



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ДИЗАЙНА**»
(СПбГУПТД)

Б. Морская ул., д. 18, Санкт-Петербург, 191186
Тел. (812) 315-75-25 Факс (812) 571-95-84
E-mail: rector@sutd.ru http://www.sutd.ru
ОКПО 02068605, ОГРН 1027809192102,
ИНН/КПП 7808042283/784001001

07.02.2022 № 38-03-76/02-41

на № _____ от _____

Утверждаю
Первый проректор,
проректор по учебной работе

[Signature]
А.Е. Рудин

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» на диссертационную работу Любви Ивановны Лесняк «Влияние инерционных сил на остаточные напряжения и реологию полимеров и композитов на их основе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Для представления отзыва в диссертационный совет 24.2.308.03 ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова» соискателем были представлены следующие материалы:

– текст диссертационной работы в объеме 119 страницы компьютерной верстки, состоящий из введения, 4 глав, включающих в себя 85 рисунков, общих выводов, заключения, списка литературы, включающего 96 наименования;

– автореферат объемом 23 страницы;

– оттиски публикаций соискателя в количестве 12, свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ в количестве 2 и справки о внедрении в количестве 1.

Рассмотрев на заседании кафедры инженерного материаловедения и метрологии СПбГУПТД представленные материалы диссертации и автореферата, кафедра заключила следующее:

Диссертация Л. И. Лесняк на тему: «Влияние инерционных сил на остаточные напряжения и реологию полимеров и композитов на их основе» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственной технический университет» на кафедре «Сопротивление материалов». Что же касается содержательной части диссертации то изучение и анализ этих материалов показали следующее:

Актуальность и научная новизна диссертации.

Полимерные материалы обладают широким спектром эксплуатационных свойств, поэтому находят разнообразное применение, как в быту, так и в различных отраслях промышленности: посуда и текстильные материалы, медицинское оборудование, современная система водоснабжения, конструкционные элементы строительства, машиностроение, авиации и т.д. Однако полимерные материалы имеют большую, чем у других материалов (металлы, керамика), зависимость физико-механических характеристик от температуры, скорости деформации и длительности воздействия нагрузок, ярко выраженное протекание релаксационных процессов, проявляющихся, например, в таких явлениях как ползучесть и релаксация напряжений.

Имеющиеся теоретические работы, посвящённые описанию напряжённо-деформированных состояний в полимерных материалах, основаны главным образом на линеаризованных физических соотношениях, которые не позволяют полностью описать механическое поведение полимеров в условии их эксплуатации. Стремление к более полному их описанию приводит к необходимости применения нелинейных физических соотношений. Существующие численные комплексы, базирующиеся на методе конечных элементов (ABAQUS, ANSYS, NASTRAN, COSMOS, Calculix, SolidWorks и др.), имеют множество уравнений связи напряжений и деформаций в своём комплекте. При этом они ограничены описанием исключительно необратимых деформаций, что может быть применено к полимерам в ограниченных типах задач. Автор диссертации основывается на нелинейном обобщённом уравнении связи Максвелла-Гуревича, позволяющем определять обратимые во времени деформации, характерные для полимерных материалов. В связи с этим автор решает и задачи, связанные с разработкой программных модулей, позволяющих реализовать необходимые численные методы для более широкого их применения для описания напряжённо-деформированных состояний полимерных материалов.

Диссертационная работа Л.И. Лесняк посвящена комплексному определению напряженно-деформированного состояния полимерных цилиндров, вращающихся вокруг своей оси под действием переменного во времени температурного поля. Характерной особенностью полимеров является выраженная зависимость упругих и релаксационных параметров от температуры. Таким образом, наличие температурного градиента приводит к возникновению неоднородности физико-механических свойств полимера вдоль

радиуса. Выбранное направление исследования представляет собой дальнейшее развитие и углубление способов описания состояний высокомолекулярных соединений под действием нагрузок и деформаций и является, несомненно, актуальным.

Новизной научного исследования диссертанта является комплексное исследование остаточных напряжений вращающихся тел в условиях термовязкоупругости, максимально учитывающих свойства реальных полимеров в предлагаемой расчётной модели.

Содержание диссертации.

Первая глава диссертации представляет обзор работ, посвященных механике полимеров, приводится краткий исторический обзор развития вопросов исследования вязкоупругих свойств полимеров, рассматриваются и анализируются современные подходы и уравнения, описывающие напряжённо-деформированные состояния полимерных материалов.

