

вх. № 30 38	в ДЕЛО
08 10 18	№
« » 20 г.	
7	
Осп. л.	
Поп. л.	Подп.

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию и автореферат Трясунова Владимира

Сергеевича на тему: «Полимерные композиционные материалы на основе винилэфирных смол и вакуумная технология изготовления на их основе

современных судовых корпусных конструкций»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.16.09 «Материаловедение» (машиностроение)

Актуальность темы диссертации. Работа посвящена разработке полимерных композиционных материалов (далее – ПКМ) и гибридных ПКМ (далее – ГПКМ) на основе винилэфирных смол и армирующих материалов различной химической природы, а также разработке современной эффективной технологии изготовления крупногабаритных корпусных конструкций для отечественного судостроения. Безусловно, для разработки технологии вакуумной инфузии необходимо иметь сведения по технологическим характеристикам исходных материалов таким, как динамическая вязкость смолы и коэффициент проницаемости армирующих материалов. Учитывая тот факт, что армирующие материалы различной химической природы имеют значения коэффициентов проницаемости, отличающиеся на порядок и более, а динамическая вязкость смол зависит от температуры, то с учетом ограниченного времени гелеобразования связующих данная проблема является достаточно значимой. Также, необходимо разработать материал, который позволит изготовить на его основе работоспособную конструкцию, имеющую определённый эксплуатационный ресурс, особенно, если идет речь о технике ВМФ. Диссертант не только определил физико-механические характеристики ПКМ и ГПКМ, технологические свойства исходных материалов, но и разработал данные для термообработки конструкций из ПКМ и ГПКМ с учетом технологических возможностей отечественных судостроительных заводов. Разработаны две потенциальные схемы пропитки крупногабаритных конструкций, выполнено моделирование пропитки реальных

крупногабаритных судовых корпусных конструкций. Таким образом, работа вносит существенный вклад в материаловедение композитных материалов, обеспечивая переход на принципиально новый метод изготовления корпусных материалов в судостроении. С этой точки зрения диссертационная работа, безусловно, является **актуальной**.

Достоверность и обоснованность научных положений, практических рекомендаций и выводов диссертации основана на применении взаимодополняющих современных методов исследований. Определение температуры стеклования связующих материалов, выдержаных различное время или термообработанных по различным температурным режимам, осуществлялось с использованием метода дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Определение комплекса прочностных характеристик ПКМ выполнено на современной универсальной электромеханической испытательной машине. Для определения модулей упругости (динамических), сдвига и межслойного сдвига применен резонансный метод. Полученные экспериментальные данные не противоречат данным современного материаловедения, что свидетельствует о достоверности и надежности результатов, положений и выводов диссертации.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 155 наименований, актов внедрения, решений МВК и заключений НИИ КиВ, оформленных в виде 5 приложений, изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок и 43 таблицы.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, приводятся выносимые на защиту положения, данные по достоверности полученных результатов, личном участии автора в выполнении работы, аprobации работы, публикациях, выполненных по теме работы, описывается структура диссертации.

В главе 1 автором рассмотрены данные по смолам, армирующим материалам различной химической природы, рассмотрены основные технологические процессы изготовления ПКМ в судостроении, проанализированы преимущества и недостатки методов применительно к изготовления различных конструкций. Сформулирована цель и конкретные задачи диссертационной работы.

В главе 2 приведены данные по конкретным маркам смол и армирующих материалов отечественного и иностранного производства, использованных в работе, и представлено описание примененных методов исследований для определения физико-механических характеристик ПКМ И ГПКМ, динамической вязкости смол, содержания связующего, водопоглощения, определение температуры стеклования образцов связующего. Описана экспресс-методика определения температуры стеклования для выбора режимов термообработки ПКМ и крупногабаритных конструкций на их основе с применение метода ДСК.

Глава 3 посвящена изучению режимов термообработки ПКМ. Исследовались образцы связующих на основе винилэфирных смол марок Dion FR 9300, Derakane Momentum 510C-350 и ВЭ-ФАС. При изготовлении использовались как стандартные отверждающие системы, так и отверждающие системы с измененным количеством вводимых компонентов. Изготовление всех образцов осуществлялось методом вакуумной инфузии при одинаковом уровне вакуума – 10 кПа. Эффективность соответствующего режима термообработки (или выдержки) определялась на основании разницы в значениях между температурами стеклования при первом и втором нагревах, а также между площадями экзотермических пиков отверждения. Представлены термограммы образцов связующих на основе различных марок винилэфирных смол, термообработанных при температурах 60, 70, 80, 100°C, а также с временем выдержки 7, 14 и 30 суток (без термообработки). Автором установлено, что дополнительная выдержка под вакуумом связующего после отверждения не способствует увеличению степени

химической сшивки связующего и не обеспечивает дополнительных преимуществ при изготовлении ПКМ, а увеличение количества вводимых компонентов отверждающей системы на 10% не дает дополнительных преимуществ в процессе её отверждения. Учитывая технологические возможности судостроительных заводов, имеющих в своем составе «композитное» производство выданы рекомендации о необходимости термообработки ПКМ на основе винилэфирных смол при температуре не менее 80°C.

