

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО «Чувашский
государственный университет
имени И.Н. Ульянова

Кандидат экономических наук,
доцент

А.Ю. Александров

03⁰³ июня 2024 г.



ОТЗЫВ
ведущей организации –
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» на диссертационную работу Саврасова Ивана Александровича «ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛИ 45 И СПЛАВА В95», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертация Саврасова И.А. посвящена исследованию закономерностей неупругого деформирования металлических материалов при сложных процессах переменного нагружения.

Теоретическая значимость проведенных автором исследований состоит в определении закономерностей скалярных и векторных свойств при деформировании широко применяемых конструкционной стали 45 и алюминиевого сплава В95 по траекториям переменной кривизны и траекториям с изломами в пространстве деформаций А.А. Ильюшина

При современном развитии вычислительной техники имеется возможность анализа сложного неупругого деформирования и остаточных деформаций элементов конструкций в целях рационального проектирования. Для потенциально опасных инженерных систем такой анализ является необходимым. В этом состоит актуальность работы соискателя, в которой представлены результаты системных экспериментальных исследований неупругого деформирования по сложным траекториям, проведенных на автоматизированном комплексе СЧ-ЭВМ на базе лаборатории механических испытаний кафедры «Сопротивления материалов, теории упругости и пластичности» Тверского государственного технического университета.

Диссертационная работа Саврасова И.А состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 189 наименования и приложения. Она содержит 216 страниц основного текста, в том числе 3 таблицы, 72 рисунка и приложения на 102 страницах, документ о внедрении результатов в учебный процесс Тверского государственного технического университета и Технический акт внедрения в производственную практику ООО «ПромКонтроль».

Во введении излагается цель исследования, отмечается научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы.

В первой главе приводится обзор литературы по проблемам механики деформируемого тела, историческая справка о научной деятельности А.А. Ильюшина. Во

второй главе рассматриваются понятия о простом и сложном нагружении, обсуждается постулат изотропии и теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Формулируется постулат о локальной размерности образа процесса и теория пластичности для траекторий малого кручения, предложенные В.Г. Зубчаниновым.

В третьей главе подробно рассмотрен автоматизированный испытательный комплекс СН-ЭВМ Тверского государственного технического университета, на котором соискателем были произведены серии опытов по изучению развития упругопластического деформирования при сложном переменном нагружении. Обсуждается методика проведения экспериментов на трубчатых образцах из стали 45 и алюминиевого сплава В95 при осевом нагружении, кручении и внутреннем давлении. Детально дается описание образцов из стали 45 и алюминиевого сплава В95, их механических характеристик.

Автором проводятся исследования в области физики твердого тела, подробно излагаются методы определения химического состава образцов для испытаний. представляется методика металлографических исследований микроструктуры с помощью оптического микроскопа. Представляются результаты, полученные соискателем по исследованию химического состава и эволюции микроструктуры среднеуглеродистой стали 45 (0.45% углерода) при осевом нагружении и кручении. Приводятся данные и фотографии начального состояния структуры стали, состоящей из полос феррита и перлита. Исследуется упругопластическое состояние, примерно около 5.5 % пластической деформации, изменение размеров и формы зерен после деформации. Наблюдается дробление зерен в процессе деформирования, они вытягиваются в направлении пластического течения (становятся продолговатыми, при сжатии - продолговато-изогнутыми) и наблюдается так называемая полосчатость, что соответствует известным результатам. К сожалению, соискателю не представилась возможность в его экспериментальной работе исследовать эволюцию микроструктуры и развитие процесса деформирования в зависимости от вида напряженно-деформированного состояния.

В четвертой главе представлены результаты комплексных исследований развития упругопластического деформирования по группам траекторий с изломами и траекторий различной кривизны в плоскости (Θ_1, Θ_3) пространства деформаций А.А. Ильюшина. Экспериментальные исследования были реализованы Саврасовым И.А. на тонкостенных трубчатых образцах, выполненных из конструкционной стали 45 на комплексе СН-ЭВМ. при жестком переменном нагружении осевой силой и крутящим моментом по четырем программам в пространстве деформаций А.А. Ильюшина.

При простом нагружении начально изотропной стали 45 (статическое растяжение, графики скалярных свойств и кручение, сжатие, сжатие с кручением) представлены. Показана выполнимость постулата изотропии А.А. Ильюшина.

