

Известия СПбГЭУ. 2023. №2 (140). С.34-40.

3. Реакторы на быстрых нейтронах // АО «ГНЦ РФ – ФЭИ». URL: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors> (дата обращения: 23.12.2024).

4. Капингана Анаиду Адриану Жоау. Фотоэлектрическая энергия: эффективность преобразования, модуль и фотоэлектрические системы // Молодой ученый. 2021. № 11 (353). С. 22-25.

5. Гелиоэлектрическая станция // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия». URL: <https://bigenc.ru/c/gelioelektricheskaiia-stantsiia-d5a25a> (дата обращения: 23.12.2024).

6. Стребков Д. С., Ахмед Торки Ахмед Джайлани Состояние и перспективы развития солнечных электростанций с концентраторами // АЭЭ. 2009. №11. С.80-85.

7. Уссаев М., Текеева С. Развитие солнечных электростанций и их перспективы использования // Научный журнал « IN SITU ». 2022. №10. С.117-119.

УДК 678.028.31

О.С. Дмитриев, проф., д-р техн. наук, зав. кафедрой;
А.А. Барсуков, асп. (ТГТУ, г. Тамбов, Россия)

ВЛИЯНИЕ ТИПА АРМИРУЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Полимерные композиты (ПК) на основе термореактивных связующих армированные стеклянными, углеродными и органическими наполнителями (волокнами, тканями или матами) в настоящее время широко используются в современной технике. Их применяют в электро- и радиотехнике, ветроэнергетике и электронике, авиации и космонавтике, судо- и машиностроении и во многих других отраслях [1].

Технологический процесс производства деталей и изделий из ПК включает стадию тепловой обработки, в течение которой термореактивное связующее активизируется и происходит химический процесс сшивки полимера или отверждение. В результате этого процесса свойства исходных компонентов ПК существенно изменяются, изделие приобретает конечную форму и размеры, формируются конечные физико-механические свойства ПК. Поэтому отверждение ПК проводят по некоторому оптимальному температурно-временному режиму.

Одним из подходов нахождения такого технологического режима является математическое моделирование и оптимизация [2, 3].

Значимым этапом математического моделирования является идентификация параметров модели [2–4], включая теплофизические свойства (ТФС) и кинетические характеристики, которые определяются экспериментально с помощью специальных методов и приборов.

Применяемые для теплофизических измерений приборы, например, серии ИТ, ИТП-МГ, ПИТ, КИТ и другие предназначены в основном для определения ТФС твердых материалов и не подходит для исследования ТФС ПК в процессе отверждения. Поэтому исследование ТФС ПК при отверждении и расчет оптимального температурно-временного режима отверждения проводили с помощью специально разработанной информационно-измерительной системы (ИИС) процесса отверждения, содержащей в своем составе специальные аппаратно-технические средства, а также математическое, алгоритмическое, метрологическое и программное обеспечение, ориентированное на решение прямых, обратных и оптимизационных задач [3, 5].

Качество и свойства ПК определяются свойствами компонентов композита, на которые влияют межфазные взаимодействия связующего и наполнителя. Поэтому целью работы является изучение влияния типа армирующего наполнителя на ТФС ПК в отвержденном состоянии и при отверждении путем сравнения с ТФС чистого связующего.

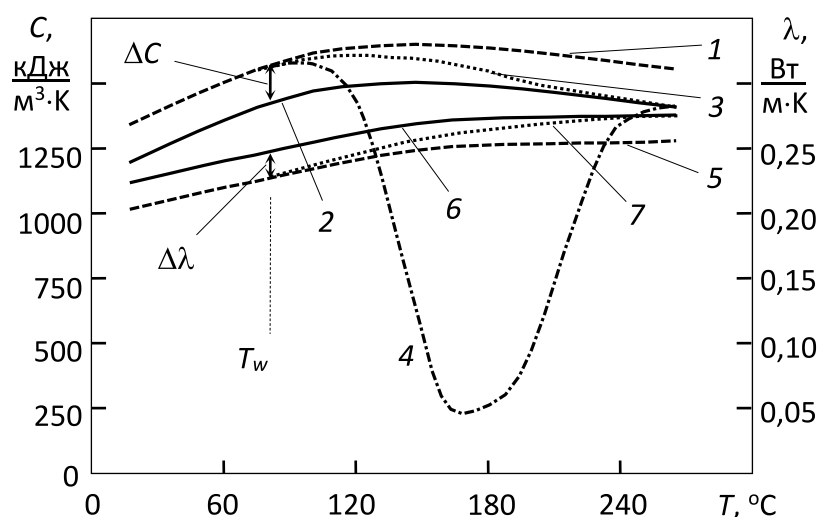


Рисунок 1 – ТФС стеклопластика СТ-69Н:

1 – $C_{no}(T)$; 2 – $C_{om}(T)$; 3 – $C(T, \beta)$; 4 – $C_w(T)$; 5 – $\lambda_{no}(T)$; 6 – $\lambda_{om}(T)$; 7 – $\lambda(T, \beta)$

