

## Отзыв официального оппонента

*на диссертационную работу Двужилова Антона Сергеевича  
«Закономерности упругопластического деформирования латуни Л63 при  
сложном нагружении по ломанным и гладким траекториям постоянной  
кривизны», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого  
твердого тела.*

Прочность конструкций, их жизнеспособность и безопасность зависят от материалов, из которых эти конструкции изготовлены. Для строительства и машиностроения насущным вопросом является повышение уровня нагрузок на строения и механизмы, вследствие чего в них возникают упругопластические деформации. Существенно, что после перехода материала в какой-то части элемента конструкции в пластическое состояние конструкция может сохранить работоспособность. Кроме того, технологические процессы изготовления конструкций во многих случаях сопровождаются пластическими деформациями, и представляет интерес использование предварительного пластического деформирования для повышения прочности конструкции. Поэтому при проведении прочностных расчетов целесообразно учитывать особенности поведения материалов с учетом закономерностей их упругопластического деформирования при сложном нагружении.

В настоящее время разработано большое количество различных теоретических моделей неупругого деформирования сплошных сред при сложном нагружении. Для оценки адекватности и определения параметров этих моделей для различных материалов необходимы экспериментальные данные. Поэтому тема диссертации А.С. Двужилова, посвященной экспериментальному исследованию механического поведения латуни при сложном нагружении по различным программам деформирования, представляется **актуальной**.

Данная диссертация основана на экспериментальных исследованиях закономерностей упругопластического деформирования при сложном нагружении. В работе представлены результаты исследования процессов деформирования латуни для различных программных траекторий, полученные с применением автоматизированного комплекса СМ-ЭВМ в лаборатории кафедры «Сопротивление материалов, теория упругости и пластичности» Тверского государственного технического университета.



**Научная новизна** работы определяется тем, что впервые были проведены эксперименты по исследованию механического поведения упругопластического деформирования латуни Л63 для траекторий деформирования, которые представляют собой двухзвенные ломаные или состоят из нескольких окружностей, и установлены на основе экспериментальных данных закономерности упругопластического деформирования латуни Л63.

**Практическое значение** диссертационной работы состоит в использовании результатов экспериментально-теоретических исследований в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам «строительная механика», «теория упругости», «механика грунтов», а также во внедрении этих результатов на производстве машиностроительных и строительных конструкций. Результаты могут быть использованы для построения новых математических моделей, описывающих процессы упругопластического деформирования, и для уточнения параметров существующих моделей.

Структурно диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащего результаты и выводы по работе, списка литературы и трех приложений, содержащих сведения о внедрении работы и таблицы с числовыми результатами экспериментов. Объем диссертации 189 страниц, в том числе приложения – 40 страниц. Список литературы содержит 182 наименования.

*Первая* глава диссертации содержит исторический обзор теории пластичности. Во *второй* главе приведены различные критерии пластичности и математические модели процессов упругопластического деформирования. В частности, приведены определяющие соотношения теории процессов, разработанной В.Г. Зубчаниновым. Также эта глава содержит определения тех величин, которые измеряются в ходе экспериментов, выполненных в диссертации, или вычисляются по данным, полученным в результате экспериментов.

*Третья* глава содержит описание автоматизированного испытательного комплекса СН-ЭВМ, с использованием которого были выполнены эксперименты. Этот комплекс разработан в Тверском государственном техническом университете. Комплекс предназначен для проведения экспериментов по растяжению и кручению тонкостенных трубчатых образцов. В главе детально описаны элементы конструкции этого комплекса и их функционирование в ходе экспериментов. Также приведены сведения о



форме и размерах образцов, результаты их химического анализа и изображения микроструктуры материала образцов.

Важно отметить, что напряженно-деформированное состояние тонкостенных трубчатых образцов при кручении и растяжении близко к однородному, что облегчает анализ результатов экспериментов.

