МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Юго-Западный государственный университет
Сибирский государственный индустриальный университет

3-я Международная
научно-практическая конференция

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ,

посвященная памяти академика А.А. Байкова

Сборник научных статей

15 сентября 2022года

Ответственный редактор Е.В. Агеев

Курск 2022

УДК 620.22
ББК 30.3
С 56 СМП-03

Редакционная коллегия:
Е.В. Агеев, д-р техн. наук, профессор (отв. редактор)
Р.А. Латыпов, д-р техн. наук, профессор
А.Н. Новиков, д-р техн. наук, профессор
В.И. Серебровский, д-р техн. наук, профессор
В.В. Булычев, д-р техн. наук, профессор
В.И. Колмыков, д-р техн. наук, профессор
А.Ю. Алтухов, канд. техн. наук, доцент
А.А. Горохов, канд. техн. наук, доцент
С.А. Утаев, доцент, д.ф.т.н. (PhD), (Узбекистан)
С.В. Пикалов, канд. техн. наук (отв. секретарь)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, посвященная памяти академика А.А. Байкова: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции (15 сентября 2022 года)/ редкол.: Е.В. Агеев (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2022. - 210 с.

ISBN 978-5-907356-18-6

В материалах сборника нашли свое отражение опыт и научные разработки по следующим вопросам: изучение взаимосвязи химического и фазового составов сплавов; теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах; разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок; изучение взаимодействия металлов и сплавов с внешними средами в условиях работы различных технических устройств; исследование работоспособности металлов и сплавов в различных условиях; разработка новых принципов создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств; разработка новых и совершенствование существующих методов фазового, структурного и физико-химического анализов сплавов; определение механизмов влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и др.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР, специалистов в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов, преподавателей, студентов и аспирантов вузов.

Мероприятие организовано и проведено при поддержке гранта Президента РФ (НШ-596.2022.4).

ISBN 978-5-907356-18-6

УДК 620.22
ББК 30.3
© Юго-Западный государственный университет, 2022
© Авторы статей, 2022

УДК 621.771

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ

Сарычев Владимир Дмитриевич, *к.т.н., доцент*
(e-mail: sarychev_vd@mail.ru)
Филяков Артем Дмитриевич, *аспирант*
(e-mail: filyakov_ad@protonmail.com)
Чумачков Илья Игоревич, *аспирант*
(e-mail: I.I.Chumachkov@yandex.ru)
Коновалов Сергей Валерьевич, *д.т.н., профессор*
(e-mail: konovalov@sibsiu.ru)
Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

В данной работе предложена математическая модель термического упрочнения рельсов, включающая расчет температур и изотермическую диффузионную краевую задачу.

Ключевые слова: математическая модель, закалка, рельсы, перлит.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-79-10229).

Введение. Переориентация торговых цепочек в сторону Восточных стран, в частности увеличении поставок Кузбасского угля, приведет к росту объема грузоперевозок на Забайкальской, Восточно-Сибирской, Красноярской железных дорог. Пути отличаются тяжелыми условиями эксплуатации – горноперевальные участки, кривые малого радиуса, перепады температур [1].

Несмотря на сложные технологические процессы производства железнодорожных рельсов, не удается значительно снизить долю продукции, вышедшей из строя раньше положенного срока.

Для разработки новых видов продукции, в том числе рельсов из бейнитных марок стали и перспективах использования тепла прокатного нагрева, необходим комплекс исследований по оптимизации текущего оборудования, применяемого для термической обработки рельсов. Этот комплекс исследований включает блок по математическому моделированию процессов термического упрочнения рельсов. Целью настоящей работы является описание основных этапов математического моделирования термоупрочнения рельсов.

Статья представлена двумя частями: первая – тепловая задача, вторая – моделирование превращения аустенит – перлит в диффузионном приближении.

2.Тепловая задача

Задачу распределения температур в рельсе в процессе термического упрочнения будем рассматривать в одномерной и двумерной постановках [2]. При одномерной геометрии, когда считается, что температура зависит от

времени и только от глубины, анализ экспериментальной кривой охлаждения показывает, что существует два режима охлаждения: первый – кривая является выпуклой и быстро спадает, реализуется скорость охлаждения 7 °С/с, во втором режиме скорость охлаждения составляет 2 °С/с.

