

Интерфейс ввода функциональных зависимостей свойств полимерных композитов в ИИС процесса отверждения

О. С. Дмитриев, email: phys@tstu.ru

А. О. Дмитриев

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация. Рассмотрен интерфейс моделирования и ввода функциональных зависимостей теплофизических, кинетических и реологических свойств в информационно-измерительной системе исследования процесса отверждения полимерных композитов. Показаны основные принципы и возможности работы модуля ввода данных и построения функциональных зависимостей свойств композитов, на основе данных полученных с помощью стандартного исследовательского оборудования.

Ключевые слова: интерфейс, информационно-измерительная система, теплофизические, кинетические и реологические свойства.

Введение

Полимерные композиционные материалы или полимерные композиты (ПК) представляют собой сочетание полимерной матрицы и армирующего наполнителя. В качестве полимерной матрицы применяются термореактивные смолы горячего отверждения: эпоксидные, полиэфирные, фенолформальдегидные, полиимидные, кремнийорганические и др. Армирующими наполнителями являются стеклянные, углеродные, органические волокна, ткани, маты, и соответственно получают стеклопластики, углепластики, органиты, которые нашли применение во многих отраслях промышленности [1].

Технология производства ПК представляет собой сложный химико-технологический процесс, определение режимных параметров которого предполагает использование математического моделирования, оптимизации и идентификации физико-химических свойств ПК в различных состояниях. Для исследования и расчета химико-технологического режима отверждения ПК была разработана информационно-измерительная система (ИИС), описание и некоторые аспекты её построения были представлены ранее в работах [2, 3].

Основными свойствами ПК являются теплофизические, кинетические и реологические, которые значительно изменяются при отверждении. Так, например, теплофизические свойства, т.е. объемная

теплоемкость $c(T)$ и теплопроводность $\lambda(T)$ имеют значительную зависимость от температуры T и определяются путем решения обратной задачи теплопроводности [4, 5]. Кинетическая функция реакции отверждения $\phi(\beta)$ и структурная составляющая вязкости $\tilde{\mu}(\beta)$ реологических свойств зависят от степени отверждения β [6].

Как правило, указанные свойства определяются с помощью ИИС в процессе исследования нового материала и заносятся в базу данных ИИС в виде файлов. Теплофизические свойства исследуются экспериментально как функции температуры $c(T)$, $\lambda(T)$ в процессе отверждения образца препрега и затем отвержденного композита. После завершения измерений на основе этих двух температурных зависимостей вычисляются $c(T, \beta, \gamma)$, $\lambda(T, \beta, \gamma)$ в зависимости от степени отверждения β и от содержания связующего γ . Затем эти данные используются для расчета оптимального температурно-временного режима отверждения изделий из ПК с помощью ИИС [6, 7].

В некоторых случаях требуется провести расчеты технологических режимов отверждения для материала, который не был исследован в ИИС, а предоставлены данные о свойствах полимерного композита, полученные на стандартных приборах и установках, например ИТ-С, ИТ- λ , ДСК и т.д. Как правило, эти данные представляют собой значения свойств измеренные при некоторых условиях, температурах и степенях отверждения. В этом случае возникают некоторые проблемы использования этих свойств, и возникла необходимость доработки прикладного программного обеспечения ИИС. Указанная доработка также значительно расширяет функциональные возможности ИИС процесса отверждения ПК и позволяет использовать прикладное программное обеспечение ИИС для расчета оптимальных технологических режимов отверждения изделий из ПК как самостоятельное приложение.

1. Интерфейс моделирования и ввода функциональных зависимостей свойств ПК

Были разработаны специальные алгоритмы и программы моделирования и аппроксимации по трем точкам функциональных зависимостей теплофизических, кинетических и реологических свойств. Таким образом, в ИИС реализовано два варианта ввода данных свойств ПК, первый – ввод ранее исследованных свойств в виде файла из базы данных ИИС и второй – моделирование и аппроксимация по трем точкам экспериментально измеренных данных. Экранная форма ввода свойств полимерного материала из базы данных показана на рис. 1.

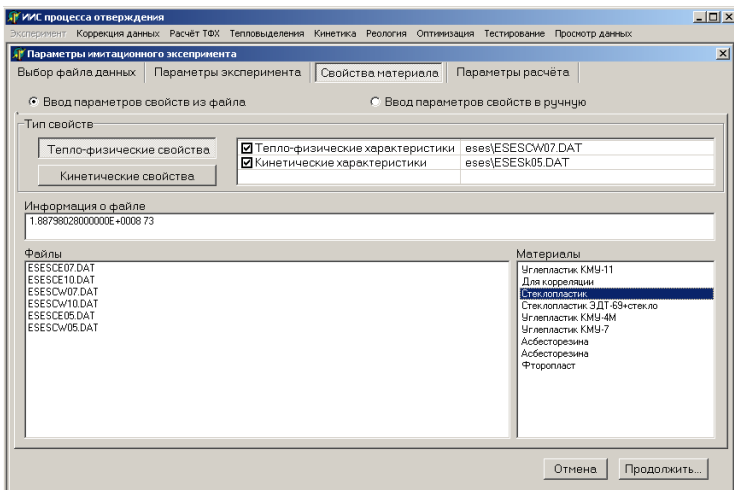


Рис. 1. Ввод свойств полимерного материала из базы данных ИИС

Как видим, интерфейс ввода построен по принципу окон с контекстными подсказками, что делает работу с прикладным программным обеспечением ИИС простой и не требует от пользователя специальных знаний и навыков.