Первая серия из четырех опытов, которые реализуются по окружностям на плоскости (Θ_1, Θ_3) с исходной окружностью диаметра 1.5% с координатами центра $\Theta_1 = 0.75\%$, $\Theta_3 = 0$, начинающейся в начале координат, и трех окружностей, образующихся вращением исходной на 90° , 180° и 270° (нагружение по окружностям происходило по часовой стрелке). Эти траектории являются группой ортогональных преобразований исходной окружности в пространстве деформаций А.А. Ильюшина. В результате анализа опытных данных получено, что диаграммы в координатах: модуль вектора напряжений в зависимости от длины дуги траектории деформирования, во всех опытах близки, автор делает вывод об изотропии скалярных свойств. Построены зависимости угла сближения (угла между вектором напряжений и касательной к траектории деформирования в соответствующей точке на плоскости (Θ_1, Θ_3)) от приращения длины дуги траектории. Все процессы деформирования активные, без разгрузок (угол сближения меньше 90°). Получено практически постоянное значение угла сближения, в среднем, равное 40° . Автор делает вывод об изотропии векторных свойств.

Траектории другой серии экспериментов на стали 45 рассматривались в виде четырех полуокружностей на плоскости (Θ_1, Θ_3) исходная траектория представляется

полуокружностью радиуса 0.75 % с координатами центра окружности $\Theta_1 = 0$, $\Theta_3 = 0.75$ % при этом значение Θ_1 возрастает до 1.5 %, а значение Θ_3 сначала возрастает до 0.75 %, затем, убывает до нуля. В следующих трех опытах, как и в первой группе экспериментов, траектории были образованы ортогональными преобразованиями исходной траектории на 90° , 180° и 270° . В результате анализа соискателем получены такие же результаты: процесс деформирования по всем четырем траекториям активный, без разгрузок (угол сближения меньше 90°). Выполняется постулат изотропии по скалярным свойствам и по векторным свойствам: наступает практически стабилизация угла сближения на, в среднем, 30° , во всех экспериментах.

Еще одна представляющая интерес траектория деформирования стали 45 реализуется по восьми последовательным полуокружностям радиуса $R = 0.25\%$, начинающейся в начале координат: растяжение от нуля до $\Theta_1 = 4\%$ с кручением, возрастающим до 0.25%, потом убывающим до нуля и далее кручением в обратную сторону и т.д. Построена диаграмма деформирования в координатах: модуль вектора напряжений в зависимости от длины дуги траектории деформирования, на ней изменение кривизны, характеризующие скалярные свойства материала. Получено, что модуль вектора напряжений вначале подрастает с ростом величины Θ_3 , затем уменьшается (уменьшение не превышает 7%), как наблюдается и при изломе траектории. Таким образом, при смене знака кривизны, модуль вектора напряжений сначала возрастает, а затем плавно убывает, причем уменьшение не превышает 7%. Данное нагружение является

активным процессом (угол сближения меньше 90°), без разгрузки, начиная со второго участка имеет место колебательный процесс для угла сближения: вначале убывание угла сближения до нуля, а затем его возрастание, максимальное значение, в среднем, составляло 70 %.

Соискателем производятся серии опытов на трубчатых образцах из алюминиевого сплава В95 на комплексе СН-ЭВМ при жестком переменном осевом нагружении с кручением. При статическом растяжении и сжатии графики зависимости модуля вектора напряжения от длины траектории деформирования близки и отличаются от графика кручения.

В первой серии трех опытов реализуются траектории деформирования в виде двухзвенных ломаных с углами излома 90° . Исходное деформирование из кручения до величины $\Theta_3 = 0.75\%$ и затем растяжения до $\Theta_1 = 2.5\%$ при постоянном сдвиге. Преобразования исходной траектории осуществляются вращением против часовой стрелки на 90° и 180° . В третьем опыте на втором звене удалось достичь лишь значения сжатия примерно 1%, так как образец потерял устойчивость. При анализе обнаруживается наличие компоненты Θ_2 , величина которой не превышает 7 % от Θ_1 .

