

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Солоненко Элеоноры Павловны «Моделирование напряженного состояния в стеклометаллокомпозитных материалах при температурной обработке», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Диссертация посвящена разработке математической модели напряженно-деформированного состояния стеклометаллокомпозитов (СМК), получаемых при отжиге с учетом вязкоупругого поведения стекла.

Актуальность темы исследований обусловлена тем, что в настоящее время экспериментальное определение механических характеристик композитов, как в процессе изготовления, так и в процессе тепловой обработки, имеет существенные недостатки: 1) невозможно в рамках одного подхода определить эволюцию механических характеристик материалов; 2) наличие огромного числа экспериментов направленных на выявление закономерности изменения одного свойства материала.

Отжиг образцов проводят для получения композитов с наименьшим уровнем остаточных напряжений, к тому же в зависимости от режима отжига готовое изделие может обладать разным комплексом свойств, которые зависят от остаточных напряжений и деформаций. Сложность в определении механических характеристик стекло-металлических материалов обусловлена фазовыми переходами, происходящими в стекле при температурной обработке. Исследованию напряжений в спаях стекла с металлом с учетом фазовых переходов (стеклования) посвящено ограниченное количество работ. С другой стороны, ощущается сильный недостаток математических моделей, направленных на описание механических характеристик цилиндрических слоистых стекло-металлических материалов с учетом реологических особенностей стекла.

Поэтому задача определения механических параметров материалов в процессе изготовления является актуальной. Кроме того, задача определения напряженного состояния стекло-металлических материалов родственна задаче определения характеристик слоистых материалов типа стекло-стекло, стекло-упругое тело, аморфных сплавов и покрытие – подложка.

Содержание работы. Диссертация изложена на 152 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы.

Во введении показана актуальность исследования, выявлены цели и задачи исследования, указана новизна, степень разработанности темы, положения, выносимые на защиту, достоверность, теоретическая и практическая значимость работы, представлено краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе изложены методы изготовления слоистых стекло-металлических материалов, объяснена специфика стеклообразного состояния при температурной обработке и выявлен температурный интервал для исследования механических характеристик. С учетом структурных особенностей стекла сформулированы законы термомеханики и выполнена постановка краевой задачи термоупругости для сопряженных цилиндрических систем.

Во второй главе приведен численно-аналитический метод расчета термоупругих напряжений при отжиге в длинных слоистых цилиндрических телах с учетом переходного слоя, моделируемого различной толщиной и различными коэффициентами линейного температурного расширения (КЛТР) стекла и металла. Выявлены оптимальные характеристики переходного слоя, исследовано влияние скорости охлаждения, температуры и времени выдержки на остаточные напряжения в спае. Моделирование вязкого поведения стекла происходит с помощью функции Кольрауша. Сложность определения механических характеристик стекла объясняется зависимостью основных параметров (удельная теплоемкость, КЛТР, вязкость) от предшествующей термической истории.

В третьей главе разработан метод расчета вязкоупругих напряжений в цилиндрическом спае с учетом степени сцепления материалов. Сцепление слоев в работе учитывается с помощью гипотезы обобщенного плоского деформированного состояния в материалах. Для длинных цилиндров, вдали от торцов, принимается, что осевая деформация не зависит от радиальной координаты, а разность осевых деформаций в цилиндрах есть величина постоянная, определяемая степенью сцепления. Установлено влияние степени сцепления цилиндров на остаточные напряжения в материале.

