

УДК 621.477

Коновалов Ю. В.  
Хохлов А. С.**РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПЕЧНОЙ МОТАЛКИ СТАНА СТЕККЕЛЯ**

Главной задачей является предложение такого способа нагрева полосы в печи стана Стеккеля, которое бы позволило выравнять тепловой баланс по всей длине полосы и следовательно поддерживать однородность структуры металла.

Станы Стеккеля используют для прокатки полос при объеме производства до 1 млн т/год. А также такие станы применяются для прокатки узких полос из специальных сталей [1].

Благодаря созданию новой концепции печной моталки появилась возможность прокатывать очень широкие полосы на станах Стеккеля, для этого были созданы разные конфигурации станов, с помощью которых возможно прокатывать как полосы так и листы [2].

Целью работы является разработка методики расчета нагрева полосы, которая сматалась на барабан моталки, находящийся в печи стана Стеккеля.

Одним из элементов стана Стеккеля является печная моталка, которая, по сути дела, и является главным достоинством стана Стеккеля (рис. 1). Её применение позволяет поддерживать температуру прокатки в строго заданном уровне и исключить раскатные рольганги большой длины.

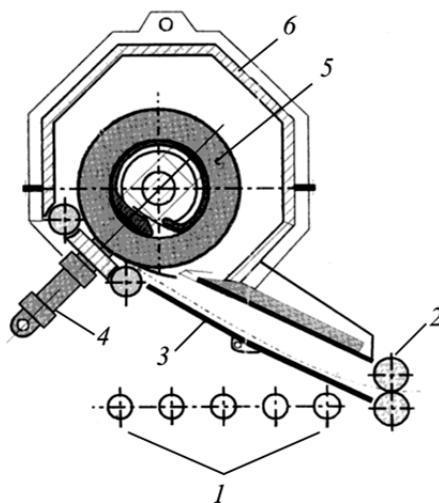


Рис. 1. Печная моталка стана Стеккеля:

1 – рольганг; 2 – задающие ролики; 3 – проводка; 4 – выдвижная оправка; 5 – смотанный рулон; 6 – печь

На первых поколениях станов Стеккеля, как правило, моталки позволяли только поддерживать постоянную температуру смотанной в рулон полосы, т. е. в идеальном случае температура входа равнялась температуре выхода. Возможности влиять на общий уровень температур, главным образом, с целью компенсации потерь температуры на участках между моталками и станом не производилось [1].

В связи с этим одной из наших задач явилась реализация возможности регулирования температурных условий непосредственно в печных моталках.

Изменение температуры полосы в печи стана Стеккеля происходит за счет [3]:

- передачи тепла полосе от печи посредством излучения;
- передачи тепла полосе от оправки посредством теплопроводности;
- передачи тепла теплопроводностью между витками рулона.

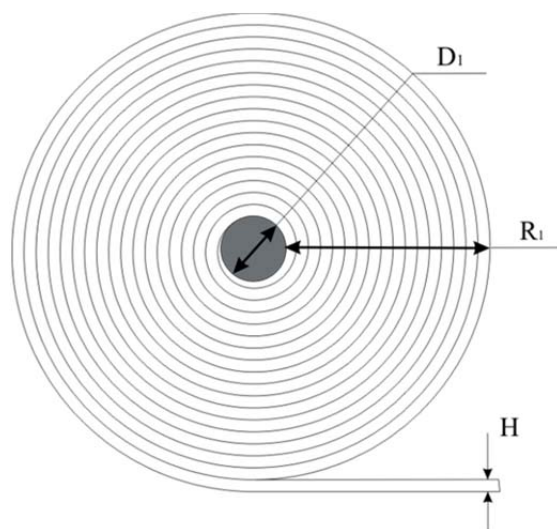


Рис. 2. Полоса, намотанная на барабан моталки стана Стеккеля:

$D_1$  – диаметр барабана моталки;  $R_1$  – радиус полностью смотанной полосы на барабан моталки;  $H$  – толщина полосы

Число витков (рис. 2) определяем по уравнению:

$$n_g = \frac{D_1}{2 \cdot H} + \frac{L}{2 \cdot \pi}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина полосы.