В главе 4 приведены обширные данные по физико-механическим свойствам стеклопластиков, углепластиков, органопластиков, а также ГПКМ на их основе. Установлено, что применение метода вакуумной инфузии для изготовления ПКМ позволяет значительно повысить значение модуля упругости ПКМ и его прочность при сдвиге, растяжении и сжатии. Показано, что варьирование значения уровня вакуума, при котором происходит процесс пропитки армирующих материалов, позволяет регулировать значение физико-механических свойств ПКМ на основе одних и тех же исходных компонентов. Показано, что основным недостатком углепластиков на сегодняшний день, помимо высокой цены углеродных тканей, является более низкое предельное их удлинение при растяжении, что ограничивает спектр конструкций, где возможно применение композита на основе одних углеродных волокон. Органопластик, в свою очередь, обладает упругими и прочностными характеристиками, сравнимыми с характеристиками стеклопластика, а основным преимуществом органопластиков является низкая плотность и поэтому применение органопластиков целесообразно в составе ГПКМ для снижения плотности материала. Применение гибридных структур при изготовлении композитных конструкций позволяет обеспечить их высокие прочностные характеристики при низком значении плотности. Кроме того, совместное использование углеткани (органоткани) и стеклоткани влияет и на технологический процесс изготовления – оно позволяет повысить проницаемость всего пакета армирующего материала

при пропитке его связующим методом вакуумной инфузии за счет более высокого коэффициента проницаемости стеклоткани, что повышает технологичность изготовления.

Глава 5 посвящена определению технологических свойств связующих и армирующих материалов, расчетам на их основе времени пропитки ПКМ и моделированию пропитки натурных конструкций. В качестве основы применен закон фильтрации Дарси, преобразование которого позволяет получить значение времени, необходимого для пропитки армирующего материала заданной длины. Показано, что изменение температуры всего на 4 градуса приводит к изменению динамической вязкости смолы на 0,2 Па·с, что с учетом прямо пропорциональной зависимости времени пропитки от динамической вязкости может привести к непропитке и браку крупногабаритной конструкции. Определены скорости пропитки широкого спектра отечественных и импортных армирующих материалов, вычислены коэффициенты проницаемости. Приведены две возможные схемы пропитки при изготовлении крупногабаритных конструкций методом вакуумной инфузии – классическая и секторная, применение которой позволяет практически в 2,5 раза уменьшить время пропитки. С использование экспериментальных данных выполнены расчеты времени пропитки секции палубы и фрагмента корпуса тральщика методом вакуумной инфузии.

Значимость для практики. Фактически разработаны материалы и технологии изготовления на их основе крупногабаритных судовых конструкций. Выпущены комплекты научно-технической документации, включающие в себя технические условия, руководящие документы.

Структура диссертации соответствует требованиям ВАК.

В качестве **замечаний и вопросов** к диссертационной работе Трясунова В.С. хотелось бы отметить следующее:

1) Общее замечание по работе касается слишком большого количества марок стекло-, угле- и органоволокон, а также винилэфирных и эпоксидных смол (связующих), что, с одной стороны, подчеркивает «масштабность»

выполненных диссертантом исследований, а с другой крайне затрудняет возможность проследить закономерность выбора того или иного связующего по данным калориметрии и вискозиметрии для получения ПКМ и ГПКМ с максимально высокими эксплуатационными характеристиками.

2) Для исследования «полноты отверждения» полимерного связующего диссертантом был использован метод ДСК, но в достаточно трудоёмком варианте, то есть при оценке температуры стеклования связующего при данном варианте (температура, время) отверждения и после «полного отверждения». В настоящее время практикуется при оценке полноты отверждения термопрессивного связующего более прогрессивный метод, так называемый Диэлектрический Анализ (ДЭА), который позволяет *in situ* исследовать технологический процесс отверждения полимерных связующих в композиционных материалах. Рекомендую диссидентанту использовать этот метод ДЭА в будущем взамен или в сочетании с ДСК.

Вышесказанные замечания не изменяют общей положительной оценки результатов диссертационной работы Трясунова В.С. Диссертация Трясунова В.С. представляет собой законченное исследование, которое характеризуется обоснованностью полученных научно-технических результатов. Особо следует отметить практическую ценность, которая заключается в том, что разработанные материалы и технология изготовления конструкций на их основе получила реальное применение при строительстве судов.

Заключение о соответствии диссертации требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней. Диссертационная работа Трясунова В.С. является завершённой, в рамках поставленных задач, научно-квалификационной работой. Автореферат и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертации. По материалам диссертации опубликовано всего 7 статей и две из них в журналах, соответствующих требованиям ВАК РФ. Получено 2 патента на изобретение. Результаты работы неоднократно обсуждались на тематических конференциях различного уровня.

Диссертационная работа Трясунова Владимира Сергеевича «Полимерные композиционные материалы на основе винилэфирных смол и вакуумная технология изготовления на их основе современных судовых корпусных конструкций» по объёму выполненных исследований, актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в пункте 9-14 «Положение о порядке присуждения учёных степеней» утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 года № 335, а её автор Трясунов Владимир Сергеевич безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение» (машиностроение).

Официальный оппонент,

Главный научный сотрудник, лаборатория «Механика полимеров и композиционных материалов»

Федерального государственного

учреждения науки Института высокомолекулярных соединений Российской академии наук (ИВС РАН),

доктор физико-математических

наук по специальности 01.04.19 – физика полимеров,

Адрес: 199004, Санкт-Петербург

В.О. Большой проспект, 31

Интернет: www.macro.ru

Телефон: (812) 323-5065

E-mail: yudin@hq.macro.ru



Владимир Евгеньевич Юдин

1 октября 2018 г.

