

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ  
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526  
Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31  
ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735  
ИИН/КПП 7729138338/772901001

2004.2017 № 1504/01-2171.2-254

На № \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

И.О. директора Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки «Институт проблем  
механики им. А.Ю. Ишлинского РАН»

д.ф.м.н., профессор

А.В. Манжиров

«20» апреля 2017 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе Евгения Павловича Даца «Неустановившиеся температурные напряжения в условиях зависимости предела текучести от температуры», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Современные технологии производства изделий сборки конструкций в машиностроении все чаще включают в себя операции (горячая штамповка, формовка, сварка, посадка с натягом), связанные с интенсивным термомеханическим воздействием на материалы. Отсюда следует насущная необходимость в расчетном прогнозировании подобных технологических операций. Некоторые из них принципиально основаны на необратимом деформировании (штамповка, формовка), в других (сварка, горячая посадка) способность материалов к своему необратимому деформированию существенно сказывается на итоговом результате операции. Но во всех таких случаях необходимо учитывать связанность деформационных и

температурных процессов. В рассматриваемой диссертационной работе такое взаимное влияние связывается с зависимостью предела текучести деформируемого материала от температуры, а возрастанием температуры за счет необратимого деформирования пренебрегается. Это позволяет автору провести исследование в рамках теории температурных напряжений, то есть в рамках несвязанной теории. Преимущественно в качестве условий пластического течения выбираются кусочно-линейные поверхности нагружения, что в ряде случаев приводит к упрощению математического аппарата и позволяет получить обозримые численно-аналитические решения. Но в таком случае приходится в процессе решения отслеживать локализацию и моменты возникновения границ, разделяющих область пластического течения на части, где течение подчинено различным уравнениям теории пластичности в зависимости от принадлежности напряженных состояний разным граням и ребрам кусочно-линейной поверхности нагружения.

Развитие такого подхода к решению задач температурных напряжений в рамках, по существу, классической математической модели упругопластичности является основным достоинством диссертации, указывает на ее **актуальность, теоретическую и практическую значимость.**

### **Анализ содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка литературных источников (101 наименование). Оформлена на 150 страницах текста, содержит 48 рисунков и графиков.

**Во введении** на основе литературного обзора, в котором главное внимание уделено постановкам задач теории температурных напряжений в упругопластических телах и особенно в случае присутствия температурных потоков, формулируется тема диссертационной работы, ее цель и задачи

предстоящего исследования. Основанием для этого является достаточно квалифицированно представленная степень разработанности задач и проблем теории температурных напряжений в упругопластических телах при учете зависимости предела текучести от температуры. Обосновывается теоретическая значимость развития подходов в теории температурных напряжений в упругопластических телах для фундаментальной механики деформирования и многочисленных приложений теории в технологической практике.

**Первая глава** диссертации является вводной. В разделе 1.1 приводятся исходные основные соотношения теории температурных напряжений в теории пластического течения типа Прандтля–Рейса, обобщенной для случая линейной зависимости предела текучести от температуры. В качестве условия пластичности рассматриваются классические поверхности нагружения: призма Треска, призма Ивлева–Ишлинского, цилиндр Мизеса.

В разделе 1.2 приводится схема численного решения трехмерной упругопластической задачи с учетом температурного влияния. В качестве поверхности нагружения используется условие Мизеса. Приращения пластических деформаций представляются в виде разности пластических деформаций в текущий и предыдущий моменты времени. Уравнения равновесия, записанные в перемещениях, совместно с условием пластичности образуют систему относительно неизвестных компонент вектора перемещений и неопределенного множителя, входящего в ассоциированный закон пластического течения. Решение данной системы на каждом временном шаге позволяет найти изменение полей напряжений и перемещений при нестационарном тепловом воздействии.

