

**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
ИНН/КПП 7729138338/772901001

22.05.2024 № 11504/01-2171.2-279

На № _____

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПМех РАН
чл.-корр. РАН С.Е. Якуш



2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Байкова Алексея Владимировича, «Упругие параметры синтактовых композитов на основе полых стеклянных микросфер» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

1. Актуальность темы диссертации

Целью данной работы является построение модели и разработка методов оценки и прогнозирования упругих характеристик синтактовых композитов при растяжении с различным наполнением и относительной толщиной стенки полых стеклянных микросфер.

В последнее время отмечается стремительный рост объемов производства композитов на основе полимерных связующих и полых стеклянных микросфер (синтактиков, сферопластиков). В отличие от пенопластов, сферопластики обладают более высокими удельными упруго-прочностными характеристиками, благодаря чему нашли применение в различных отраслях промышленности и являются наиболее перспективными материалами с точки зрения создания легких и прочных конструкций. От упругих характеристик напрямую зависит такой важный показатель как жесткость конструкции. Синтактовые композиты незаменимы при изготовлении элементов плавуче-

сти для глубоководных аппаратов с глубиной погружения до 10 000 метров. Из этих материалов изготавливаются не только блоки плавучести, но и различные высокопрочные элементы глубоководных аппаратов. Именно этим аппаратам принадлежит одна из главных ролей в освоении Мирового океана, а также поиска, обследования и подъема затонувших объектов. С их участием ведут различные монтажно-ремонтные работы на глубине. За все время исследования Марианской впадины (Марианского жёлоба) на его дно трижды опускались аппараты с людьми на борту и пять раз – необитаемые роботы. В большинстве из них сферопластик использовался в качестве поплавка положительной плавучести. Использование синтактовых материалов на основе ПСМ позволяет создавать сэндвич – структуры с самыми высокими удельными упруго-прочностными характеристиками. Многослойные конструкции широко применяются в сложных инженерных решениях – в самолето- и судостроении, строительстве и других отраслях техники. Несмотря на то, что синтактовые композиты уже много лет используются в высокотехнологичных отраслях промышленности, поведение композитов на основе ПСМ при растяжении, до сих пор остается практически не изученным, именно этот вид деформации является самым опасным для такого рода материалов. В связи с этим работа выполненная Байковым А.В. по исследованию упругих параметров синтактовых композитов на основе полых стеклянных микросфер является актуальной.

2. **Значимость для науки результатов диссертационных исследований автора** заключается в том, что диссертантом построена модель и впервые исследованы упругие характеристики при растяжении синтактового композита с использованием универсальной программной системы 3D моделировании, а так же исследованы основные факторы, влияющие на упругие характеристики синтактового композита при растяжении - это относительная толщина стенки полых стеклянных микросфер и их объемное содержание (ОС) в композите, что и определило **научную новизну** работы.

Диссертантом проведен комплекс экспериментальных исследований упругих характеристик синтактовых композитов при статическом растяжении и построены зависимости упругих характеристик при растяжении синтактовых композитов от степени наполнения и от относительной толщины стенки полых стеклянных микросфер.

3. Значимость для производства результатов диссертационных исследований, полученных автором, определяется прежде всего тем что показана возможность использования универсальной программной системы 3D моделирования для предварительной оценки упругих характеристик синтактовых композитов с различным содержанием полых стеклянных микросфер.

4. Использование результатов и выводов диссертации.

Результаты, полученные в данной работе, представляются крайне актуальными и важными для дальнейшего практического использования. Исследование вносит существенный вклад в развитие теоретических исследований упругих характеристик синтактовых композитов при растяжении. Результаты работы были использованы конструкторами ПАО «РКК Энергия» при проектировании теплозащиты нового поколения, возвращаемого аппарата «Орел», что подтверждается справкой о внедрении.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 103 источников. Основной материал изложен на 108 страницах, содержащих 53 рисунка и 15 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели, основные задачи, научная новизна и практическая значимость результатов работы, сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе описаны объекты исследования и изложена проведенная работа по исследованию основного компонента синтактового композита - полых стеклянных микросфер с описанием технологического процесса получения и их морфологии.

Во второй главе представлен литературный обзор отечественных и зарубежных научных публикаций, близких к тематике диссертации, который показал недостаточную изученность напряженно-деформированного состояния синтактовых композитов при растяжении. Описаны теоретические и экспериментальные исследования, посвященные моделированию и расчету упругих характеристик синтактовых композитов на основе полых стеклянных микросфер и иных материалов схожих по своей структуре.

