

Отзыв официального оппонента

кандидата физико-математических наук Севастьянова Георгия Мамиевича на диссертационную работу Солоненко Элеоноры Павловны «Моделирование напряденного состояния стекломаталлокомпозитных материалов при температурной обработке», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертационного исследования

Благодаря специфическим свойствам стекла (коррозионной стойкости, абразивоустойчивости, прозрачности и т.д.) большое количество прикладных исследований направлено на получение композита с включениями его слоев.

Исследование спаев различных материалов со стеклом (керамикой и аморфными материалами) проводится в различных отраслях науки, в химической промышленности с целью получения остеклованных труб, например, для транспортировки агрессивных жидкостей, в строительстве и технике. Вместе с тем, пока еще нет единого подхода при описании эволюции свойств стекла, подверженного температурному воздействию.

Работа Солоненко Э.П., посвященная исследованию свойств цилиндрических спаев с учетом физико-механических свойств стекла в процессе температурной обработке (закалки, отжига), учитывает наличие релаксационных процессов при высокой температуре. Разработанный в диссертации метод расчета эволюции напряжений в двух и трехслойных стекломаталлокомпозитных цилиндрах с учетом выше перечисленных особенностей, пересекается со многими практическими задачами по определению свойств в композиции «стекло-стекло», «стекло – упругое тело», а также сварке разнородных материалов, что и **определяет актуальность исследования.**

Новизна и теоретическая значимость исследования

Диссертационное исследование направлено на выявление свойств стекломаталлокомпозита, который находится на стадии получения экспериментальных образцов.

Работа включает в себя ряд методик по определению механических свойств композитов цилиндрической формы на основе композиции вязко-упругого тела и упругой оболочки с учетом релаксационного изменения свойств стеклообразного материала, зависимости его свойств от термической истории и нелинейности изменения этих свойств. Предпринята попытка учета переходной зоны в стекломатериале (её толщины и механических свойств) и наличия неполного сцепления слоев композита.

В работе получены следующие **новые научные результаты:**

- получены расчетные данные о влиянии зоны соединения и степени сцепления слоев на релаксационные процессы и уровень остаточных напряжений в компонентах композита;

- получены расчетные данные о влиянии скорости охлаждения и времени изотермической выдержки на напряженно-деформированное состояние композита;

- на основании расчетов определены параметры интервала отжига, максимально снижающие уровень напряжений.

Теоретически значим численно-аналитический метод расчета технологических напряжений в вязко-упругих композитных материалах при отжиге, разработанный в диссертации.

Практическая значимость работы

Предложенные в работе математические работы могут быть использованы при определении физико-механических характеристик сварных соединений типа стекло – пластик, металл – стекло, металл – пластик и др. в машиностроении и строительстве.

Результаты работы были получены при поддержке ФЦП «Разработка технологии изготовления нового композитного материала стекломаталлокомпозита, как

перспективного материала на основе стекла для решения актуальных задач индустрии наноматериалов» № 14.575.21.0009 ПНИ RFMEFI57514X0009 и гранта Минобрнауки №5.2535.2014К.

Общее содержание диссертации по главам.

Диссертационная работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы, состоящий из 158 источников. Диссертация состоит из 152 страниц, 4 таблиц и 65 рисунков.

Во введении обоснована актуальность исследования. Проведенный литературный обзор показал области применения стекла и его сплавов на практике. Далее выявлены проблемные зоны в области определения свойств стекла, представлены теории соединения стекла и металла и модели определения механических свойств спаиваемых материалов. Показаны проблемы, возникающие при отжиге сплавов цилиндрической формы, по результатам которых определены задачи исследования.

В первой главе представлены способы изготовления сплавов различной геометрии. Дана физико-математическая постановка краевой задачи процесса отжига стекломаталлокомпозитных (СМК) стержней и труб.

Далее по тексту показаны характерные кривые изменения свойств стекла при переходе из состояния вязкой жидкости в процессе охлаждения с учетом стеклования. Принята модель Тула-Нарайанасвами-Мойнихана для описания свойств при стекловании, использование которой обосновано и представлен литературный обзор методов решения температурной задачи и определения механического поведения таких материалов.

Во второй главе показано нахождение полей температур. По результатам исследования температуры в СМК цилиндре и СМК оболочки автор выявил геометрические размеры СМК цилиндров и труб, температуру в которых можно считать равномерно распределенной в соответствии с заданным режимом охлаждения, результатом чего является получение аналитических зависимостей для компонент тензора напряжений в упругой области для двухслойного стекломаталлокомпозитного стержня с учетом переходного слоя. Представлено аналитическое решение задачи в системе вязкоупругий материал – упругий с релаксационным ядром типа Максвелла и постоянной вязкостью. Далее приведена модель определения напряженно-деформированного состояния плоских сплавов, предложенная О.В. Мазуриным, в основе которой лежит модель Тула-Нарайанасвами.

Следующим пунктом в работе является метод численного расчета напряжений в цилиндрической системе координат для композиции «стекло – переходный слой – металл». Представлено сравнение результатов аналитического расчета с дискретным методом.

