

## АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПОЛОСЫ В ЧИСТОВОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Дабас М. Р.<sup>1</sup>, Зубкова Н. С.<sup>2</sup>, Кобзев А. А.<sup>3</sup>  
(ФГБОУ ВО Липецкий государственный технический  
университет, Липецк)

*Описана работа с теплофизическими характеристиками сталей, поиск и аппроксимация их значений в зависимости от температур. Представлено описание математических моделей, на основе которых было разработано программное обеспечение. Также осуществлена апробация моделей на реальных данных.*

Ключевые слова: горячая прокатка, апробация модели, аппроксимация, температурное поле.

### 1. Введение

Прокат стали – процесс, в ходе которого металл подвергается большим перепадам температур (происходит нагрев до 1000 градусов и выше). Это необходимо учитывать при моделировании температурных полей и при выборе входных данных, иначе результаты могут быть существенно искажены.

Задача по моделированию чистовой группы клетей стана горячей прокатки сводится к трем подзадачам:

- 1) очаг деформации (система «валок – окалина – полоса»), включая расчет энергосиловых характеристик;
- 2) межклетевой промежуток;
- 3) охлаждение валка по периметру вне зоны очага деформации.

Перечисленные модели распределения температур в полосе и валках основываются на уравнении теплопроводности. На основе полученных моделей было разработано программное обеспечение [4].

---

<sup>1</sup> Моника Раджешевна Дабас, студент ([monique.dabas@gmail.com](mailto:monique.dabas@gmail.com)).

<sup>2</sup> Надежда Сергеевна Зубкова, студент ([onlyhope2101@mail.ru](mailto:onlyhope2101@mail.ru)).

<sup>3</sup> Андрей Андреевич Кобзев, студент ([kobzev605@gmail.com](mailto:kobzev605@gmail.com)).

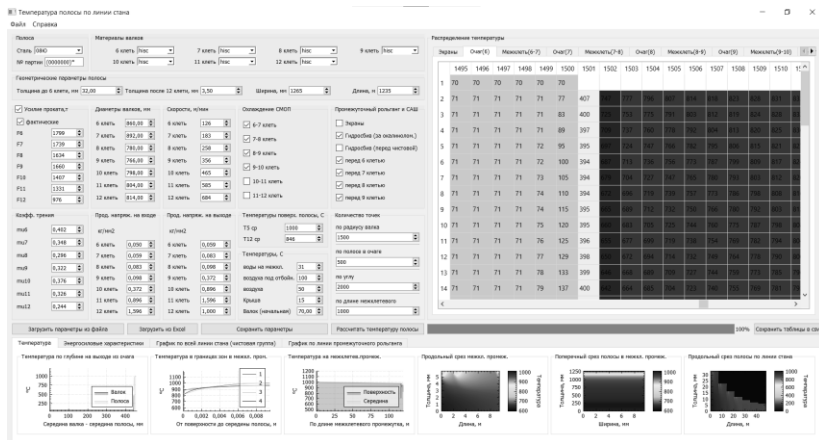


Рис. 1. Окно программы для задачи распределения температуры в полосе по чистой зоне

## 2. Аппроксимация теплофизических характеристик сталей

Одним из входных параметров является материал полосы и валков. Для правильного подбора основных теплофизических характеристик – теплопроводности, теплоёмкости, плотности и коэффициентов Андреюка [2] – была проведена работа по сбору и группировке сталей согласно классификации, представленной на рис. 2. Коэффициенты Андреюка используются для расчета сопротивления деформации, необходимого для вычисления прироста температуры в полосе от пластической деформации.

Для удобства и повышения точности вычислений некоторые теплофизические характеристики были представлены в виде уравнений, описывающих их зависимость от температуры. На следующем этапе были найдены и аппроксимированы значения теплоёмкости и теплопроводности 26 сталей из разных групп (при определении групп учитывались классификации по содержанию углерода или легирующих элементов). Некоторые значения были найдены в [2].

На рис. 3 представлены результаты аппроксимации для теплопроводности сталей марок 08Ю, 1008, S235JR. С помощью

Microsoft Excel уравнение было представлено в виде полинома 3 степени с достаточной точностью, так как коэффициент детерминации достаточно высок.



Рис. 2. Классификация сталей

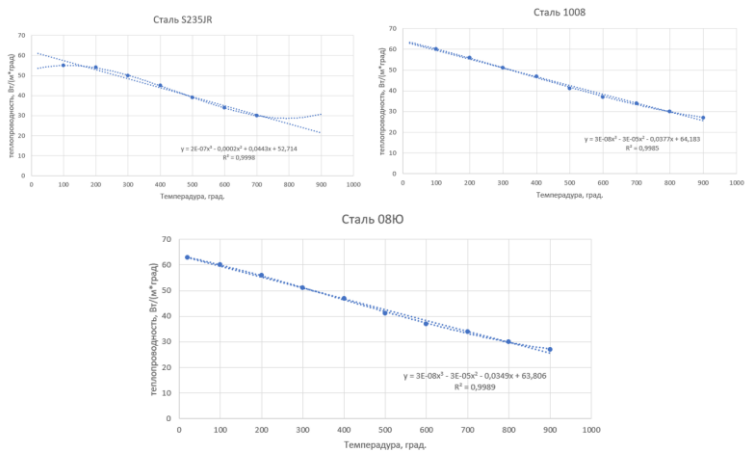


Рис. 3. Аппроксимация значений теплопроводности, представленных в зависимости от температур, для сталей 08Ю, 1008, S235JR