При вводе данных по второму варианту и использовании свойств ПК, измеренных с помощью стандартного исследовательского оборудования, задаются свойства, измеренные в трех точках, по которым строится параболическая функция. Использован стандартный алгоритм параболической аппроксимации с локализацией координат надлежащих точек. Программная реализация модуля аппроксимации осуществлена, как и всё прикладное программное обеспечение ИИС, в среде программирования Borland Delphi в MS Windows. Пример моделирования и ввода функциональных зависимостей свойств полимерного материала в виде окна представлен на рис. 2.

Для моделирования нужной зависимости свойств ПК курсором захватываем и передвигаем красные точки (рис. 2) в любых направлениях (вверх-вниз, вправо-влево) в пределах окна графика и визуально подбираем соответствующий вид функциональной зависимости. Одновременно в поле графика выводятся точные значения координат x , y и имеется возможность точного задания значений температуры и степени отверждения, а также контроля значений моделируемых свойств. Кроме того, в окнах над соответствующими

графиками выводятся три коэффициента уравнения параболы. Предусмотрена возможность округления вычисленных коэффициентов с одновременным контролем полученного графика. Также имеется возможность непосредственного ввода в эти окна значений коэффициентов параболы в случае, если эта зависимость была получена ранее. В результате получаем зависимости теплоемкости и теплопроводности от температуры на равномерной сетке x, y . Раздельно моделируются зависимости теплофизических характеристик отверждаемого и отвержденного материала, которые сохраняются в базе данных.

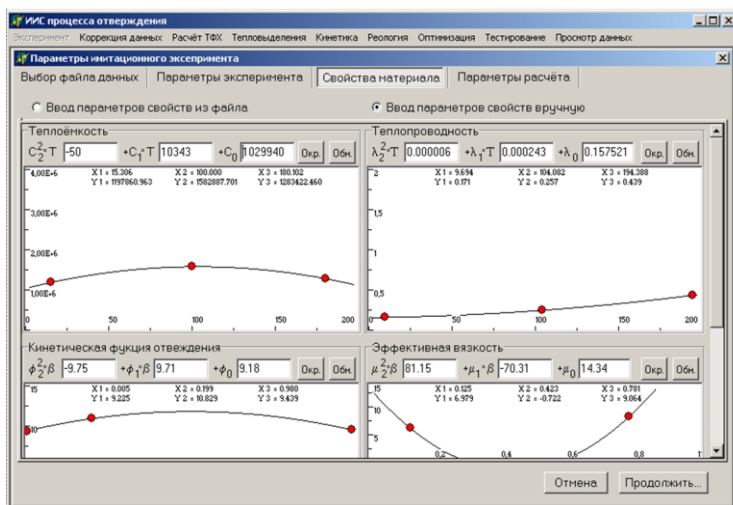


Рис. 2. Ввод функциональных зависимостей теплофизических, кинетических и реологических характеристик ПК

В отличие от теплофизических характеристик зависимости для кинетической функции $\phi(\beta)$ и структурной составляющей вязкости $\tilde{\mu}(\beta)$ моделируются в полулогарифмических координатах, т.е. степень отверждения β задается на равномерной сетке, а $\phi(\beta)$ и $\tilde{\mu}(\beta)$ в координатах $\ln \phi(\beta)$ и $\ln \tilde{\mu}(\beta)$. Полученные данные также сохраняются в базе данных.

Полученные теплофизические, кинетические и реологические свойства, введенные в базу данных ИИС, являются источником информации и ядром для моделирования и расчета оптимальных температурно-временных режимов отверждения изделий из ПК [6, 7].

Заключение

Доработан пользовательский интерфейс ИИС исследования процесса отверждения полимерных композитов, позволяющий вводить данные о свойствах ПК, полученных с помощью стандартного исследовательского оборудования. Это значительно расширяет функциональные возможности ИИС процесса отверждения ПК и позволяет использовать прикладное программное обеспечение ИИС для расчета оптимальных технологических режимов отверждения изделий из ПК как самостоятельное приложение.

Список литературы

1. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90. № 4. – С. 331-334.
2. Computer-measuring system for research into properties of glutinous prepregs and calculation of curing cycles of the polymer composite materials on their base / O.S. Dmitriev, S.V. Mischenko, A.O. Dmitriev, V.N. Kirillov // Polymer Science, Series D. – 2010. V. 3. № 1. – P. 20-25.
3. Автоматизированная система исследования процесса отверждения композиционных полимерных материалов / С.В. Мищенко, О.С. Дмитриев, Н.П. Пучков, А.В. Шаповалов // Промышленная теплотехника. – 1989. – Т. 11. № 5. – С. 79-83.
4. Дмитриев, О.С. Численно-аналитическое решение нелинейной коэффициентной обратной задачи теплопроводности / О.С. Дмитриев, А.А. Живенкова // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91. № 6. – С. 1426-1437.
5. Дмитриев, О.С. Алгоритм расчета температурозависимых теплофизических характеристик полимерных композитов в ИИС/ О.С. Дмитриев, А.А. Живенкова, А.О. Дмитриев // Информатика: проблемы, методология, технологии. сб. матер. XXI международной научно-методической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 302-307.
6. 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.
7. Дмитриев, О.С. Влияние режимов термообработки на геометрические и механические характеристики углепластиковых трубчатых элементов / О.С. Дмитриев, И.В. Малков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22. № 3. – С. 427-438.