Вторая глава рассматривает способы определения физико-механических параметров полимеров в нагруженном состоянии, а также констант уравнения Максвелла-Гуревича. Автором предлагается альтернативный алгоритм обработки кривых ползучести полимеров, позволяющий оптимизировать определение значений констант, входящих в это уравнение. Приводится предложенная автором методика определения физико-механических параметров нелинейного обобщённого уравнения связи Максвелла-Гуревича на основе анализа и обработки кривых ползучести полимера. Автор также пытается восстановить теоретическую кривую, которая получается подстановкой определённых констант уравнения связи в выражения для определения деформаций в случае центрального растяжения-сжатия. В главе также приводятся результаты лабораторных испытаний образцов из эпоксидного полимера ЭДТ-10 с целью определения физико-механических параметров этого полимера. Сравнение теоретической и экспериментальной кривых ползучести даёт весьма удовлетворительные результаты.

Третья глава посвящена определению уравнений состояния напряжённо-деформированного полимерного тела в виде цилиндра. Для решения поставленных задач автор прибегает к двум численным методам: методу конечных разностей (МКР) и методу конечных элементов (МКЭ), сопоставление результатов расчёта которых также позволяет говорить о достоверности приведённых исследований. Исследованиям напряжённо-деформированного состояния полимерных цилиндрических тел посвящены работы многих учёных, однако в них было опущено действие инерционных сил, которые могут собой представлять как силы, связанные с тяготением конструкции, так и с её динамической работой, например, центробежные силы при вращении конструкции вокруг своей оси. Таким образом, отличительной чертой приводимых автором уравнений является учёт объёмных массовых центробежных сил, связанных с вращением конструкции вокруг своей оси.

Кроме того, автор при моделировании напряжённо-деформированного состояния предполагает наличие переменного во времени температурного поля, которое в процессе своего изменения может демонстрировать некоторую инертность. Данный факт отражён автором в четвёртой главе.

Четвёртая глава посвящена решению задач по моделированию напряжённо-деформированного состояния вращающегося полимерного изделия. В параграфе 4.1 в качестве материала цилиндра рассматривается эпоксидный полимер ЭДТ-10. В качестве первой задачи рассматривается задача определения напряжённо-деформированного состояния полимерного цилиндра в упругой постановке при различных частотах вращения.

В постановке следующей задачи автором учитывается наличие температурного поля, что ведёт к возникновению температурных деформаций, влияющих на изменение напряжённо-деформированного состояния полимерного тела.

В параграфе 4.1.3 автор принимает в расчёт неоднородность физико-механических свойств полимерного материала, что связано с температурным воздействием.

Далее автор учитывает развитие деформаций ползучести материала (параграф 4.1.4).

Следует отметить, что поэтапное добавление каждого нового фактора позволяет продемонстрировать его вклад в напряжённо-деформированное состояние полимерного тела.

В параграфе 4.1.5 приводится решение двух задач, моделирующих технологический процесс центрифугирования полимерного цилиндрического тела, как с учётом температурного поля, так и без него. Показано, что в случае отсутствия неоднородности полимера, вызванной температурным градиентом, остаточные напряжения со временем релаксируют и исчезают практически бесследно. И наоборот, неоднородность полимера приводит к сохранению в теле остаточных напряжений.

В параграфе 4.2 рассматривается цилиндрическое тело из безобжимных углеродно-эпоксидных композитных материалов. В отличие от эпоксидного полимера ЭДТ-10, в теле из безобжимных углеродно-эпоксидных композитных материалов в связи со слабо выраженной деформацией ползучести возникает весьма незначительная релаксация напряжений. Соответственно, полученные благодаря температурному воздействию напряжения сохраняются практически без снижения их уровня, что может крайне негативно сказаться на дальнейших эксплуатационных качествах изделия.

В параграфе 4.3, как и в параграфе 4.1, рассматривается цилиндрическое тело из эпоксидного полимера ЭДТ-10. Однако в данном случае рассматривается вращение цилиндра с более малыми частотами, что позволяет провести анализ основного вклада в появление остаточных напряжений одного из факторов - частоты вращения тела или наличия температурного поля. Показано, что основные напряжения возникают в процессе изменения температурного поля и составляют весьма существенные цифры, что может

привести к разрушению изделия в процессе изготовления изделия даже при относительно малых частотах.