Вторая серия состоит из трехзвенных ломаных в плоскости (Θ_1 , Θ_3) исходная траектория реализуется путем кручения до $\Theta_3 = 1.5$ %, излома траектории на угол 135° и деформирования при одновременном растяжении и кручении до точки с координатами $\Theta_1 = 2\%$, $\Theta_3 = -0.4\%$, затем снова излом на 135° и деформирование при постоянном значении $\Theta_3 = -0.4$ % до значения $\Theta_1 = 0$, в точке с координатами $\Theta_1 = 0$, $\Theta_3 = -0.4\%$ имел место следующий излом на 90° и реализовывалось кручение до потери устойчивости трубчатого образца. Ортогональные преобразования исходной траектории осуществляются вращением против часовой стрелки на 90° и 180° (вторая и третья программы). По результатам этих опытов построены диаграммы в координатах: модуль вектора напряжений в зависимости от длины дуги траектории деформирования. По всем трем опытам соискателем получены близкие диаграммы для угла сближения от приращения длины дуги траектории.

Автор провел самостоятельную научно-исследовательскую работу, в которой **представлены новые результаты** изучения закономерностей скалярных и векторных свойств при деформировании стали 45 и алюминиевого сплава В95 по траекториям

переменной кривизны и траекториям с изломами в пространстве деформаций А.А. начальная структура Ильюшина. При осевом нагружении и кручении автором исследуется стали 45 и ее изменение при остаточной деформации до 5.5%. Обнаруживается полосчатость структуры. Представлена методика автоматизированной обработки результатов испытаний по различным траекториям деформирования на испытательном комплексе СН-ЭВМ Тверского государственном технического университета и их графического представления в пространстве А.А. Ильюшина. Построены зависимости модуля вектора напряжений от длины дуги деформации. Исследованы зависимости угла сближения от приращения длины дуги траектории деформации. По результатам проведенного исследования автор сделал вывод об изотропии скалярных и векторных свойств стали 45.

Практическая значимость работы состоит, в том числе, в использовании полученных закономерностей упругопластического деформирования стали 45 и алюминиевого сплава В95 в расчетах сложного напряженно-деформированного состояния, элементов конструкций. Результаты исследований возникающего при эксплуатации вошли в специальные курсы по подготовке магистров по направлению подготовки 08.04.01 и подготовки аспирантов по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, читаемые в Тверском государственном техническом университете.

Достоверность научных положений и выводов работы обеспечивается применением современных механических и физических методов экспериментальных исследований и средств измерений, использованием автоматизированного экспериментального комплекса СН-ЭВМ. В диссертации применяются методы механики деформируемого твердого тела, теории упругопластических процессов.

Диссертацию следует рассматривать как законченную теоретическую и практическую разработку, результаты которой составляют научную новизну и получены автором лично. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

При общей положительной оценке диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. При представлении результатов исследований эволюции структуры стали 45 автором приведены таблицы на стр. 50-53 и рисунки 3.29 - 3.32. При этом из текста работы не ясно, что такое диапазон, чья суммарная площадь и длина, что за единица измерения - анизотропность.

2. Автором приведены результаты исследований начальной структуры и состояния около 5.5% деформации стали 45. Было бы интересным исследовать структуру и в промежуточных состояниях с целью изучить развитие процесса пластического деформирования.

3. На стр. 58, если посмотреть на рис. 4.2, и на стр. 66, если посмотреть на рис. 4.9, то координаты центра окружности, отмеченной красным цветом, будут $\mathcal{E}_3 = 0$, $\mathcal{E}_1 = 0.75$ %, а не как написано в работе: $\mathcal{E}_1 = 0$, $\mathcal{E}_3 = 0.75$ %.

4. В работе содержатся стилистические и фразеологические неточности. Например, на странице 13 есть следующий абзац: «Развитие теории упругости приводит к появлению еще одного нового раздела - теории упругости и пластичности. В настоящее время имеется большое количество математического описания с помощью определяющих соотношений пластических сред, т.е. моделирования деформации сплошной среды - феноменологический подход». Не очень понятно, как развитие теории упругости может привести к появлению теории упругости и пластичности, как может быть «большое количество математического описания», и т.п. Также на этой странице есть такое предложение: «Многие экспериментальные законы были открыты чисто экспериментально, путем повторения отдельных явлений» Непонятно - как еще можно открывать экспериментальные законы и что такое путь «повторения отдельных явлений». Не только экспериментальные законы основаны на экспериментах, но и многие

фундаментальные законы основаны на экспериментах. На стр. 22: «В 1942 году профессор А.А. Ильюшин построил теорию МУППД при простом нагружении, она позволила построить методологию массового производства артиллерийских снарядов в ВОВ, что устранило снарядный голод в стране». Тут необходимо догадаться, что ВОВ - это Великая отечественная война, что сокращением МУППД обозначено малые упругопластические процессы деформаций. Осталось непонятным, как «методология массового производства» может «устранить снарядный голод».

