

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)



В.О., Большой проспект, д.61, Санкт-Петербург, 199178
Тел.: (812)-321-4778; факс: (812)-321-4771; <http://ipme.ru>

ОГРН 1037800003560, ИНН/КПП 7801037069/780101001

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор, д.т.н.

В.А.Полянский

«09» марта 2021 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертацию Любимовой Ольги Николаевны

“Стеклометаллокомпозит: механические свойства, структурные механизмы деформации при повышенных температурах, моделирование процессов формирования структуры и свойств”, - представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации

Современная промышленность имеет огромную потребность в создании новых композиционных материалов, обладающих уникальными комплексами свойств и многообразием функциональных назначений. Кроме обычных прочностных свойств, также материалы должны обладать низким удельным весом и слабой (малой скоростью реагирования) чувствительностью к окружающей, рабочей средой. Иначе говоря, константа взаимодействия поведения поверхности материала становится чуть ли не главенствующим требованием к современному многофункциональному материалу.

Работа О.Н. Любимовой направлена не просто на изучение принципиально новых возможностей упрочнения стекла в составе стеклометаллокомпозита и его физико-механических свойств, но и, а это пожалуй самое главное в работе автора, на разработку новой технологии получения нового слоистого композита комбинированным методом литья под давлением и пайки.

Таким образом диссертационная работа О.Н. Любимовой представляет собой исключительно актуальное междисциплинарное исследование потребовавшее решение актуальных проблем химии, физики и механики.

Основные результаты, их научная новизна и значимость

Диссертационная работа О.Н. Любимовой построена таким образом, что читатель «входит» в проблему исследования через практическое, экспериментальное описание создания нового материала, доказывая его преимущества и не скрывая недостатки. Так, к примеру, экспериментально исследовав технологию соединений стекла и стали методом пайки в окислительной среде, автор выделяет и обосновывает три основных метода для обработки поверхности стекла и стали для получения прямого адгезионного соединения (**глава первая**).

Результаты, полученные О.Н. Любимовой по своей сути открывают новый класс задач об изменении структуры в многокомпонентных стеклах и как выясняется, эти задачи малоизучены в области современной физической химии. Выделяя два главных направления при формировании зоны соединения автору удается свести решение проблемы к задаче оптимизации диффузионной зоны на поверхности стекла и стали. Тем самым экспериментальные результаты становятся основой математической модели, решение и анализ которой приводятся далее.

Главы 2 и 3 в некоторой степени призваны убедить читателя, что решение вышеуказанных задач о контактной поверхности стекол с металлом в практическом применении, т.е. использование элементов конструкций из таких композиционных материалов (к примеру бетонных конструкций, армированных СМК стержнями) приводит к эффективным прочностным показателям. Автор приводит подробный анализ и определение микро-параметров таких элементов конструкций, выполняя при этом современные методы вычислений. Вообще следует отметить высококлассное владение О.Н. Любимовой современными методами вычислительной механики, а также экспериментальной измерительной техникой.

Результаты, полученные автором в первых трех главах, позволили сформулировать необходимый класс задач (математические модели), необходимых для успешного сопровождения технологических циклов, прекрасно изученных автором ранее, и позволяющих обеспечить необходимые уровни контактного взаимодействия стекла и металла.

Надо отметить, что эти главы в большей степени имеют материаловедческий уклон и результаты, полученные в них, уже во многом претендуют на хорошую докторскую диссертацию. Одно только исследование электрохимического механизма коррозионного процесса в п.3.4 с анализом возникновения дефектов «много стоит».

Начиная с **4-ой главы** и далее О.Н. Любимова уделяет внимание построению корректных математических моделей, «дотошному» рассмотрению влияния многочисленных параметров, входящих в эти модели, и влияющих на технологические процессы, изученные выше. Подчеркнем еще раз, это не просто абстрактные математические модели, изучение которых представляет собой не самоцель, а конкретное приложение, направленное на получение материала с заданными свойствами.

Четвертая глава начинается автором с постановки полу-связанной задачи термомеханики, т.е. формируется уравнение теплопроводности с неизвестной энергетической функцией «источникового» типа на движущейся

границе фазового перехода, но без учета обратного влияния термонапряженного состояния.

Полученная ранее в экспериментах переходная зона между жидкой и твердой фазами существенно зависит от температуры и структуры материала. О.Н. Любимова, используя разрывные функции, функции включения, формулирует обобщенное уравнение теплопроводности с движущимся фронтом фазового перехода 1 рода.

Предложенный модифицированный конечно-разностный метод показал хорошую сходимость и может быть использован для широкого класса задач в области произвольной геометрии с произвольным числом движущихся фронтов.

Апробируя поставленную задачу и метод ее решения, О.Н. Любимова решает важную практическую задачу о промерзании грунта с находящимся в нем цилиндрической трубы с жидкостью. Сравнение с полуаналитическим решением Лейбензона показало хорошее совпадение, что указывает на достоверность предложенной модели.

Решение температурной задачи позволило автору перейти к определению напряженно-деформированного состояния.

Возвращаясь к конкретным технологическим задачам О.Н. Любимова решает задачи:

1. Проплавление металлического слоя при сварке плавлением стекла,
2. Об остекловании металлической оболочки методом центрифугирования.