В работе исследованы теплоёмкость C и теплопроводность λ трех типов полимерных композитов на основе одного и того же эпоксидного связующего ЭДТ-69Н. Это стеклопластик марки СТ-69Н, наполненный

стеклотканью Т-10-80 (начальное содержание связующего $\gamma_n=0,51$), органопластик марки Органит-12Т, наполненный органической арамидной тканью СВМ (начальное содержание связующего $\gamma_n=0,48$) и углепластик марки КМУ-11Э, наполненный углеродной волокнистой лентой ЭЛУР-П0,1 (начальное содержание связующего $\gamma_n=0,53$). Результаты их исследования представлены на рис. 1, 2 и 3.

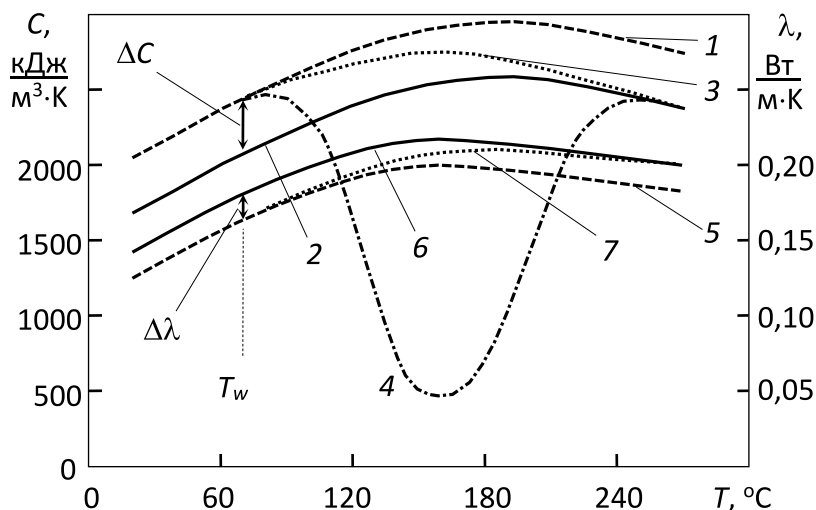


Рисунок 2 – ТФС органопластика Органит-12Т:

1 – $C_{ho}(T)$; 2 – $C_{om}(T)$; 3 – $C(T, \square)$; 4 – $C_w(T)$; 5 – $\lambda_{ho}(T)$; 6 – $\lambda_{om}(T)$; 7 – $\lambda(T, \square)$

Образцы собирали из пропитанных связующим ЭДТ-69Н листов наполнителя Т-10-80, СВМ и ЭЛУР-П0,1. Листы препрега нарезали в форме квадрата 100×100 мм и укладывали перекрестно в пакет толщиной 8 мм. Образцы подвергали нагреву, отверждению и повторному нагреву в ИИС с регистрацией температурного распределения.

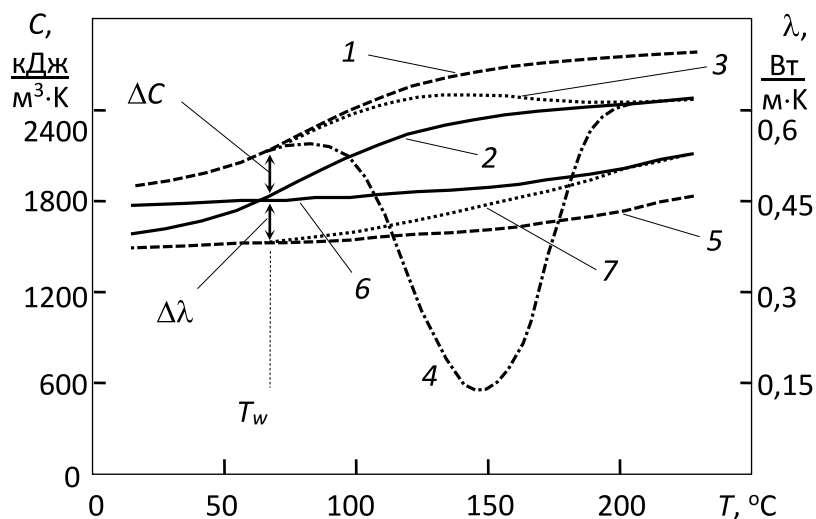


Рисунок 3 – ТФС углепластика КМУ-11Э:

1 – $C_{ho}(T)$; 2 – $C_{om}(T)$; 3 – $C(T, \beta)$; 4 – $C_w(T)$; 5 – $\lambda_{ho}(T)$; 6 – $\lambda_{om}(T)$; 7 – $\lambda(T, \beta)$

Образец отвержденного связующего изготавливали путем заливки жидкого связующего в форму нужного для измерения размера и последующего отверждения. ТФС определяли приборами LFA 457 и DSC 204 фирмы Netzsch. Термограммы нескольких экспериментов обрабатывали и рассчитывали средние ТФС. ТФС отвержденного без наполнителя эпоксидного связующего ЭДТ-69Н приведено на рис. 4.

