

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
БАЙКОВА Алексея Владимировича
«Упругие параметры синтактовых композитов на основе полых стеклянных
микросфер» на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

Синтактики – композиционные материалы на основе полых стеклянных микросфер и полимерной матрицы – благодаря низкой массовой плотности при высокой удельной прочности широко востребованы при проектировании перспективных изделий различного назначения, в том числе и космической техники, а в некоторых случаях, например, при производстве блоков положительной плавучести, не имеют альтернативы. **Актуальность** диссертационной работы Байкова А.В. обоснована возможностью проводить теоретическую оценку упругих характеристик синтактовых композитов на основе полых стеклянных микросфер при растяжении с помощью универсального программного комплекса 3-D моделирования.

Представленная диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и библиографического списка из 103 позиций. Работа изложена на 108 страницах, содержит 53 рисунка и 15 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель работы и задачи исследования, решение которых обеспечивает достижение заявленной цели, обоснована научная новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость результатов работы, кратко изложены методы исследования, а также перечислены положения, выносимые автором на защиту. Приведены сведения о апробации работы и публикации результатов диссертационного исследования.

Первая глава посвящена описанию объектов исследования – полых стеклянных микросфер, приведено описание технологического процесса получения микросфер и их морфологии.

Во второй главе проведён анализ результатов, относящихся к теме диссертационного исследования и опубликованных в открытых отечественных и зарубежных источниках, в том числе изложены подходы к моделированию и расчёту упругих характеристик синтактовых композитов. Автором показано, в частности, что напряженно-деформированное состояние синтактовых композитов при растяжении является малоизученным; тем самым обоснована актуальность диссертационного исследования и новизна результатов, выносимых автором на защиту.

Во третьей главе изложены три основных метода получения синтактового композитного материала, и на основе анализа их особенностей обоснован выбор технологического процесса, позволяющего в достаточно широком диапазоне варьировать наполнение синтактового композита полыми стеклянными микросферами. Описан процесс изготовления и подготовки образцов для проведения экспериментальных исследований упругих характеристик синтактовых материалов.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований по определению упругих характеристик образцов синтактового композита с различным наполнением полыми стеклянными микросферами при статическом растяжении, в том числе зависимости модуля упругости и коэффициента Пуассона от объёмной доли полых стеклянных микросфер.

В пятой главе описана новая модификация установки по определению модуля упругости материала на базе резонансных испытаний образцов, приведены зависимости модуля упругости синтактовых композитов, полученного в результате испытания на резонанс, от объёмной доли полых стеклянных микросфер, представленные в виде зависимостей «модуль – объёмная доля полых стеклянных микросфер». Показано, что формула Липатова-Кановича обеспечивает лучшую корреляцию с экспериментальными результатами для зависимости модуля упругости от наполнения композиционного материала по сравнению с традиционной, основанной на модели однородного стержня.

В шестой главе описан подход к численному моделированию упругого деформирования синтактовых композитов на основе полых стеклянных микросфер на основе универсального программного комплекса. Рассмотрена модель элементарного фрагмента синтактового композита, представляющая собой полую тонкостенную стеклянную сферическую оболочку, помещённую в полимерную матрицу, изменение размеров которой обеспечивает варьирование объёмной доли стеклянных микросфер. Представлены зависимости модуля упругости и коэффициента Пуассона от толщины стенки стеклянной микросферы.

В заключении суммируются основные результаты, полученные автором в результате проведённых исследований, и на их основе формулируются выводы, выносимые на защиту.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в применении его результатов при проектировании теплозащиты возвращаемого аппарата нового поколения «Орёл».

Достоверность результатов диссертационного исследования обоснована аккуратным сравнением расчётных и экспериментальных данных, полученных с использованием поверенного оборудования.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**:

1. Описание постановки задач экспериментального исследования, приведённое в тексте главы 3 (п. 3.3) и главы 4 диссертации, излишне лаконично. Так, автором указаны габаритные размеры полуфабрикатов (с. 46), однако не приведено описание формы и размеры сечения полученных готовых образцов; кратко изложена лишь процедура их изготовления («каждый брусок с помощью алмазного круга на отрезном станке разрезался на 4 бруска меньшего сечения для последующей проточки на токарном станке», с. 46-47), рисунок 19 не предоставляет необходимой информации. Кроме того, в процессе испытания на растяжение фиксация образца осуществлялась с помощью захватов, конструкция которых не указана; образцы

обёртывались бумажной лентой с клеевым слоем во избежание повреждения насечками захватов, но толщина ленты, количество слоёв и т. д. информация не приводится, не описывается и оценка возможной погрешности измерений за счёт податливости фиксации (деформация сдвига в клеевом слое, смещение образцов относительно захватов и т. п.).