**Во второй главе** в разделе 2.1 решена одномерная задача теории температурных напряжений об интенсивном поверхностном нагреве сплошного шара, изготовленного из упругопластического материала. Установлено, что после появления и развития области пластического

течения, на поверхности шара возникает область разгрузки, граница которой определяется через равенство нулю скоростей пластических деформаций. Положения упругопластических границ определяются температурным полем и не зависят от уровня накопленных необратимых деформаций. Распределения остаточных деформаций представлены как огибающие семейства пластических деформаций в различные моменты времени. Получены распределения итоговых остаточных напряжений. Замечен эффект обратного пластического течения (автор называет его повторным).

В разделе 2.2 построено решение для полого шара. Теперь положение упругопластических границ зависит от уровня необратимой деформации в области течения и разгрузки. Для определения напряженно-деформированного состояния в таком случае предложен численно-аналитический алгоритм расчета, который позволяет отследить появление течения, указать закономерности продвижения упругопластических границ как развивающих течение, так и разгружающих, рассчитать остаточные напряжения и деформации. Показано, что на внутренней поверхности шара возможно появление области пластического течения.

**Третья глава** диссертации посвящена расчетам температурных напряжений в условиях плоского напряженного состояния. Интересными оказываются результаты решения задачи о местном центральном нагреве круглой пластины конечного размера. В то время как в условиях постоянного предела текучести независимого от температуры, результаты решений при использовании +всех трех классических условий пластического течения одинаковы, то при зависимости предела текучести от температуры решения в условиях максимальных касательных напряжений (критерий Треска–Сен-Венана) не существует. При использовании условия пластичности Ишлинского–Ивлева удастся построить решение, которое совпадает с численным решением, основанном на условии Мизеса. Такие

результаты принципиальны для теории и потому значение их обязано быть должным образом оценено.

Кроме того, точные решения соискателю удалось получить в задаче о локальном нагреве бесконечной пластины по круговому контуру. Такие решения существенным образом опираются на использование кусочно-линейных пластических потенциалов Треска – Сен-Венана и Ивлева – Ишлинского. Проведено сравнение результатов таких решений между собой и с результатами численного решения для условия пластического течения Мизеса.

В разделе 3.4 рассмотрена неодномерная задача о температурных напряжениях в прямоугольной пластине, включая расчет итоговых остаточных напряжений. Тем самым предлагается соответствующий метод численного исследования плоских задач теории.

Постановкам и методам расчета неустановившихся температурных напряжений в упругопластических телах в условиях плоских деформаций посвящается **четвертая глава** диссертации. Подробно рассмотрена задача о температурном воздействии на внутреннюю поверхность полого цилиндра, изготовленного из упругопластического материала. Данная задача теории температурных напряжений решена как в условиях кусочно-линейных пластических потенциалов Треска–Сен-Венана и Ишлинского–Ивлева, так и при использовании гладкого потенциала Мизеса. Приведены сравнения полученных результатов решения. В отличие от задач плоского напряженного состояния такие результаты по температурным напряжениям оказались существенно различными. Удивительным оказался результат о близости полусуммы напряжений, полученных с использованием разных кусочно-линейных условий пластичности, температурным напряжениям, рассчитанным при условии Мизеса. Другим важным отличием от случая плоских напряженных состояний является возможность разделения в этом случае области течения на подобласти, в которых пластическое течение

осуществляется по-разному в зависимости от принадлежности напряженных состояний разным граням или ребрам кусочно-линейных поверхностей нагружения. Отмечено возникновение и развитие области полного пластического течения, когда напряжения соответствуют ребру призмы Треска. При соответствии напряжений ребру призмы Ивлева в пространстве главных напряжений соискателю удалось разрешить непростую задачу построения решения с возникновением граничной поверхности, распространяющейся в обратном направлении по развивающейся пластической области. Данную ситуацию трудно было предвидеть, что необходимо поставить в заслугу автору. Указаны также условия возникновения эффекта обратного (повторного) пластического течения.

