

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧИХ ВАЛКОВ И ПОЛОСЫ НА ШИРОКОПОЛОСНОМ СТАНЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Платов С.И., Дема Р.Р., Латыпов О.Р., Колдин А.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
Магнитогорск, Россия, latolegraf@list.ru

Повышение ресурса рабочих валков - одна из важнейших задач в области производства горячекатаной полосы. Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на их ресурс, является температурный режим как рабочих валков, так и прокатываемой полосы.

На температурный режим рабочих валков влияют распределение температуры по ширине прокатываемой полосы и эффективность охлаждения. Системы охлаждения валков на многих широкополосных станах горячей прокатки перестают справляться со своей задачей в связи с уменьшением паузы между прокатанными полосами и расширением марочного сортамента. В результате во время прокатки происходит перегрев валков, что приводит к образованию сетки разгара на их поверхности, увеличению интенсивности износа и повышению частоты выхода из строя.

Системы управления охлаждением валков на действующих станах горячей прокатки создаются на основе математических моделей, поскольку измерение температуры непосредственно при эксплуатации является достаточно сложной задачей и имеет невысокую точность.

Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать тепловое состояние рабочих валков в чистой группе клетей стана 2000 горячей прокатки, в зависимости от расхода воды по клетям. Математическая модель включает две составляющие: модель теплового состояния заготовки (полосы) и модель теплового состояния рабочего валка.

### Моделирование теплового состояния заготовки.

Задача определения теплового состояния заготовки во время прокатки решается дифференциальным уравнением теплопроводности (1), в котором величины зависят от двух координат ( $x$  и  $y$ ):

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

где  $c$  – теплоемкость материала заготовки, Дж/(кг·°С);

$\rho$  – плотность материала заготовки, кг/м<sup>3</sup>;

$T$  – температура заготовки, °С;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала заготовки, Вт/(м·°С);

$\tau$  – время, с.

Распространением тепла вдоль полосы (вдоль оси  $x$ ) можно пренебречь, поскольку оно незначительно по сравнению с переносом тепла движением полосы в данном направлении, поэтому в модели используется одномерное уравнение теплопроводности (2):

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right). \quad (2)$$

С учетом того, что  $v = \frac{\partial x}{\partial \tau}$ ,  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ , получим

$$v \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}. \quad (3)$$

В уравнении (3) скорость  $v$  является постоянной при движении полосы между клетями, однако, в процессе деформации полоса движется с ускорением, поэтому каждый шаг  $\Delta x_i$  по координате  $x$  будет характеризоваться своей скоростью  $V_{3i}$  (рис. 1).

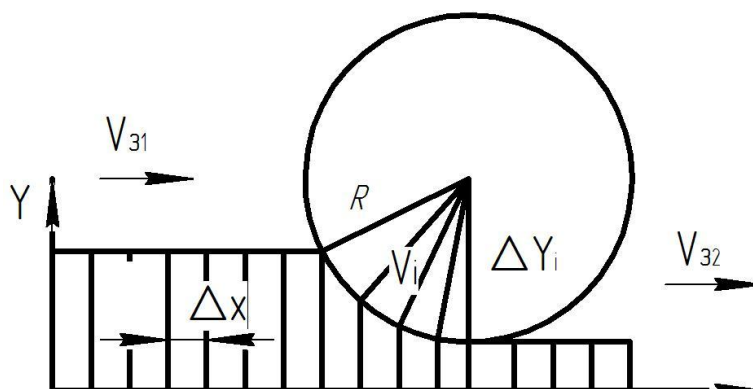


Рисунок 1 - Схема деформации заготовки валками:  
 $V_{31}$  – скорость заготовки на входе в клеть;  
 $V_{32}$  – скорость заготовки на выходе из клетки.

#### Моделирование теплового состояния рабочего валка.

Тепловая задача решается методом независимых потоков. Во внутреннем слое валка задается конечно-разностная сетка вдоль окружности и вглубь поверхностного слоя. Весь валок разделен на узлы по углу и радиусу, как показано на рисунке 2. При этом окружность валка разбивается на восемь зон согласно рисунку 3.