В четвертой главе получено распределение напряжений в случае резкого охлаждения для двух- и трехслойных СМК (стекло-металл, металл-стекло-металл). Как известно, температура в цилиндре при резком охлаждении со скоростями, большими $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, не повторяет внешнюю температуру, что и учитывается в модели. Принято, что распределение температуры в цилиндре не влияет на внешнюю температуру и наружные поверхности (и внутренние для труб) практически сразу повторяют температуру окружающей среды. В результате чего, релаксационные процессы происходят только в близких к центру областях. Показано, что напряжения в композите отличаются от упругих напряжений на величину отрелаксированных напряжений в самом начале охлаждения. Для СМК стержней выявлено наличие некоторой специфической сжатой зоны в стеклянном сердечнике (в центре стержня), о чем свидетельствуют и результаты испытаний. Здесь же проводится теоретическое исследование термостойкости стекло-металлических стержней и труб, определена термостойкость СМК материалов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложена математическая модель расчета релаксации напряжений в цилиндрических слоистых композитах на основе стекла и металла на всем интервале отжига.
2. Учтено влияние диффузионной зоны (её толщины и коэффициента линейного температурного расширения) и качества сцепления в слоях (через наличие осевой деформации) на технологические и остаточные напряжения.
3. Доказано влияние свойств диффузионной зоны на напряжения в цилиндрическом спае стекла с металлом.
4. Получены оптимальные характеристики диффузионной зоны.
5. Изучено влияние параметров режима отжига (скорости изменения температуры и времени изотермической выдержки) на остаточные напряжения в компонентах спая.

Положения, выносимые на защиту, дают ясное представление о проведенном исследовании.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

– построенная математическая модель расчета напряжений в СМК спаях с учетом меняющихся свойств стекла может быть использована для решения задачи определения напряжений в цилиндрических спаях на основе стекла (аморфного тела);

– установленные оптимальные параметры режима отжига и механические характеристики диффузионной зоны могут быть использованы при изготовлении СМК материалов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается использованием корректным применением математического аппарата и законов механики деформируемого твердого тела, законов сохранения и принципов равновесной термодинамики, адекватностью модельных математических представлений реальному поведению конструкции при её деформировании, тщательным тестированием расчетных программ, непротиворечивостью полученных решений с решениями известных краевых задач термомеханики.

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата.

Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершенными. По теме диссертации автором опубликовано 12 работ, в которых основные научные результаты диссертации отражены достаточно полно. Из них 2 статьи – в рецензируемых журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 статья в зарубежном научном журнале,

индексируемом в Scopus. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**:

1. Имеется небольшое количество опечаток, синтаксических и орфографических ошибок тексте, в подрисуночных подписях, в формулах, не все используемые обозначения пояснены. Автору следовало бы более внимательно проверить диссертацию перед представлением в совет.

2. На рис. 1.13, стр. 29, по оси ординат отложен логарифм вязкости. Нельзя брать логарифм от размерной величины, поскольку получаемое значение не имеет физического смысла, необходимо брать логарифм отношения двух величин.

3. Не понятно использование автором терминов плоская деформация и обобщенное плоское деформированное состояние, в разных главах по-разному, где используется условие $\varepsilon_z = 0$, а где то $-\varepsilon_z = C$.

4. Параметры сеток (число узлов), используемых в численных решениях, не указаны, не проведена оценка точности полученных в расчетах результатов.

5. Отсутствуют выводы по главам. Это затрудняет оценку результатов, полученных в конкретном разделе диссертации.

6. Выводы в диссертации и автореферате отличаются.

Отмеченные недостатки не снижают научную и практическую значимость проведённого исследования.

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий научный уровень, строгую обоснованность решений при изложении их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования и взаимосвязью выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертация соответствует специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела (по отраслям: физико-математические науки) и является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований построена модель расчета термических напряжений в СМК материалах с учетом нелинейного отклика стекла на температурное воздействие, установлено влияние технологических параметров при изготовлении на конечные свойства СМК, проанализирован режим охлаждения с резким перепадом температур.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени

кандидата наук, а ее автор, Солоненко Элеонора Павловна, достойна присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Ведущий научный сотрудник лаборатории механики разрушения материалов и конструкций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, д.ф.-м.н. по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

20.04.2014

Кургузов Владимир Дмитриевич

630090 Новосибирск, пр-т Лаврентьева, 15

ИГиЛ СО РАН

тел.: +7(383)333-17-46, 333-21-79

e-mail: kurguzov@hydro.nsc.ru

Подпись Кургузов В.Д.  заверяю

Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН

к.ф.-м.н.

Любашевская И.В.