В заключении приведены основные результаты и выводы по работе.

Научная новизна диссертации и достоверность полученных результатов.

Новым в работе соискателя, прежде всего, является подход, заключающийся в комплексном исследовании напряжённо-деформированного состояния вращающегося тела с учётом зависимости его физико-механических свойств от температурного поля. Данный подход позволяет максимально приблизить использованную модель к реальным эксплуатационным условиям полимерного тела, что часто не учитывается при использовании современных программных МКЭ комплексов, в которых, как говорилось ранее, невозможно использование уравнения состояния, наиболее близко описывающего физико-механические процессы в полимерах.

Достоверность результатов обусловлена корректной постановкой задачи, проверкой граничных условий, применением автором нескольких методов к решению одной задачи, сравнением с экспериментальными данными других авторов. Теоретические результаты работы и сделанные на основании этих результатов выводы не вызывают возражений.

Значимость полученных автором результатов для развития соответствующей отрасли науки

Практическая значимость заключается в разработке методов и пакета прикладных программ для расчета параметров полимерных цилиндрических деталей и конструкций на стадии их изготовления. Результаты работы внедрены в ГК АКСстрой.

Разработанные автором программы могут использоваться в расчетах элементов конструкций в проектных организациях. В свою очередь теоретические положения и полученные автором результаты исследования напряжённо-деформированного состояния будут представлять интерес для исследователей, работающих в направлении разработки и использования конструкций из полимерных материалов. Также полученные результаты могут быть применены при решении вопросов, связанных с разрушением полимерных тел, так как возможность оценки и прогнозирования остаточных напряжений в теле позволяет скорректировать как эксплуатационные параметры готового изделия, так и технологию его изготовления.

Общая оценка выполненной работы (в соответствии с требованиями ВАК РФ).

Все поставленные автором вопросы рассмотрены достаточно подробно, и изложены четко. Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности «Высокомолекулярные соединения» по пунктам 7 и 8.

Качество оформления диссертации

Диссертация оформлена тщательно, с использованием компьютерных технологий, хорошо иллюстрирована. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

По диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Автор исследует и описывает процессы ползучести только в очень ограниченном диапазоне нагрузок. Следовало бы оценить диапазон нагрузок и деформаций при моделировании релаксационных процессов предложенными методами по отношению к общему диапазону возможных деформаций (например, в процентах от разрывных характеристик) для полимерных материалов.

2. Утверждение о том, что остаточные деформации при нагружении полимеров малы по сравнению упругой и высокоэластической компонентой не может быть распространено на многие полимерные материалы. Автору следовало бы указать, к каким именно полимерным структурам относятся предлагаемые методы описания НДС.

3. На рис.3 автореферата зависимость коэффициента начальной релаксационной вязкости от температуры носит экстремальный характер. Как автор может объяснить эту зависимость?

4. Многие выражения и формулы, представленные в работе, не сопровождаются пояснением величин, в них входящих.

5. Автор не везде корректно представляет экспериментальные результаты и определяемые величины, представляя их без доверительных интервалов и с точностью, которая невозможна, уже и вследствие существенной неоднородности по размерам испытуемых.

6. Автор не обосновывает выбор полимерных материалов для проведения исследований.

7. Как автор объясняет наличие остаточных напряжений в полимерных материалах?

8. В диссертации приведён достаточно большое количество графиков с результатами расчётов. Однако, часто их анализ весьма скуден и бездоказателен.

Высказанные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе. Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему и отличающееся научной новизной полученных результатов.

О достаточности и полноте публикаций по теме диссертации.

Основные положения диссертации Л. И. Лесняк изложены в 10 работах, в том числе 3 работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ, а также 7 работ в

изданиях, индексируемых в Scopus/Web of Science. Результаты доложены на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Работа обсуждалась на конференциях и семинарах различного уровня.

Выводы.

По своему содержанию и научно-теоретическому уровню диссертация соответствует критериям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденному Постановлением Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 № 842 (в актуальной редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Любовь Ивановна Лесняк заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию Л. И. Лесняк были рассмотрены и одобрены на заседании кафедры инженерного материаловедения и метрологии СПбГУПТД, протокол № 4 от 3 февраля 2022г.

Доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
инженерного материаловедения и
метрологии СПбГУПТД

Екатерина
Сергеевна
ЦОБКАЛЛО

