

Отзыв официального оппонента

*на диссертационную работу Саврасова Ивана Александровича
«Закономерности упругопластического деформирования стали 45 и сплава
В95», представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела.*

Современные конструкции и их элементы работают в условиях сложного нагружения и деформирования, при которых закономерности упругопластического деформирования материалов изучены еще недостаточно полно. Поэтому одними из важнейших актуальных задач механики деформируемого твердого тела являются исследования механических свойств конструкционных материалов за пределом упругости и разработка математических моделей, достоверно описывающих закономерности их сложного поведения. Достижению предельных состояний и разрушению конструкций неизбежно предшествуют процессы их сложного упругопластического деформирования. Современные конструкции допускают в своей работе ограниченные пластические деформации. Здесь фундаментальное значение при решении вопросов прочности и деформируемости имеет теория процессов упругопластического деформирования материалов. При этом важнейшую роль в разработке, развитии и верификации математических моделей теории пластичности играют экспериментальные исследования. Они необходимы для построения определяющих соотношений этой теории и вычисления параметров этих определяющих соотношений для конкретных материалов. Далее эти определяющие соотношения используются при проведении расчетов на прочность элементов конструкций. Следует отметить, что сталь 45 и сплав В95 – это материалы, которые находят широкое применение в современной промышленности. В частности, алюминиевый сплав В95 широко применяется в авиастроении, ракетостроении, автомобилестроении и других отраслях. Этим определяется актуальность темы диссертации.

Научная новизна диссертации определяется тем, что в ней предложена и реализована методика исследования механических свойств упругопластических материалов (включая материалы, свойства которых различны при растяжении и сжатии). Эта методика заключается в экспериментальном исследовании напряженно-деформированного состояния тонкостенных трубчатых образцов при непропорциональном изменении продольных деформаций и углов закручивания. Методика предусматривает

реализацию программ сложного деформирования в виде ломаных и дуг окружностей.

Достоверность результатов обеспечена использованием строго математического аппарата и законов механики деформируемого твердого тела; применением в расчетах вычислительных схем, хорошо зарекомендовавших себя в решении задач подобного рода; использованием данных экспериментов, полученных на расчетно-экспериментальном комплексе СЧ-ЭВМ в Тверском государственном техническом университете в лаборатории механических испытаний кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности.

Внедрение результатов. Полученные в работе научные результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный и научный процессы в Тверском государственном техническом университете при подготовке магистров техники и технологии по программе «Теория и проектирование зданий и сооружений» и аспирантов по специальности «Механика деформируемого твердого тела», а так же на производстве в ООО «ПромКонтроль».

Научным результатом диссертационной работы является получение скалярных и векторных характеристик конструкционной стали 45 и сплава В95.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержащего результаты и выводы по работе, библиографического списка и трех приложений, содержащих сведения о внедрении работы и таблицы с числовыми результатами экспериментов. Объем диссертации 179 страниц, в том числе приложения – 69 страниц. Библиографический список содержит 191 наименование.

Первая глава диссертации содержит исторический обзор теории пластичности. Во *второй* главе приведено краткое изложение теории, описывающей напряженно-деформированное состояние упругопластических тел, сформулирован постулат изотропии, предложенный А.А. Ильюшиным. Приведен пример построения определяющих соотношений для упругопластических материалов с использованием этого постулата.

Третья глава содержит описание автоматизированного испытательного комплекса СЧ-ЭВМ, с использованием которого были выполнены эксперименты. Этот комплекс разработан в Тверском государственном

техническом университете под руководством профессора В.Г. Зубчанинова и предназначен для проведения экспериментов по растяжению и кручению тонкостенных трубчатых образцов. Важным достоинством этого комплекса является возможность программного управления процессом деформирования образцов, что позволяет задавать разнообразные программы деформирования, в частности, программы, состоящие из прямолинейных отрезков и дуг окружностей в девиаторной плоскости $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$. Также приведены сведения о форме и размерах образцов, результаты их химического анализа. Исследовано влияние деформации на микроструктуру материала образцов.