В работе также имеются грамматические ошибки (например, на стр. 19 «и происходит переход к изучению механизмов и их работы, появляется теория машин механизмов которая вплотную подходит к созданию роботов и манипуляторов»), неточности (А.А. Ильюшин был доктором физико-математических наук, а не технических наук, как указано у автора; на стр. 15 неправильно указаны годы жизни А.А. Ильюшина; нет такой академии «АН РФ» и др.).

В тексте много вольных утверждений, практически произвольного набора слов. Например, абзац на стр. 18: «Важное значение для развития механики имеют работы, посвященные задаче о прочности и разрушении конструкций различных материалов, при чем в конструкциях могут протекать длительные процессы, особенно с учетом температур, излучения, многоцикловая и малоцикловая усталость. При циклических нагрузках происходит смена усилий и соответственно процессы поверхностного разрушения при действии различных напряжений. При чем длительному разрушению подвержены не только металлы, но и керамика, стекло, полимеры и др. Поэтому на таких материалах необходимо проводить расчеты на длительную прочность». Вывод из предшествующего набора слов про расчеты на длительную прочность не ясен. На стр. 28 написано следующее: «...данным тензором он поставил в соответствие одномерное подпространство всестороннего растяжения напряжениями σ_0 и совмещенная пятимерная подпространство E_5 с напряжением S_{ij} (с компонентами) аналогично для тензора деформации... Ильюшин А.А. принял, для анализа ортогональных преобразований второй вариант в пятимерном пространстве конечного вектора деформации». Кроме грамматических ошибок, не понятно, что автор хотел сказать. Еще упомянем один абзац со стр. 18 - 19, который также является набором разрозненных данных: «Н.Е. Жуковский создатель аэромеханики установил ряд принципов теоретической аэродинамики. Он доказал теорему о подъемной силе крыла, скорости воздуха около крыла и разработал вихревую теорию. Большее значение для развития механики корабля имеют работы А.Н. Крылова. Он провел исследования для Военно-морского флота, показал новые способы бронирования кораблей и исследовал вопросы их непотопляемости. Еще одним направлением развития механики твердого тела является Теория течения, которую развивали Кадашевич, Новожилов А.И., а также Бондарь В.С. со своими учениками [3,4,5, 135]. На сегодняшний день эти два направления - Теория процессов [7-91] и Теория течения [105,106,107, 108-131] являются основополагающим и конкурирующими в Теории пластичности». Не ясен вывод относительно теории процессов и теории течения.

В работе также имеются орфографические ошибки в словах, опечатки в формулах и индексах.

Вышеизложенные замечания не отражаются на положительном заключении по рассматриваемой квалификационной работе.

По результатам исследований соискателем опубликовано 11 научных работ, в том числе 4 работы в изданиях, входящих в перечень рецензируемых изданий ВАК РФ, 1 публикация в издании, индексируемом базами данных Web of Science и Scopus.

Таким образом, диссертационная работа Саврасова И.А. является самостоятельной исследовательской работой, которая содержит результаты по экспериментальному исследованию упруго-пластического деформирования металлических материалов при сложных процессах переменного нагружения, соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября

2013 г. N 842, которые предъявляются к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, а соискатель - Саврасов Иван Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры строительных конструкций Максимовой Людмилой Анатольевной, обсужден и одобрен на заседании кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова» «10» мая 2024 г., протокол № 12.

Заведующий кафедрой
строительных конструкций,
кандидат технических наук, доцент
email: plotnikovan2010@yandex.ru



Алексей Николаевич Плотников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»
Адрес: 428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр-т, д.15
Тел. организации: +7(8352) 58-30-36
Адрес электронной почты: office@chuvsu.ru
Web-сайт: www.chuvsu.ru