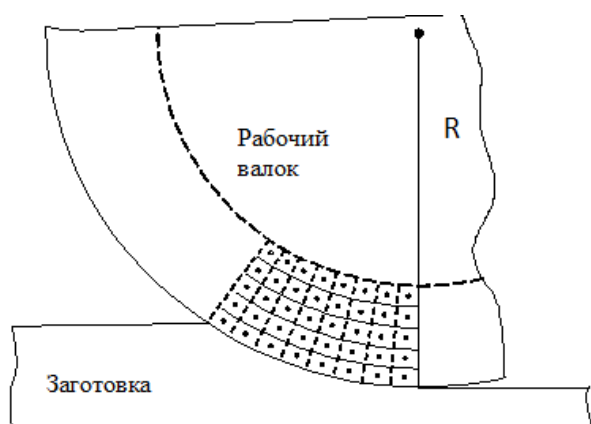


Рисунок 2 - Дискретизация валка для анализа конечных разностей

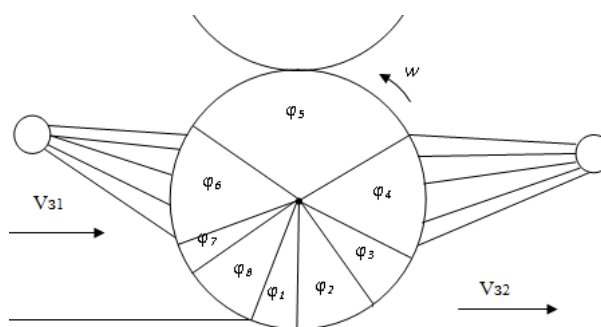


Рисунок 3 - Схема разбиения валка на зоны

#### Числовая реализация моделей теплового состояния валков и заготовки.

Математическая модель теплового состояния валков и заготовки реализована в компьютерной программе, рассчитывающей тепловое состояние рабочих валков в чистовой группе стана 2000 горячей прокатки ПАО «ММК» в зависимости от расхода воды по клетям. Программа отображает температура рабочих валков и выдает рекомендации по настройке системы охлаждения валков.

На данный момент программа управления системой охлаждения рабочих валков установлена как интерактивный помощник на посту управления оператора стана и на рабочем месте заместителя начальника цеха ЛПЦ-10 ПАО «ММК». Программа считывает исходные данные с MES-системы и из сформированных баз данных технологических режимов.

Данная программа (после адаптации) может быть использована на аналогичных станах горячей прокатки.

Список использованной литературы

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.; Высшая школа. – 1967. – 600с.
2. Гейн С. В. Метод независимых потоков для численного решения многомерного уравнения теплопроводности / С. В. Гейн, Н. А. Зайцев, В. С. Посвянский, Ю. Б. Радвогин // Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша РАН – Москва. – 2003. – №53
3. Дема Р.Р. Компьютерное моделирование и исследование процесса горячей прокатки на базе программного комплекса deform-3d / Р.Р. Дема, С.И. Платов, А.В. Козлов, О.Р. Латыпов, Р.Н. Амиров // Производство проката. – 2018. – № 11. – С. 36-40.
4. Платов С.И. Исследование и оценка загруженности главных приводов непрерывной группы клетей стана 2000 горячей прокатки в зависимости от сортамента выпускаемой продукции / С.И. Платов, Р.Р. Дема, А.В. Ярославцев, У.Д. Мартынова, К.К. Ахметова, Р.Н. Амиров // Производство проката. – 2014. – № 2. – С. 13-16.
5. Платов С.И. Разработка и внедрение технологии охлаждения прокатных валков с целью повышения их эксплуатационных характеристик на широкополосном стане 2000 ОАО "ММК" / С.И. Платов, Р.Р. Дема, С.И. Лукьянов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 2 (38). – С. 100-101.
6. Платов С.И. Исследование теплового состояния прокатных валков с целью улучшения температурных условий их эксплуатации // С.И. Платов, Р.Р. Дема, М.В. Зубарева, И.М. Ячиков // Моделирование и развитие процессов ОМД. –2011. – № 1. – С. 25-30.
7. Гареев А.Р. Исследование возможностей прокатного оборудования по достижению термических режимов на примере ШСГП 2000 ОАО "ММК" / А.Р. Гареев, С.А. Муриков, С.И. Платов // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. – № 10-1. – С. 30-34.