Для определения на сколько градусов произошел нагрев полосы в моталке необходимо определить радиус намотанной полосы  $R_1$ , для этого используется уравнение:

$$R_1 = \frac{D_1}{2} + \frac{L \cdot H}{2 \cdot \pi}. \quad (2)$$

Если число витков в рулоне в данный момент времени обозначить  $k$ , то уравнение, описывающее количество тепла, полученного наружной поверхностью внешнего ( $k$ -го) витка рулона за время  $d\tau$ , имеет вид [4]:

$$dQ_{k_{\text{ВЕРХ}}} = \varepsilon_m \cdot \sigma_0 \cdot F_{\text{верх}} \cdot \left( \left( \frac{T_{\text{печ}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_k}{100} \right)^4 \right) \cdot d\tau, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_m$  – степень черноты прокатываемого металла;

$\sigma_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела ( $\sigma_0 = 5,67$ ), Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>;

$F_{\text{верх}}$  – площадь наружной поверхности расчетного витка рулона, м<sup>2</sup>;

$T_{\text{печ}}$  – температура печи стана Стеккеля, К;

$T_{\text{вит}}$  – температура  $k$ -го витка, К;

$d\tau$  – малый промежуток времени, с.

Площадь наружной поверхности  $k$ -го витка рулона:

$$F_{\text{верх}} = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot r_k, \quad (4)$$

где  $b$  – ширина наматываемой полосы, м;

$r_k$  – радиус  $k$ -го витка, м.

Количество тепла, полученное внутренней поверхностью внутреннего (первого) витка рулона за время  $d\tau$ :

$$dQ_{1НИЖ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot b \cdot \lambda \cdot (T_{опр} - T_1)}{\ln \frac{r_1}{r_{опр}}} \cdot d\tau, \quad (5)$$

где  $T_{опр}$  – температура оправки, К;

$T_1$  – температура внутреннего (первого) витка, К;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности металла при 1000 °С, Вт/м·К;

$r_1$  – радиус внутреннего (первого) витка, м;

$r_{опр}$  – радиус оправки, м.

Количество тепла, отданного с наружной поверхности  $j$ -го витка рулона за время  $d\tau$ :

$$dQ_{jВЕРХ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot b \cdot \lambda \cdot (T_j - T_{j+1})}{\ln \frac{r_{j+1}}{r_j}} \cdot d\tau, \quad (6)$$

где  $T_j$  – температура  $j$ -го витка, К;

$T_{j+1}$  – температура  $(j + 1)$ -го витка, К;

$r_j$  – радиус  $j$ -го витка, м;

$r_{j+1}$  – радиус  $(j + 1)$ -го витка, м.

За время  $d\tau$  количество тепла, отданного с внутренней поверхности  $j$ -го витка равно количеству тепла отданного с наружной поверхности  $(j - 1)$ -го витка:

$$dQ_{jНИЖ} = -dQ_{j-1ВЕРХ}. \quad (7)$$

Таким образом, изменение температуры  $j$ -го витка за время  $d\tau$  составит, °С:

$$dt = \frac{-(dQ_{jНИЖ} + dQ_{jВЕРХ})}{C_m \cdot m_j} \cdot d\tau, \quad (8)$$

где  $m_j$  – масса  $j$ -го витка, кг;

$C_m$  – удельная теплоемкость металла при 1000 °С, Дж/кг·К.

$C_m = 710$  Дж/кг·°С.

Масса  $j$ -го витка:

$$m_j = \pi \cdot \rho_m \cdot b \cdot h \cdot (2 \cdot r_j - h), \quad (9)$$

где  $\rho_m$  – плотность металла при 1000 °С, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – толщина наматываемой полосы, м.

Если изменение температуры  $dt$ , рассчитанное по зависимости (8), получается величиной положительной, то это соответствует росту температуры в  $j$ -м витке, а если отрицательной – падению температуры в  $j$ -м витке.