2. При построении аппроксимации диаграмм «объёмная доля микросфер – модуль упругости» и «объёмная доля – коэффициент Пуассона» (с. 53 и 54) автором получены две функции вида $E = k(\alpha_E^1 + \alpha_E^2 k) + \alpha_E^0$ и $\nu = k(\alpha_\nu^1 + \alpha_\nu^2 k) + \alpha_\nu^0$ с коэффициентами α_i^j , однако способ вычисления приведённых в тексте работы числовых значений коэффициентов, доверительные интервалы и т. д. статистическая информация не приводится, описана только статистическая обработка результатов эксперимента и указаны доверительные интервалы и дисперсии для модуля Юнга и коэффициента Пуассона; не выполнено графическое наложение экспериментальных зависимостей и предложенных автором их аппроксимаций (рис. 25 и 26).
3. Заключение автора о работоспособности формулы Липатова-Кановича для оценки модуля упругости по результатам испытания на резонанс представляется чрезмерно сильным; более обоснованным выглядит вывод о качественном соответствии оценок модуля упругости синтактного композита при статическом и динамическом испытаниях, заключающемся в близких зависимостях модуля от объёмной доли наполнителя (сравнение кривых рис. 25 и 35, соответствующих различным типам испытания, автором не приводится). Более обоснованная оценка модуля упругости по результатам динамических испытаний стержня, выполненного из неоднородного материала, требует и более точных моделей стержня по сравнению с моделью Бернулли (20-22), например, моделей Рэлея-Лява либо Бишопы, учитывающих дисперсию продольной волны и решения

соответствующей задачи динамики стержня при возбуждении гармонических колебаний воздействием на торец образца.

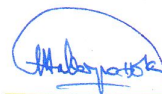
4. Словесное описание постановки задачи (гл. 6, п. 6.1) представляется недостаточно строгим, при этом излишне громоздко изложена постановка задачи расчёта упругих параметров сферопластика на основе конечно-элементной модели; адекватность приведённой автором постановки следует лишь из анализа результатов решения, что затрудняет чтение диссертационной работы.
5. Автором не приведено описание конечно-элементной модели (тип и количество конечных элементов, число степеней свободы) и не приведены зависимости решения от параметров конечно-элементной сетки.
6. В ряде случаев не вполне аккуратно используется общепринятая терминология, например, вместо канонического термина «дисперсия волны» введён термин «дисперсия скорости звука» (с. 58), введено нестандартное обозначение коэффициента Пуассона σ (с. 58), тогда как ниже для той же величины вводится альтернативное обозначение μ (с. 79 и далее), тогда как той же литерой σ в соответствии с общепринятым стандартом обозначается напряжение (с. 87).
7. Имеются опечатки, например, на с. 9, на с. 53 (в формуле (10) для коэффициента Пуассона), на с. 57 (знак при волновом числе в формуле, определяющей гармоническую волну), на с. 84 (подрисуночная подпись к рис. 45), и др.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы А.В. Байкова. Автореферат и публикации автора полностью отражают содержание диссертации, проведённые автором исследования и полученные им результаты, выносимые на защиту.

Диссертационная работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября

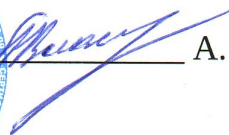
2013 г. и «Изменений, которые вносятся в Положение о присуждении учёных степеней», утверждённых Постановлением Правительства Российской Федерации № 355 от 21 апреля 2016 г. Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой рассмотрен новый подход к прогнозированию упругих параметров синтактовых композиционных материалов при растяжении, а её автор, БАЙКОВ Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения.

Ведущий научный сотрудник
отдела «Механика адаптивных и
композиционных материалов и систем»
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института прикладной механики
Российской академии наук (ИПРИМ РАН),
к. ф.-м. н.



С. И. Жаворонок

Подпись Жаворонка С. И. заверяю:
Директор ИПРИМ РАН д. т. н.



А. Н. Власов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт прикладной механики» Российская академия наук
Адрес: 125040, Москва, Ленинградский проспект, 7
Тел.: +7 (495) 946-1806
e-mail: zhavoronok@iam.ras.ru