Наиболее важной является *четвертая* глава диссертации, содержащая результаты экспериментов. Каждый эксперимент характеризуется определенной программой (траекторией) деформирования, которая задается исследователем. Для каждого эксперимента в этой главе дано подробное описание траектории деформирования и приведены графики, показывающие реакцию материала на деформирование по этой траектории – напряжения, возникающие в образцах, как функции одной из компонент тензора деформации или как функции длины траектории деформирования.

В работе выполнены эксперименты трех типов:

1. Базовые эксперименты по растяжению и кручению образцов.
2. Эксперименты по деформированию образцов по двухзвенным ломаным траекториям в плоскости  $\mathcal{E}_1$ - $\mathcal{E}_3$ .
3. Эксперименты по деформированию образцов по траекториям, состоящим из нескольких окружностей в плоскости  $\mathcal{E}_1$ - $\mathcal{E}_3$ .

Результаты экспериментов второго типа показывают, что излом траектории сопровождается уменьшением напряжений (автор использует термин «нырок»), причем это уменьшение тем заметнее, чем больше угол излома траектории.

Эксперименты третьего типа наиболее разнообразны и включают шесть различных программ нагружения. Выявлен ряд интересных эффектов, в частности, скачкообразное изменение угла сближения при переходе с одной окружности на другую в соответствии с программой деформирования (рис. 31 автореферата, рис. 4.52 диссертации).

Следует отметить высокое качество графического материала, представленного в главах 3 и 4.

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе две статьи в журналах, рекомендуемых ВАК. Работа прошла апробацию на научных конференциях и симпозиумах, включая доклад на научной

конференции в МГУ им. М.В. Ломоносова. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

### **Замечания по диссертации и автореферату:**

1. Желательно было пояснить, из каких соображений выбраны конечные точки двухзвенных ломаных в программах нагружения, изображенных на рис. 4.4 диссертации. Может быть, это точки, соответствующие разрушению образцов, или точки, соответствующие предельным возможностям испытательного оборудования?
2. Хотя в целом обзор работ по теории пластичности достаточно подробен, было бы полезно дополнить его ссылками на публикации по экспериментам в области сверхпластичности. Кроме того, в списке литературы очень мало публикаций в зарубежных научных журналах.
3. Было бы желательно выполнить сравнительный анализ результатов экспериментов по пластическому деформированию латуни с результатами подобных экспериментов, которые проводились для других материалов.
4. На с. 27 диссертации в 8-й строке сверху некорректно упоминается левая часть уравнения (6).
5. В приложении 3 не указана единица измерения времени.
6. На с. 15 автореферата имеется фраза «установлено, что при проведении экспериментальных исследований по гладким траекториям с неизменной кривизной проявляется постоянный режим деформирования». Целесообразно было бы пояснить, кем и когда это установлено.
7. На рис. 15, 16 (с. 15 автореферата), рис. 19 (с. 16 автореферата) было бы желательно пометить точки, соответствующие переходу с одной окружности или полуокружности на другую на траектории деформирования.
8. Термин «окружность с постоянной кривизной» (с. 4 автореферата, строка 17 сверху) неудачен, т.к. кривизна окружности постоянна по определению.

Указанные недостатки не влияют на положительное заключение по работе в целом. Считаю, что диссертация Двужилова А.С. «Закономерности упругопластического деформирования латуни Л63 при сложном нагружении по ломанным и гладким траекториям постоянной кривизны» является



завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены закономерности упругопластического деформирования латуни Л63 при сложном нагружении. Диссертация отвечает требованиям, установленным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Двужилев Антон Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Доктор физико-математических наук (01.02.04 – механика деформируемого твердого тела), заведующий кафедрой математического моделирования и вычислительной математики ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Зингерман Константин Моисеевич

*Зин*

05.06.2024г.

Адрес: Россия, 170100, Тверь, ул. Желябова, 33.

E-mail: zingerman.km@tversu.ru.

Тел. (4822) 58-53-20 (доб. 119, 120).

Подпись Зингермана Константина Моисеевича удостоверяю:

Врио ректора



С.Н. Смирнов