Третья глава включает в себя разработку модели расчета СМК с учетом качества сцепления, позволяющего учесть разную осевую деформацию в стекле и металле, для длинного цилиндра со свободными концами. Показано влияние степени сцепления слоев стекла и металла в составе цилиндрических СМК материалов на уровень остаточных напряжений. Расчет конечных свойств СМК материалов выполнен при охлаждении ниже температуры размягчения слоев (т.е. в пределах упругой области) и решена нелинейная задача с учетом релаксационного изменения свойств стекла при отжиге.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию свойств СМК стержня при резком изменении внешней температуры (например, закалки). Показано, что в случае резкого охлаждения температурное распределение неоднородно и релаксационные процессы не проходят во всей области стекла. Далее алгоритмы расчета свойств СМК стержня при резком охлаждении используются для определения НДС двухслойной трубы и трехслойной трубы «металл – стекло – металл»

Замечания по диссертации.

1. Значение температуры окружающей среды в граничных соотношениях Ньютона-Рихмана не приведено в тексте работы, без этого оценить решение тепловой задачи затруднительно. Коэффициент теплоотдачи в указанном соотношении выбран произвольно. Переход от уравнения (2.1) к системе (2.7) безоснователен. Вывод о низкой неоднородности температуры можно было сделать на основании анализа тепловых потоков при заданной геометрии и теплофизических параметрах системы, для этого не обязательно было строить достаточно сложную модель теплопереноса с учетом фазовых переходов, результаты расчетов по которой никак не используются в дельнейшей оценке напряженного состояния.

2. Использование параметра «степень сцепления» (формула 1.27 и далее по тексту) крайне неудачно. Контактные взаимодействия принято задавать на основе тех или иных законов трения (трение Кулона-Амонтона, трение Прандтля или более комплексные соотношения). Во всех них присутствуют параметры материалов и/или пар материалов (пределное сопротивление сдвигу, коэффициент сухого трения и т.д.). Здесь же параметр явно подчиняется напряженному состоянию и не может в принципе быть некоей материальной константой.

3. В работе отсутствуют какие-либо данные по химическому составу переходной зоны «стекло-металл», позволяющие хоть как-то оценить его физические свойства. Зависимости, используемые в диссертации для задания механических характеристик этого слоя, не основаны ни на экспериментальных данных, ни на известных теориях осреднения. Поэтому говорить о том, что при определении напряженно-деформированного состояния композита в работе учитывается влияние структуры зоны соединения между слоями, не совсем верно. Кроме того, из текста диссертации неясно, как автор собирается влиять на размеры этой зоны (с целью повышения эксплуатационных характеристик конечного изделия), так как связь ее характерных размеров с технологическими параметрами рассматриваемого процесса в работе не устанавливается. Наиболее существенно наличие этой зоны, судя по результатам расчетов автора, сказывается на напряжениях в этом переходном слое. Возможно, что именно в нем начнется разрушение композита. Однако проблема в том, что прочностные характеристики этого тонкого слоя, по всей видимости, еще никому не известны.

4. Прочность материалов, в том числе и стекла, определяется не только остаточными напряжениями, но и микродефектами сплошности. Для их оценки существуют специальные модели пластических течений (в частности, достаточно широко используемая модель Гурсона-Твергарда-Нидлемана и проч.). Представляется, что для оценки конечных характеристик стеклянных слоев большее значение имел бы учет поврежденности, нежели релаксации напряжений. Тем более что числовые значения, полученные по релаксационной модели автором, зачастую не слишком отличаются от значений, прогнозируемых линейной теорией упругости. Кроме того, для ряда расчетных вариантов интенсивности напряжений в металлических слоях превышают предел текучести (как по окончании процесса охлаждения, так и, возможно, в ходе его из-за повышенных температур). В этом случае итоговое распределение напряжений, естественно, может кардинально отличаться от прогнозных значений работы.

Замечания не снижают существенно качество работы и ее практическую ценность.

Заключение

В диссертации Солоненко Э.П. «Моделирование напряженного состояния стеклометаллокомпозитных материалов при температурной обработки» предложена математическая модель процесса отжига стеклометаллокомпозитов, которая учитывает нелинейные свойства стекла, качество сцепления стекла и металла и наличие зоны

соединения, образующейся в ходе протекания химической реакции и процесса диффузии. Выявлены технологические параметры отжига, которые определяют режим изготовления.

По результатам исследования опубликовано 12 научных работ, из них 2 статьи в изданиях, определенных перечнем ВАК, и 1 свидетельство о государственной регистрации программы.

Диссертационная работа Солоненко Э.П. «Моделирование напряженного состояния в стеклометаллокомпозитных материалах при температурной обработки» является законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела». Её автор, Солоненко Элеонора Павловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем металлотехнологий, исполняющий обязанности Учёного секретаря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМиМ ДВО РАН) Севастьянов Георгий Мамиевич _____

681005 г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Металлургов, д.1

e-mail: mail@imim.ru, тел.: 89142104528

Подпись Севастьянова Г.М. заверяю, директор ИМиМ ДВО РАН

чл.-корр. РАН Буренин А.А. _____

МП

Дата составления отзыва 26.04.2017