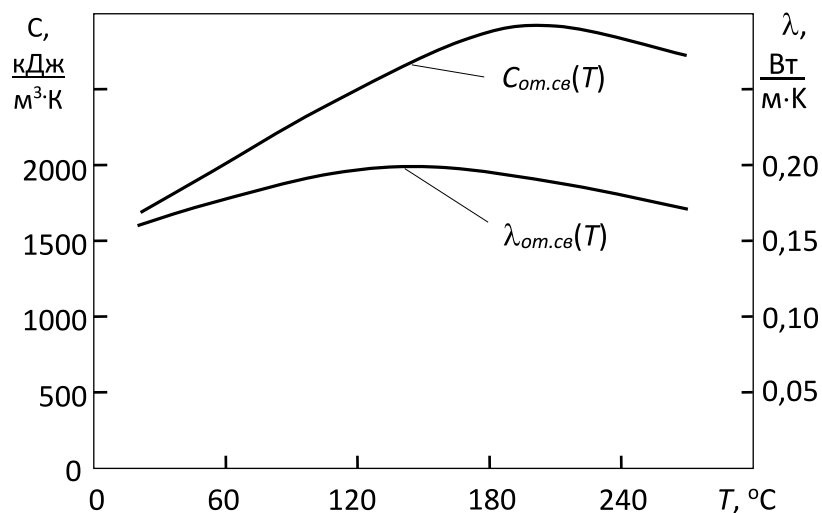


Рисунок 4 – ТФС отвержденного чистого связующего ЭДТ-69Н

Из графиков видно, что в зависимости от типа наполнителя не только изменяются зависимости определяемых ТФС, но и кинетика процесса отверждения связующего ЭДТ-69Н. Температура начала реакции отверждения T_w , при которой определяются ΔC и $\Delta \lambda$, лежит для стеклопластика в пределах $80 \div 90$ °С, для органопластика – в пределах $70 \div 80$ °С, для углепластика – в пределах $60 \div 70$ °С.

Характеры температурных зависимостей ТФС трех исследованных материалов и связующего достаточно похожи и во многом определяются свойствами связующего. Эффективная теплоёмкость $C_w(T)$ при достижении температуры начала интенсивной реакции отверждения T_w резко снижается в силу того, что эффективная теплоёмкость учитывает мощность тепловыделений $W(t)$, зависящую от скорости нагрева dT/dt и кинетики процесса отверждения, которая вычитается из теплоёмкости неотвержденного материала $C_{no}(T)$ [4]. После завершения реакции отверждения и тепловыделений теплоёмкость $C_w(T)$ перестает быть эффективной и становится теплоёмкостью отвержденного композита $C_{om}(T)$. Соответственно ведет себя и теплопроводность λ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. - 2020. –

Т. 90. № 4. - С. 331-334.

2. Мищенко С.В. Математическое моделирование процесса отверждения изделий из полимерных композиционных материалов методом вакуумного автоклавного формования в технологическом пакете / С. В. Мищенко, О. С. Дмитриев, А. В. Шаповалов, В. Н. Кириллов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. - 2001. - Т. 7, №1. - С. 7-19.

3. Dmitriev O.S. Thermo-chemical analysis of the cure process of thick polymer composite structures for industrial applications / O. S. Dmitriev, A. A. Zhyvenkova, A. O. Dmitriev // Advanced Materials and Technologies. – 2016. - № 2. – P. 53-60.

4. Дмитриев О.С. Моделирование теплофизических характеристик полимерных композитов в процессе отверждения / О. С. Дмитриев, А. А. Барсуков, Д. Я. Баринов // Теплофизика и аэромеханика. - 2024. - Т. 31. № 2. - С. 355-370.

5. Живенкова А.А. Алгоритмическое и программное обеспечение информационно-измерительной системы исследования теплофизических характеристик полимерных композитов в процессе отверждения / А. А. Живенкова, О. С. Дмитриев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – Т. 54. № 4. – С. 212-217.

УДК 542.455

А.Е. Хусанов, доц., канд. техн. наук;
И.Ю. Иристаев, специалист ВУК;
Д.М. Кенжебеков, докторант
(ЮКУ им. М.Ауэзова, Казахстан)

МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ТРУБА В ТРУБЕ С ТУРБУЛИЗАТОРОМ ПОТОКА РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ

В последнее время для повышения эффективности работы теплообменного оборудования применяются пакеты CFD моделирования. Для моделирования теплообменника применялась программа Comsol Multiphysics. Программа является мощным инструментом для решения задач мультифизического моделирования, который предоставляет широкие возможности для анализа сложных инженерных систем [1,2].

Преимуществом применения CFD моделирования является визуализация течения потоков внутри аппарата.

Визуализация потока позволяет детально изучить распределение скорости теплоносителей, давления, температуры в различных зонах