### 3. Адаптация моделей

Для того чтобы выходные данные модели соответствовали реальным, необходимо провести апробацию модели. В [4] описана математическая модель температур в межклетевых промежутках стана горячей прокатки. За теплообмен стали с окружающей средой отвечает тепловой поток в краевом уравнении. Условно поток делится на четыре зоны: две зоны активного и две зоны пассивного охлаждения. Так как в зоне активного охлаждения используется экспериментальный коэффициент теплообмена, то улучшать результат модели будем за счет коэффициента теплообмена в пассивной зоне охлаждения. На такой выбор повлияло несколько факторов, например, неравномерное включение воды в активных зонах, неопределенность условий в пассивных.

Коэффициент теплообмена в пассивной зоне [1, 3]:

$$a_{conv} = C_{Air} \cdot V_S^{\frac{4}{5}} \cdot l_{Air}^{-\frac{1}{5}}$$

где  $C_{Air}$  – поправочный коэффициент,  $V$  – скорость полосы,  $l_{Air}$  – длина текущей пассивной зоны.

Введем корректирующий коэффициент, который будет пропорционально изменять коэффициенты пассивного теплообмена в межклетевых зонах. Были проведены работы по подбору корректирующего коэффициента для групп сталей, где анализировалось отклонение фактической температуры от расчетной (рис. 4–6). По графикам видно, что отклонение температуры составляет в среднем до 30 градусов.

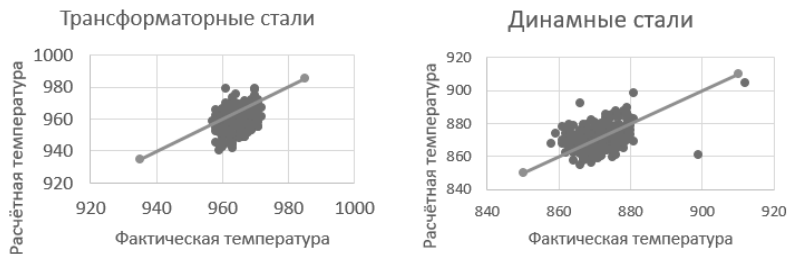


Рис. 4. Сравнение фактических и расчетных температур для электротехнических сталей

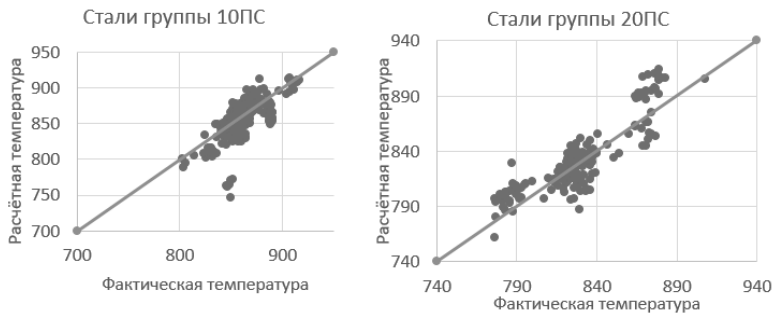


Рис. 5. Сравнение фактических и расчетных температур для сталей 10пс и 20пс



Рис. 6. Сравнение фактических и расчетных температур для стали 08ю

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 19-48-480009-р\_а.

### Литература

1. ДАБАС М.Р., ОРЕШИНА М.Н. Моделирование распределения температуры в рабочих валках стана горячей прокатки //

- Материалы конференции «Управление большими системами». – 2019. – С. 117–122.
2. КОНОВАЛОВ Ю.В., ОСТАПЕНКО А.Л., ПОНОМАРЕВ В.И. *Расчет параметров листовой прокатки. Справочник.* – М.: Металлургия, 1986. – 430 с.
  3. ПИМЕНОВ, В.А., ПОГОДАЕВ, А.К., КОВАЛЕВ, Д.А. *Анализ особенностей охлаждения рабочих валков широкополосного стана горячей прокатки // Производство проката.* – 2018. – Т. 8. – С. 11–18.
  4. ORESHINA M., PIMENOV V., DABAS M. *Software for Modeling the Temperature Distribution of Strip and Work Rolls during Hot Rolling // 1st Int. Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA–2019).* Lipetsk, Russia. – 2019. – P. 269–274.

## **ADAPTATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE THERMAL FIELD IN THE FINISHING TRAIN IN A HOT ROLLING MILL**

**Monika Dabas**, Lipetsk State Technical University, student (monique.dabas@gmail.com).

**Nadezhda Zubkova**, Lipetsk State Technical University, student (onlyhope2101@mail.ru).

**Andrey Kobzev**, Lipetsk State Technical University, student (kobzev605@gmail.com).

*Abstract: The article describes the work with the thermophysical characteristics of steels, the search and approximation of their values as a function of temperatures. The description of the mathematical models on the basis of which the software was developed is presented. The models were tested on real data.*

Keywords: hot rolling, model testing, approximation, temperature field.

УДК 519.6  
ББК 32.966