В третьей главе рассмотрены основные методы получения синтактового композитного материала, из которых был выбран наиболее подходящий. Описан процесс изготовления образцов для проведения экспериментальных исследований упругих характеристик синтактовых материалов при статическом растяжении и для определения динамического модуля методом частотного резонанса.

В четвертой главе описана экспериментальная часть определения упругих характеристик образцов синтактового композита с различным наполнением полыми стеклянными микросферами при статическом растяжении. Приведены графические зависимости модуля упругости и коэффициента Пуассона от наполнения композита полыми стеклянными микросферами.

В пятой главе описана изготовленная установка на основе ПК для определения динамического модуля методом частотного резонанса. Приведены экспериментальные результаты исследования зависимости динамического модуля синтактовых композитов от наполнения его полыми стеклянными микросферами в графическом виде, рассчитанные по двум различным формулам.

В шестой главе описано численное моделирование упругого поведения синтактовых композитов на основе полых стеклянных микросфер в универсальном программном комплексе 3-D моделирования. Выбрана модель и произведен ее расчет методом конечных элементов.

Моделирование объемного соотношения компонентов (коэффициента наполнения) в принятой модели осуществлялось изменением геометрических

размеров (объема) полимерного куба при неизменном внешнем диаметре, а, следовательно, и при постоянном объеме, полый стеклянной микросферы, и изменялось с 30 % об. до 50 % об., максимально возможных для выбранной модели.

Кроме изменения наполнения композита микросферами, для каждого соотношения компонентов варьировалась толщина стенки полых микросфер (0,5 мкм, 1,0 мкм, 1,5 мкм, 2 мкм). Для большинства марок промышленных ПСМ толщина их стенок укладывается в этот размерный интервал.

По работе имеется ряд замечаний:

1. В рассмотрении объекта исследования глава 1 на стр.17 идет описание геометрических параметров полых стеклянных микросфер, но в то же время отсутствует ссылка на рис. 4, на котором они изображены.
2. Присутствуют опечатки, например, в главе 3 страницы 44 и главы 4 страницы 53 обозначение разных формул одним номером 9; на странице 70 ссылка в описании рисунка не соответствует номеру самого рисунка; на странице 90 вместо таблицы 15 указана таблица 12, и др.
3. В описании экспериментальной части по статическому растяжению стр.49 недостаточно широко описаны характеристики конечных образцов для проведения испытаний, диаметр, размеры и количество слоев защитной ленты.
4. На страницах 52, 53, 93 и 95, на зависимостях модуля упругости и коэффициента Пуассона от степени наполнения композита полыми стеклянными микросферами графически не изображены аппроксимирующие кривые, полученные в виде функций.

Перечисленные замечания имеют, в основном, редакционный характер и не влияют на общую оценку работы.

Полученные в работе результаты являются новыми. Их достоверность основывается на корректности постановок решаемых задач и проверялась сопоставлением с экспериментальными данными, полученными на испытательном (аналитическом) оборудовании с использованием общепринятых

методик. Работа выполнена на высоком научном уровне. Полученные результаты наряду с научной новизной имеют практическую направленность.

Полученные результаты полностью отражены в 12 публикациях в российских изданиях, в том числе, - входящих в перечень ВАК (7 публикаций). Материалы диссертации прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях. Автореферат отражает основное содержание диссертации.

По своей актуальности, научной новизне, уровню выполнения, объему, научной и практической значимости полученных результатов диссертационная работа полностью отвечает требованиям п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор - А.В. Байков достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

Содержание диссертации А.В. Байкова было доложено автором и прошло обсуждение на семинаре лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкции ИПМех РАН 01.03.2023 г. Отзыв на диссертацию А.В. Байкова заслушан, обсуждён и одобрен на заседании лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкции ИПМех РАН 21.05.2024 г. (протокол №21/05/24).

Ведущий научный сотрудник Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, доктор физико-математических наук



Попов Александр Леонидович

Наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

Адрес: 119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1

Тел.: +7 495 434 0017, e-mail: ipm@ipmnet.ru

Подпись д.ф.-м.н. А.Л. Попова заверяю.

Учёный секретарь ИПМех РАН к.ф.-м.н.

М.А. Котов