Для математического моделирования использовались граничные учитывающие смену механизма охлаждения разными коэффициентами теплоотдачи, которые были определены при сравнении экспериментальных и расчетных зависимостей температуры от времени в определенной точке.

Двумерная тепловая задача распадается на два этапа**:** принудительного охлаждения движущимся воздухом и охлаждение в спокойном воздухе. В первом случае решается сопряженная задача теплообмена, включающая уравнения Навье-Стокса и конвективной теплопроводности для воздушного потока, переноса тепла в рельсе с граничными условиями сопряжения (создан проект в Comsol Multiphisic). На втором этапе решается только тепловая задача для рельса с граничными условиями выражаются через коэффициент теплоотдачи. В результате моделирования получено распределение температуры в рельсе в различные моменты времени на участках принудительного охлаждения и самопроизвольного остывания. Установлено, что снижение температуры поверхностных слоев головки рельсов идет с большей скоростью, чем в центральных частях. Этот факт дает качественное объяснение формированию неравновесных структурно-фазовых состояний в разных слоях.

3. Моделирование превращения аустенит – перлит

Структурно-фазовые превращения при закалке рельсов могут быть смоделированы с разной степенью детализации. Обычно используется JMAK-Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov (JMAK), где доля фракции перлита определяется через экспоненциальную функцию времени с двумя параметрами, зависящими от температуры. Для определения которых этих параметров используется изотермическая диаграмм. Далее используя зависимость температуры от времени в точках сечения рельса, найденную в первом этапе, определяется зависимость доли фракции перлита от времени. Алгоритм и программа расчетов была разработана ранее и верифицирована на закалке арматуры.

Этот подход наиболее простой, но не дает значений размеров перлитных колоний и расстояния феррит-цементитных ламелей. В настоящее время проводятся интенсивные исследования с использованием модели фазового поля и уравнения диффузии для определения межпластинчатого расстояния перлита. Модель позволяет прогнозировать объемную долю перлита, межслойное расстояние и распределение концентрации углерода в аустените. Таким образом, модель позволяет прогнозировать прочностные и эксплуатационные свойства перлитных сталей, в том числе твердость, износостойкость и долговечность в зависимости от технологических параметров. Однако, продолжительность моделирования одного теплового цикла составляет около 4 ч, а решение, основанное на уравнении JMAK,

составляет несколько секунд. Поэтому для моделирования структурно-фазовых превращений при закалке рельсов предложено использовать смешанный подход.

Моделирование превращения аустенит – перлит в диффузионном приближении основано на решении краевой задачи, которая формулируется ниже.

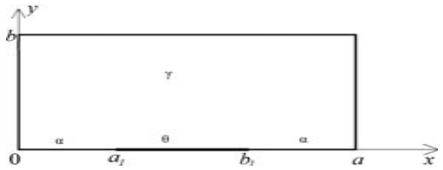


Рисунок 1 – Схема области роста перлита

Начально-краевая задача включает.

Уравнения диффузии в области $0 < x < a; 0 < y < b$:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D \frac{\partial c}{\partial y}$$

Граничные условия на сторонах прямоугольника принимаем в виде

$$y = 0, 0 \le x \le a : \frac{\partial c}{\partial y}(\mathrm{x}, 0) = 0; y = b, 0 \le x \le a : \frac{\partial c}{\partial y}(x, b) = 0;$$

$$x = 0, 0 \le y \le b : \frac{\partial c}{\partial x}(0, \mathrm{y}) = 0; x = a, 0 \le y \le b : \frac{\partial c}{\partial y}(a, y) = 0$$

Начальные условия:

в области прямоугольника вне нижней стороны:

$c(0, x, y) = c_a;\ 0 \le x \le a;\quad 0 < y \le b:$

на нижней стороне прямоугольника:

$$c(0, x, 0) = \begin{cases} c_c,\ 0 < x < a_1; \\ c_f,\ a_1 < x < b_1;: \\ c_c,\ b_1; < x < a \end{cases}$$

Коэффициент диффузии зависит от концентрации и принимает вид:

в кусочно-постоянном виде

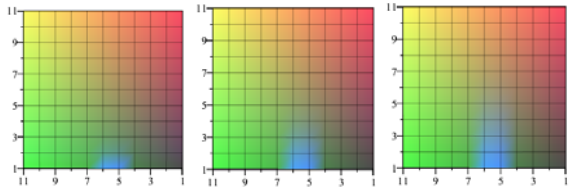
$$D(c) = \begin{cases} D_\alpha,\ 0 < c < c_1; \\ D_\gamma,\ c_1 < c < c_2;: \\ D_\theta,\ b_1; c > c_2. \end{cases}$$

или в аналитическом виде

$$D(c) = H(c_2 - c)\left(D_\gamma + (D_\alpha + D_\gamma) H(c_1 - c)\right) + D_\theta (c - c_2)$$

Здесь H(.) – функция Хейвисайда. Где c_1 и c_2 определяются из условий

$f_\alpha(T, c_1) = f_\gamma(T, c_1);\ f_\theta(T, c_2) = f_\gamma(T, c_2)$



а) б) в)

Рисунок 3 – Модель роста колонии перлита (голубой цвет) при Т=750° К, в различные моменты в различные моменты времени; а) 10 мкс; б) 50 мкс; в) 100 мкс.

Вывод. Предложена математическая модель термоупрочнения рельсов, включающая расчет температур и изотермическую диффузионную краевую задачу. На основе проведенных расчетов получены распределения температур по сечению рельса в различные моменты времени и смоделирован рост колоний перлита.

Список литературы

1.Корнева Л.В., Дементьев В.П., Елисеев С.В., Поздеев В.Н., Хоменко А.П., Черняк С. С. Разработка технологии производства железнодорожных рельсов из стали бейнитного класса повышенной эксплуатационной стойкости для условий Сибири // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1 (37). С.47 – 57.

2. Сарычев В.Д., Молотков С.Г., Кормышев В.Е., Невский С.А., Полевой Е.В. Моделирование дифференцированной термической обработки железнодорожных рельсов сжатым воздухом // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Том 63. №11-12. 907-914 С.

Sarychev Vladimir Dmitrievich, *PhD, associate professor*
(e-mail: sarychev_vd@mail.ru)
Filyakov Artem Dmitrievich, *postgraduate student*
(e-mail: filyakov_ad@protonmail.com)
Chumakov Ilya Igorevich, *postgraduate student*
(e-mail: I.I.Chumachkov@yandex.ru)
Konovalov Sergey Valerievich, *PhD, professor*
(e-mail: konovalov@sibsiu.ru)
Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

RAIL'S HEAT TREATMENT MATHEMATIC MODELLING

This paper proposes a mathematical model of rail's heat treatment, including temperature calculation and isothermal diffusion boundary problem.

Key words: mathematical model, *heat treatment*, rails, perlite.

Можно сделать вывод, что разрушение гайки клапана двигателя самолета не связано с металлургическим качеством исследуемого материала. Трещина появилась в процессе эксплуатации детали.

Список литературы

1. Гайка // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. - 3-е изд. - М.: Советская энциклопедия, 1969 - 1978.

2. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы деформируемые. Марки

***Yakubovich Efim Abramovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*
(e-mail: vitya.kolotilin@mail.ru)
***Kolotilin Viktor Valerievich**, master student*
(e-mail: vitya.kolotilin@mail.ru)
Samara State Technical University, Samara, Russia

ANALYSIS OF THE CAUSES OF THE AIRPLANE ENGINE ENGINE VALVE NUT DESTRUCTION

This article discusses the features of the destruction of the aircraft engine valve nut, and also analyzes the metal of the part to identify defects of a metallurgical nature.

***Key words:** microstructure, crack, chemical composition.*

Научное издание

3-я Международная
научно-практическая конференция

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ,
посвященная памяти
академика А.А. Байкова

Сборник научных статей

15 сентября 2022 года

Ответственный редактор *Е.В. Агеев*

Подписано в печать 23.09.2022 г.
Формат 60x84 1/16, Бумага офисная
Уч.-изд. л. 12,7 Усл. печ. л. 11,5 Тираж 100 экз. Заказ № 1030-2

Отпечатано в типографии
Закрытое акционерное общество "Университетская книга"
305018, г. Курск, ул. Монтажников, д.12
ИНН 4632047762 ОГРН 1044637037829 дата регистрации 23.11.2004 г.
Телефон +7-910-730-82-83