В этой же главе рассмотрена задача горячей посадки труб. Проанализирована последовательность возникновения различных областей течения как при активном нагреве, так и при последующем остывании сборки. Замечается, что в условиях остывания сборки в окрестности контактной поверхности, как правило, возникает обратное пластическое течение.

Основные разделы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

### **Общая оценка результатов диссертации**

Отмеченные результаты исследования являются **новыми для теории температурных напряжений** в упругопластических телах. Их следует учитывать при разработке алгоритмов и программ расчетов для многочисленных технологических приложений теории. Поэтому они должны учитываться при разработке методик и технических условий соответствующих нормативных документов проведения целого ряда технологических операций в разных отраслях машиностроения, где

изготовление изделий и сборка конструкций опираются на термомеханические воздействия на материалы, что подтверждает несомненную **практическую значимость** результатов диссертационного исследования.

### **Достоверность результатов и апробация работы**

Достоверность результатов подтверждается использованием классических подходов к моделированию упругопластических деформаций и обеспечивается целым рядом сравнений с результатами решений при постоянном пределе текучести.

Результаты диссертации опубликованы в 28 работах, из них 8 – проиндексированы в базе данных SCOPUS, 9 – в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 18 публикаций в сборниках трудов российских и международных конференций, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Вышеизложенное подтверждает высокий уровень апробации материалов диссертации.

### **Замечания**

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Термопластическая связанность в работе учитывается зависимостью предела текучести от температуры. Возникает вопрос о справедливости при таком подходе принципа термодинамической ортогональности Циглера, правила Койтера и принципа максимума диссипации энергии Мизеса?

2. Процедура вывода уравнения теплопроводности, приведённая в работе, основана на предположении, что свободная энергия представляется в виде аддитивной функции квадратичных инвариантов деформаций и температуры. Квадратичная зависимость свободной энергии от температуры приводит к линейным определяющим соотношениям, что характерно для случая малых деформаций и малого изменения температуры. Справедлива ли

используемая гипотеза для интенсивных нестационарных тепловых воздействиях, рассматриваемых в диссертации.

3. Интенсивные термомеханические воздействия могут приводить не только к изменению предела текучести, но и к изменению упругих постоянных материала. В диссертации данный вопрос не обсуждается. Следовало бы уточнить класс материалов, для которых используемое в диссертации допущение имеет место.

Отмеченные замечания несколько не умаляют ценность работы и не влияют на ее восприятие. Можно пожелать, чтобы эти замечания были учтены в дальнейшей работе.

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертации:**

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в научных разработках Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Института проблем машиноведения РАН, Института машиноведения и металлургии ДВО РАН, Центрального научно-исследовательского института машиностроения, Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Научно-исследовательского института механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Института прикладной механики РАН.

#### **Заключение о работе**

Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчеты, написана технически квалифицированно и аккуратно оформлена.

Рассматриваемая диссертация соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задач, имеющих значение для развития теории упругопластического деформирования, содержит новые научные результаты,

выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям п. 9 положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор, Дац Евгений Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном семинаре лаборатории моделирования в механике деформируемого твёрдого тела ИПМех РАН протокол № 1 от 20 апреля 2017 г.

Отзыв составил:

Юрий Николаевич Радаев

профессор, доктор физико-математических наук

по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела

ФГБУН «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН»

Телефон: +7-495-434-35-92

E-mail: [radayev@ipmnet.ru](mailto:radayev@ipmnet.ru)

*in*

Ю.Н. Радаев

20 апреля 2017

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН»

119526, г. Москва, пр. Вернадского д. 101 к. 1

Телефон: +7-495-434-32-38

Факс: +7-499-739-95-31

E-mail: [ipm@ipmnet.ru](mailto:ipm@ipmnet.ru)

URL: <http://www.ipmnet.ru>

ПОС. ПОЛИГРАФСЕРВ.  
ТВО У