Время намотки первого витка  $\tau$  разбивается на малые промежутки времени  $d\tau$ , для каждого из которых рассчитывается: количество тепла, полученного наружной поверхностью витка от печи посредством излучения, количество тепла, полученное внутренней поверхностью витка от оправки посредством теплопроводности и изменение температуры  $dt$  [5].

В процессе намотки полосы наружная поверхность каждого намотанного витка сначала контактирует с печью, а затем с внутренней поверхностью следующего намотанного витка. Внутренняя поверхность первого намотанного витка будет контактировать с поверхностью оправки, а внутренняя поверхность последующих намотанных витков будет контактировать с наружной поверхностью предыдущих намотанных витков.

В качестве примера произведен расчет для 11 витков полосы намотанных на барабан моталки, толщина полосы 26 мм, длина полосы условно принята 30 м, температура барабана равна 1100 °С. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Результаты расчета нагрева полосы в печной моталке

№ витка	$dQ$ верх, Вт	$dQ$ ниж, Вт	$m$ , кг	$T$ , °С
0	0	0	0	1100
1	16264880,91	59453602	1947,616	1043,60907
2	3546552,687	13296343,8	1997,604	1009,50879
3	773323,6789	2971771,07	2047,592	1002,07341
4	168622,4998	663805,068	2097,581	1000,45235
5	36767,91613	148190,377	2147,569	1000,09974
6	8017,181927	33064,7283	2197,557	1000,02671
7	1748,129644	7373,70845	2247,545	1000,02806
8	381,175215	1643,58757	2297,533	1000,10587
9	83,11410349	366,180171	2347,521	1000,47082
10	18,12273665	81,5455948	2397,51	1002,11328
11	3,951588783	18,1517283	2447,498	1009,4936

Из табл. 1 видно, что первый виток, за счет более высокой температуры барабана, чем входящая полоса, нагрелся на 43,6 °С за счет теплопроводности. Второй виток за счет этого фактора нагревается значительно меньше. Начиная с четвертого витка, температура барабана моталки практически на температуру витков не влияет. Далее, начиная с витка 10, вновь начинается повышение температуры металла уже за счет излучения.

## ВЫВОДЫ

Разработана методика расчета теплового режима в печи стана Стеккеля, также был произведен расчет подогрева полосы в печи для 11 витков полосы толщиной 26 мм после первого прохода полосы в стане Стеккеля. Данный расчет показал целесообразность использования печной моталки с полной смоткой полосы для дальнейшего её подогрева, т. к. подогрев осуществляется по концам полосы, как раз таких участках, на которых происходит остывание полосы, за счет этого подогрева происходит восстановление теплового баланса по всей длине, а, следовательно, мы получаем однородную структуру и не требуется обрезать концы полосы в брак.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Ю. В. Новые схемы прокатки на станах с печными моталками / Ю. В. Коновалов, А. С. Хохлов, Д. А. Голощапов // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 3 (28). – С. 133–135.*
2. Технология прокатки на стане Стеккеля фирмы VAI / [Таллер Г., Джумлия Г., Грубер В. и др.] // *Черные металлы. – 2005. – № 4. – С. 96–100.*
3. Остапенко А. Л. Компактные технологии на базе станков с печными моталками / А. Л. Остапенко, Э. Е. Бейгельзимер, Д. А. Деркач // *Металл и литье Украины. – 1999. – № 9–10. – С. 41–45.*
4. Тепломассообмен / С. И. Гинкул, В. И. Шелудченко, В. В. Кравцов, С. В. Палкина. – Донецк : Норд-Пресс, 2006. – 298 с.
5. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах / Ю. И. Розенгард, Б. Б. Потапов, В. М. Ольшанский, А. В. Бородулин. – Киев-Донецк : Вища школа, 1986. – 296 с.
6. Егоров В. И. Точные методы решения задач теплопроводности : учебное пособие / В. И. Егоров. – СПб : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 48 с.

Коновалов Ю. В. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ;

Хохлов А. С. – аспирант ДонНТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: ksd.prokat@gmail.com; luda@donix-ua.com

Статья поступила в редакцию 11.10.2012 г.