Наибольший интерес представляет *четвертая* глава диссертации, содержащая результаты экспериментов. Существенная особенность этих экспериментов состоит в том, что с целью проверки постулата изотропии было выполнено несколько серий экспериментов, организованных таким образом, что программы деформирования для экспериментов каждой серии в девиаторной плоскости $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$ были связаны между собой ортогональными преобразованиями в этой плоскости. Для каждого эксперимента строились диаграммы отклика по напряжениям. Далее для каждой серии экспериментов строились совмещенные диаграммы, характеризующие скалярные и векторные свойства материала, т.е. зависимости интенсивности касательных напряжений и угла вида напряженного состояния от длины траектории деформирования. По близости графиков на совмещенных диаграммах для каждой серии экспериментов автор делал вывод о том, выполняется или нет постулат изотропии для соответствующего материала.

Для стали 45 были выполнены следующие серии экспериментов:

1. Эксперименты на простое нагружение.
2. Деформирование по окружностям в плоскости $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$.
3. Деформирование по траекториям, имеющим форму полуокружностей в этой плоскости.

По результатам этих экспериментов автор сделал вывод о том, что для реализованных сложных траекторий постоянной кривизны для стали 45 постулат изотропии выполняется достаточно точно как по скалярным, так и по векторным свойствам.

Также для стали 45 был выполнен эксперимент, входе которого было изучено поведение материала при деформировании по программе,

реализующей гладкую криволинейную траекторию деформирования, состоящую из нескольких дуг окружностей в плоскости $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$.

Для сплава В95 были выполнены следующие серии экспериментов:

1. Эксперименты на простое нагружение.
2. Деформирование по двузвенным ломаным траекториям в плоскости $\varepsilon_1 - \varepsilon_3$.
3. Деформирование по трехзвенным ломаным траекториям в этой плоскости.

По результатам этих экспериментов автор сделал вывод о том, что для сплава В95 для реализованных траекторий деформирования имеют место отклонения от постулата изотропии.

Полученные в работе результаты представляют существенный интерес для специалистов в области математического моделирования процессов упругопластического деформирования металлов.

Замечания по диссертации:

1. В примечаниях к таблице на рис. 3.29 (с. 51) следовало бы пояснить, как вычисляется анизотропность.

2. Название рисунка 3.23 на с. 46 «Зернистость ε в процентах...» не вполне соответствует содержанию этого рисунка. На рисунке показана микроструктура материала при различных деформациях.

3. По данным, приведенным на рис. 4.8, можно сделать вывод о существенной зависимости угла сближения при заданном s от траектории. Например, при s , близком к 1, значения угла сближения для третьей и четвертой траекторий различаются на 30-40 градусов. Поэтому вывод автора о том, что все диаграммы на рис. 4.8 близки (с. 64), справедлив лишь в качественном отношении.

4. Было бы полезно исследовать влияние скорости деформирования на напряженное состояние образцов при сложном нагружении. Например, провести эксперименты для одной и той же траектории деформирования в пространстве деформаций, но с разными скоростями.

5. В библиографическом списке диссертации нет ссылок на публикации на иностранных языках в зарубежных научных журналах. Вместе с тем,

тематика диссертации представляет интерес и для зарубежных исследователей.

6. В предложении «Для определения собственных напряжений составим уравнение...» [автореферат, с. 7, строка после формулы (2)] термин «собственные напряжения» целесообразно заменить на «главные напряжения».

Несмотря на указанные недостатки, считаю, что диссертация Саврасова И. А. «Закономерности упругопластического деформирования стали 45 и сплава В95» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой получены закономерности упругопластического деформирования стали 45 и сплава В95 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, Саврасов Иван Александрович, 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

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: 22.09.2025 г.

И. о. проректора

по образовательной деятельности



Л.С. Павлова

Л.С. Павлова