 \text{ кг/м}^3$ – плотность при начальной температуре полосы $t_n = 1000 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ и конечной температуре на виткообразователе $t_k = 870 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$; C_c – теплоемкость стали, Дж/(кг · °C).

Теплоемкость стали ШХ-15 в указанном диапазоне температур по результатам собственных исследований и данным, приводимым в работе [5], практически не изменяется и может быть принята $C_c = 636 \text{ Дж/(кг · }^\circ\text{C)}$.

Секундное количество тепла, поглощаемого водой при нагреве ее от начальной температуры $t_{вн}$ до конечной $t_{вк}$, рассчитывается по формуле

$$Q_2 = C_b m (t_{вк} - t_{вн}), \quad (2)$$

где $C_b = 4170$ – теплоемкость воды при $t_b = 30 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$; m – масса воды кг/с.

Приравнявая выражения (1) и (2) и проводя несложные преобразования, получили следующую формулу для расчета снижения температуры раската в камерах принудительного охлаждения:

$$t_n - t_k = \frac{C_b W k (t_{вк} - t_{вн})}{3,6 \omega v \rho C_c}, \quad (3)$$

где W – расход охлаждающей воды в камерах по показаниям расходомеров, $\text{м}^3/\text{ч}$; k – коэффициент эффективности работы камеры, связанный с потерями воды на отсечку и утечку. Экспериментально установлено, что $k = 0,75\text{--}0,80$ [6].

Для прокатки сортамента катанки с диаметрами d , мм, со скоростью v , м/с, получим следующий расход воды W , $\text{м}^3/\text{ч}$:

$d =$	$v =$	$W =$
(5,5)	(115)	(237,7)
6,0	110	270,6
6,2	108	283,7
6,3	107	290,1
7,0	105	351,5
8,0	100	437,3
8,5	95	469
9,5	85	524,1
11,5	62,5	564,7
13,5	52,8	563,7
16,5	30,3	563,6
(18,5)	(24,08)	(563,1)

Формула (3) позволяет путем изменения расхода воды W управлять снижением температуры раската $\Delta t_p = t_n - t_k$ и определять температуру полосы при выходе из камеры $t_k = t_n - \Delta t_p$, или при заданном снижении температуры Δt_p определять необходимый расход воды W . Диапазон изменения температуры воды в камерах охлаждения составляет $\Delta t_b = 30 \pm 5$ °С, что обусловлено спецификой охлаждения в градирне стана. Для получения требуемой температуры полосы на входе в рольганг воздушного охлаждения $t_k = 870 \pm 20$ °С необходимо определить расход воды W в камерах водяного охлаждения. Преобразуя формулу (4), получим зависимость для определения требуемого расхода воды:

$$W = \frac{3,6(t_n - t_k) \omega \rho C_c}{(t_{bk} - t_{bh}) C_k k}. \quad (4)$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующий вывод: до сечения $d = 9,5$ мм расход воды увеличивается линейно, а для сечений $d = 11,5$ – $18,5$ остается неизменным: $W = 563$ м³/ч. Построив в программном пакете EXCEL график зависимости расхода воды от диаметра сечения проката (рис. 1), можно обработать данные инструментами математической статистики и получить регрессионную зависимость (4), с высокой достоверностью ($R^2 = 0,994$).

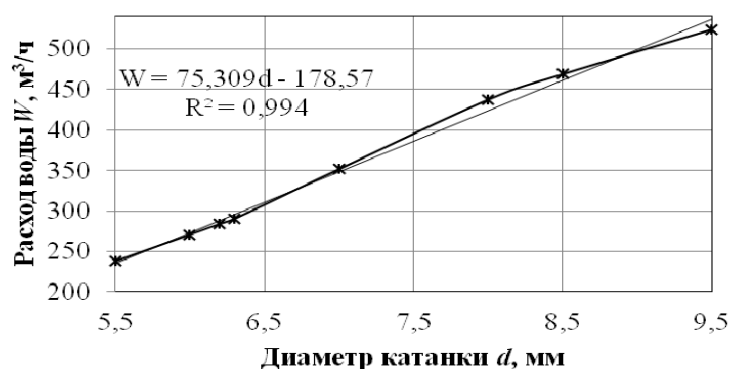


Рис. 1. Графики зависимости расхода воды от диаметра сечения проката

Таким образом, полученная упрощенная формула позволяет оператору поста поточной термообработки назначать требуемый расход воды при прокатке подшипниковой стали ШХ-15 с температурой на виткообразователе $t_k = 870 \pm 20$ °С:

$$W = 75,309d - 178,57. \quad (5)$$

Литература

1. Исследование факторов, способствующих снижению карбидной неоднородности в подшипниковых марках стали / И. А. Панковец, С. А. Савченко, В. И. Возная [и др.] // Черная металлургия. – 2021. – Т. 77, № 7. – С. 804–810. – DOI 10.32339/0135-5910-2021-7-804-810
2. Особенности формирования мелкодисперсной структуры бунтового проката подшипниковой стали / С. А. Савченко, И. А. Ковалева, И. В. Астапенко, А. Б. Сычков // Черные металлы. – 2024. – № 4. – С. 65–73. – DOI 10.17580/chm.2024.04.05

3. Путеев, В. С. Совершенствование технологического процесса производства подшипниковых марок стали на стане 370/150 / В. С. Путеев, С. А. Савченко, И. А. Панковец [и др.] // Литье и металлургия. – 2021. – № 3. – С. 65–73. – DOI 10.21122/1683-6065-2021-3-65-73
4. Савченко, С. А. Оценка эффективности режимов гомогенизирующего отжига подшипниковых марок сталей на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / С. А. Савченко, В. И. Возня, И. В. Астапенко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2021. – № 2 (85). – С. 52–61. – EDN JVZFKY.
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. Влияние исходной структуры бунтового проката из подшипниковой марки стали на равномерность получения структуры после сфероидизирующего отжига / С. А. Савченко, И. А. Ковалева, И. А. Гузова, А. Б. Сычков // Черная металлургия. – 2023. – Т. 79, № 3. – С. 251–260. – DOI 10.32339/0135-5910-2023-3-251-260