Полностью промоделирована технология изготовления слоистого композиционного материала цилиндрической формы (внутренний стеклянный слой и внешний металлический). Соединение происходит методом плавления промежуточного легкоплавкого металла.

Переход к определению напряженного состояния осуществляется как эволюционная граничная задача для растущего слоя. Известные подходы решения таких задач дополняются автором спецификой задания конкретных технологических параметров.

На наш взгляд О.Н. Любимова впервые определила напряженно-деформированное состояние при остывании с учетом кристаллизации и развития в металле пластического течения.

Автор обращает внимание на значительные растягивания напряжения в стекле, что способствует образованию дефектов.

Структурные изменения при получении стеклометаллокомпозита сопровождаются процессом стеклования, переходом стекла из жидкого – в стеклообразное. Опираясь на ряд известных работ, О.Н. Любимова формулирует температурную и диффузионные задачи, решение которых позволит определить параметры конкретного технологического процесса.

Выбрав за основу релаксационную теорию и вводя «фиктивную» температуру для процесса стеклования О.Н. Любимова, учитывая зависимость от температурных удельной изобарической теплоемкости и коэффициента термического расширения, решает задачу для двухслойного композита с учетом изменения всех параметров во время технологического цикла. На всем временном режиме температурного отжига нелинейная модель решается численными методами с особо разработанным алгоритмом.

Автор, безусловно, демонстрирует прекрасное владение инженерными и аналитическими навыками для анализа процесса стеклования.

Явление стеклования (5 глава) сопровождается внедрением ионов железа в стекло, что приводит к значительным изменениям свойств стекол. Это явление, обнаруженное на электронном микроскопе, позволило автору с одной стороны предложить физическую модель этого явления, а с другой представить математическую модель диффузии в 2-х фазном состоянии стекла с движущейся границей. При этом диффузионные коэффициенты зависят от концентрации и температуры.

Таким образом математическая модель теплообмена дополнилась уравнениями переноса. Обе задачи содержат разные движущиеся границы. В общем случае задачи нелинейные.

Определенные особенности поведения функции концентрации делают поставленные задачи новыми в своем классе. Решение их позволило предсказывать образование новых фаз в стекле при процессе остывания.

6-ая глава замыкает математическое моделирование технологических циклов изготовления абсолютно нового материала определением напряженно-деформируемого состояния в соединении стекла и металла с учетом целого комплекса процессов, описанных выше (диффузии, стекловании, структурных изменений и т.д.). Автор, используя известный метод О.В. Мазурина для расчета термических напряжений в стекле, переносит его на решение своих задач, на многослойной образец.

Для слоистых композитов при гипотезе вязкого демпфирования О.Н. Любимова получает ряд аналитических решений, с привязыванием для разных технологических процессов. В результате получены необходимые параметры релаксационных процессов.

Апробация работы

Все основные положения работы в полной мере опубликованы в высокорейтинговых журналах, в том числе 7 публикаций из Web of Science или Scopus. Оригинальные результаты защищены 4 патентами на изобретение РФ. Изданы 2 монографии.

Все результаты доложены на многочисленных международных конференциях. Автор выполнял работу при поддержке 6 грантов.

Замечания по содержанию работы

Диссертация имеет внутреннюю целостность, ясную логику. Написана точным научным языком.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Исключительная точность изложения экспериментальных фактов сопровождается немедленным объяснением и математическим моделированием соответствующих явлений.

Диссертация представляет собой одну из немногих работ, когда создание нового материала с исключительной детальностью изучается и моделируется по ходу прохождения каждого технологического цикла. По сути, читая работу, становишься сам создателем нового функционального композита. Очень важно, что каждое уточнение математической модели подтверждается необходимым экспериментальным фактом.

Тем не менее, представляется, что проблема контактного взаимодействия с учетом диффузии, смены фаз, изменения самих коэффициентов и т.д. могла быть сведена в одном месте, а решение ее производилось бы с постепенным уточнением, добавлением необходимых параметров, учетом иных явлений. Иначе говоря, материал излишне разбросан и чтение его весьма затруднительно.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа О.Н. Любимовой вносит огромный вклад в решение целого ряда междисциплинарных проблем (физика, химия, механика) в части обоснования и выбора оптимальных параметров технологических циклов при создании стеклометаллокомпозита. Предложенные математические модели позволяют описывать более сложные процессы чем ранее известные, происходящие на границе стекла-металла при температурных воздействиях.

Диссертация О.Н. Любимовой является завершенным научным исследованием, выполненном на высоком научно-методическом уровне, полностью соответствует специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела», - и имеет огромное практическое и научное значение.

Работа отвечает все требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор, Любимова Ольга Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв на диссертационную работу рассмотрен и одобрен на городском научном семинаре по механике Института проблем машиноведения Российской академии наук 04 марта 2021 года (Протокол № 01/21 от 04.03.2021).

**Научный руководитель ИПМаш РАН,
чл.-корр. РАН, доктор физ.-мат. наук,
профессор**

Индайцев Дмитрий Анатольевич

e-mail: id@ipme.ru



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИПМаш РАН)
199178, г. Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., д. 61
<http://ipme.ru>
т. (812) 321-47-72**