

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу А.А. Александрова  
«Математическое моделирование термических остаточных  
напряжений при производстве маложестких деталей»,  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертация А.А. Александрова посвящена математическому моделированию термических остаточных напряжений при производстве маложестких деталей. Исследование влияния остаточных напряжений на напряженно-деформированное состояние и прочность всегда будет представлять большой интерес в мире современной науки и техники. Следует отметить, что даже наличие высокопроизводительной вычислительной техники и современных программных комплексов, реализующих численные методы расчета, не решает всех проблем моделирования процессов, вызывающих возникновение остаточных напряжений. Это связано с тем, что их использование в каждом конкретном случае связано с необходимостью трудоемкого определения специфических параметров процесса (таких как, кривые ползучести материала в диапазоне температур обработки, распределение углерода по толщине при цементации, температурные зависимости характеризующие теплообмен и другие). Публикации, посвященные математическому моделированию остаточных напряжений, имеют узкую специфику, что объясняется существенными различиями физики протекающих процессов и нестационарностью параметров, поэтому приведенные зависимости малоприменимы для моделирования остаточных напряжений формируемых при термообработке. Учитывая вышесказанное, актуальность представленной работы не вызывает сомнения.

### **Научная новизна**

Научная новизна диссертационной работы определяется тем, что впервые предложен универсальный алгоритм параметрической идентификации температурозависимых параметров математических моделей нагрева (охлаждения), позволяющий решать обратную задачу теплопроводности. Разработана математическая модель, которая с использованием разработанного в работе алгоритма позволяет рассчитать температурозависимый, нестационарный во времени коэффициент

конвективной теплоотдачи, характеризующий теплообмен в процессе закалки и систему нестационарных тепловых полей, возникающих при термообработке заготовок. Алгоритм параметрической идентификации, математическая модель и авторское программное обеспечение позволили сформировать новую систему компьютерного моделирования термических остаточных напряжений, позволяющую провести исследование их формирования и дать рекомендации по их минимизации.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость определяется тем, что в диссертационной работе решена задача моделирования термических остаточных напряжений на основе алгоритма идентификации температурозависимых параметров, имеющая значения для развития отраслей знаний, промышленности, связанных с производством маложестких деталей из заготовок, и получены следующие результаты:

1. На основе системы компьютерного моделирования, разработан алгоритм минимизации термических остаточных напряжений, позволяющий снизить уровень термических остаточных напряжений, общих и локальных остаточных деформаций маложестких деталей.

2. Разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм параметрической идентификации неизвестных параметров и математическую модель процесса (нагрева) охлаждения, позволяющее рассчитывать коэффициент конвективной теплоотдачи и систему нестационарных тепловых полей исследуемого тела при закалке.

3. Использование системы компьютерного моделирования позволяет разработать алгоритм корректировки условий термической обработки, позволяющий снизить уровень термических остаточных напряжений без снижения механических свойств материала заготовки.

4. Полученные в работе результаты рекомендуется использовать на предприятиях металлургической промышленности и авиационных заводах, связанных с лезвийной обработкой термически обработанных заготовок.

### **Структура и содержание работы**

Диссертация содержит: 140 стр. основного текста (введение, 4 главы, заключение, список литературы с 137 источниками) и 3 приложения.

**Во Введении** обоснована актуальности работы, сформулированы цели и задачи исследования, отмечена научная новизна. Приведены сведения об апробации результатов диссертационной работы и основных публикациях, достаточно полно отражающих

содержание диссертации.

**В первой главе** выполнен обзор имеющихся в литературе работ, посвященных определению остаточных напряжений и деформаций и их математическому моделированию. Проведен анализ существующих математических моделей формирования остаточных напряжений и выявлены недостатки. На основании данной работы сформулирована цель и задачи диссертационного исследования.

**Вторая глава** посвящена разработке системы моделирования остаточных термонапряжений. Представленная система позволяет определить температуру на поверхности детали, тепловой поток, коэффициент теплоотдачи, теплофизические характеристики материала.

**В третьей главе** представлена разработанная математическая модель изменения нестационарного теплового поля заготовки в процессе проведения закалки, разработано устройство определения коэффициента теплоотдачи.

При помощи разработанного устройства, способа и соответствующего программного обеспечения экспериментально определены и проанализированы значения температурозависимого коэффициента теплоотдачи  $\alpha(t)$  и позволяющие рассчитать нестационарное тепловое поле заготовки

**В четвертой главе** рассчитана система нестационарных тепловых полей с использованием экспериментально полученных значений коэффициента теплоотдачи и значения остаточных термонапряжений. Разработан алгоритм корректировки условий термообработки заготовок из алюминиевых сплавов, позволяющий снижать уровень термических остаточных напряжений и деформаций без снижения механических свойств материала заготовки.

#### **Достоверность и обоснованность полученных научных результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается согласованностью результатов экспериментальных и теоретических исследований (в т.ч. с результатами экспериментальных исследований термических остаточных напряжений и коэффициента теплоотдачи сторонних авторов), корректным использованием апробированных методов численного анализа, математической статистики и основ термической обработки.

#### **Публикации и апробация работы**

Основные результаты обсуждались на научных конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство о госу-

дарственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Замечания по диссертации**

В диссертационной работе Александрова А.А. имеются следующие замечания:

1. В алгоритме расчета напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе термической обработки не приводятся настройки, позволяющие учесть влияние изменения объема при аустенитно-мартенситных превращениях на формирование термических остаточных напряжений.

2. При расчете нестационарных тепловых полей не учитывается теплообмен исследуемого тела с окружающей средой посредством лучистого переноса тепла.

3. В работе говорится о возможности определения граничных условий I, II, III и IV рода, но приводятся результаты расчета только граничных условий III рода (коэффициента теплоотдачи).

Имеющиеся замечания не имеют принципиального значения для общей положительной оценки диссертации. Диссертация хорошо структурирована. Структура и содержание диссертации логически взаимосвязаны и соответствуют поставленной цели исследований.

### **Заключение**

Диссертационная работа Александрова Андрея Алексеевича, выполненная на тему «Моделирование термических остаточных напряжений при производстве маложестких деталей» и представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения в области моделирования термических остаточных напряжений, внедрение которых обеспечивает повышение эффективности их определения, повышение качества производимых маложестких деталей и вносит значительный вклад в развитие отраслей промышленности, связанных с термической обработкой и производством маложестких деталей.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации, в котором четко и ясно приводится общая характеристика работы, кратко раскрыто содержание всех глав диссертации и сделано заключение по выполненным исследованиям. Также в автореферате приведен список опубликованных работ, отражающих основные положения диссертации. Среди работ опубликовано

Диссертация и автореферат по структуре и оформлению соответствует

требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация соответствует требованиям ВАК РФ и пп. 9 и 10 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,

доцент кафедры «Сопротивление материалов»

ФГБОУ ВО Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления

канд. техн. наук

Бочектуева Елена Баторовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», кафедра «Сопротивление материалов».

670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д. 40В, стр. 1.

Телефон: 8(3012) 43-14-15; факс: 8(3012)41-71-50.

E-mail: [office@esstu.ru](mailto:office@esstu.ru)



Личную подпись

*Бочектуевой Е.Б.*

Заверяю:

Директор Управления делами

*И.Н. Хантаева*  
30.11.2016

И.Н. Хантаева