

УДК 517.958:678.5.046

**В.В. Дубров, И.Г. Самошенко, Г.Н. Тоискин, М.Б. Флек, С.Н. Шевцов****МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ТОЛСТОСТЕННОЙ КОМПОЗИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ\***

*Представлена модель полимеризации эпоксидного связующего при формировании толстостенной композитной конструкции. Система дифференциальных уравнений процесса связывает кинетическое уравнение полимеризации связующего, полученное по результатам исследования методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), и уравнение распространения тепла с учетом фазового перехода полимера из жидкого в гелеобразное и твердое состояние. Компьютерная реализация модели, выполненная в системе Comsol Multiphysics, демонстрирует пространственно-временные закономерности распространения фронта полимеризации в теле формуемой конструкции.*

*Композиты; термореактивные связующие; процесс полимеризации; кинетические уравнения; экзотермическое тепло.*

**I.G. Samochenko, G.N. Toiskin, V.V. Doubrov, M.B. Flek, S.N. Shevtsov****MODELING OF THICK-WALLED COMPOSITE STRUCTURE CURE PROCESS**

*A mathematical model of epoxy-based resin curing at forming of a thick-walled composite structure is presented. A differential equations system link a kinetic equation of the resin cure, that has derived from the differential scanning calorimetry investigation, with heat conduction equation taking into account a phase transfer from liquid to gel and next to solid phase. The model was implemented in Comsol Multiphysics software, and it demonstrate the spacio-temporal patterns of propagation of a curing front in a formed composite body.*

*Composite material; thermoset resin; curing process; kinetic equations; exothermal heat.*

**Введение.** Целью разработки механотермических моделей полимеризации является создание композитной конструкции с высокой точностью геометрической формы, стабильностью и заданным уровнем механических свойств, однородных во всех точках тела. Сложность решения этой проблемы обусловлена тем, что процессы полимеризации протекают с выделением значительного количества тепла и, как правило, очень плохо контролируются из-за отсутствия средств мониторинга температуры и напряженного состояния в теле формуемого изделия. Представленные модели процессов полимеризации армированных композитов позволяют корректно учесть кинетику реакций связующего, изменение его фазового состояния и механических свойств композита при формировании, за счет чего в значительной степени устраняется эффект "ненаблюдаемости" в технологии производства изделий из высокопрочных композитов и усовершенствуется система управления процессом, тем самым, обеспечивая повышение качества и надежности композитных авиационных конструкций.

В первом разделе работы обсуждаются концепции, модели, экспериментальные методы анализа и верификации существующих модельных представлений, приведены результаты экспериментального исследования процесса полимеризации композитов на эпоксидном связующем методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), которые позволили разработать термокинетическую модель полимеризации материала.

\* Работа выполнена в рамках и при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Во втором разделе приведена связанная модель процесса полимеризации композита и ее конечноэлементная реализация. Работа модели иллюстрируется двумя примерами: на простой области и реальной технологической системе пресс-камерного формования лонжерона лопасти вертолета. Обсуждается возможность включения разработанной модели в гибридную модель управления реальным процессом формования.

### 1. Кинетическая модель полимеризации термореактивного связующего.

Технология изготовления высокопрочных полимерных композитов обычно включает этапы формирования ровинга или однонаправленной ленты из армирующих волокон, сушки-выжигания защитного слоя волокон для улучшения адгезии к связующему, приготовления препрега путем пропускания ленты через раствор связующего и увлажнения последней, намотки или укладки на формообразующую оправку, помещения намотанного изделия в прессформу и выдержки ее в течение примерно 20 часов при определенном температурном режиме, обеспечивающем достижение заданных механических свойств равномерно распределенных в теле изделия. Типичное поперечное сечение высокопрочного изделия из ортотропного полимерного композита представлено на рис. 1, а температурный режим его формования – на рис. 2.

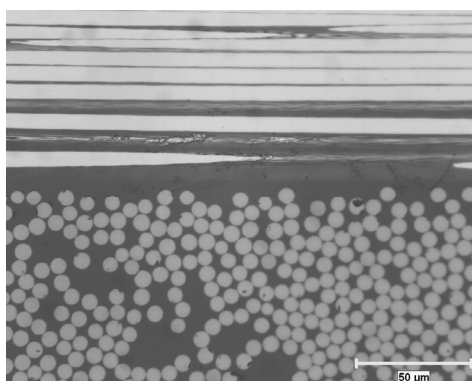


Рис. 1. Микрофотография среза в композиционном материале

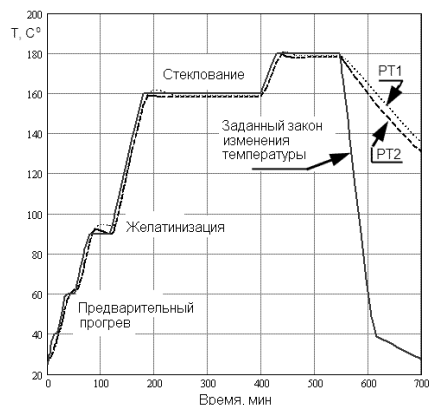


Рис. 2. Типичный температурный цикл отверждения изделия из композита с термореактивным связующим

В свою очередь, температурный режим определяется тройной диаграммой “температура – время – состояние” (рис. 3), связывающей в обобщенной форме изменения состояния связующего в процессе отверждения (жидкость – гель – стекло) с температурой и временем протекания химических реакций. Особенностью таких реакций является изменение фазового состояния связующего, происходящее в форме первоначального ожигения и снижения вязкости, перехода жидкости в гелеобразное состояние (желатинизация) и последующего перехода в стеклообразное состояние.

Важно отметить, что, в отличие от кристаллических веществ, эпоксидсодержащие полимеры изменяют свое агрегатное состояние в некотором температурном диапазоне, причем расположение этого диапазона может различаться при исследовании термических и реологических характеристик материала. Поэтому принятые в научной литературе и используемые здесь термины "переход желатинизации", "переход стеклования" относятся к диапазону температур (рис. 4), а не к строго фиксированным температурам, как это имеет место в кристаллических телах. Дру-

гой особенностью реакций полимеризации реактопластичных связующих является выделение экзотермического тепла, причем интенсивность выделяемого потока тепла при увеличении температуры носит экстремальный характер, при этом максимум экзотермического тепла может наблюдаться при одной (одностадийная реакция) или нескольких (двухстадийная реакция) температурах (рис. 5).

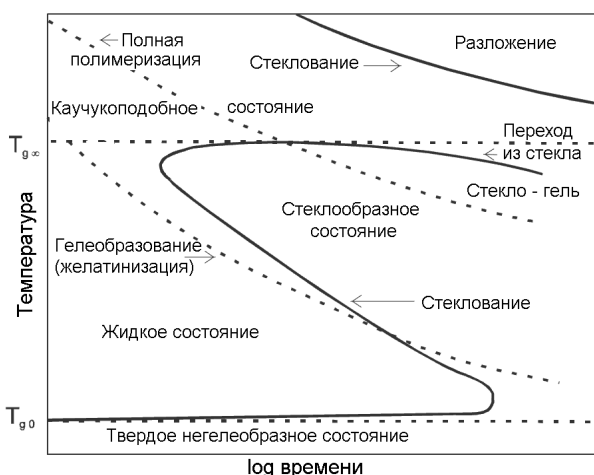


Рис. 3. Фазовая диаграмма «температура – время – состояние» [1]

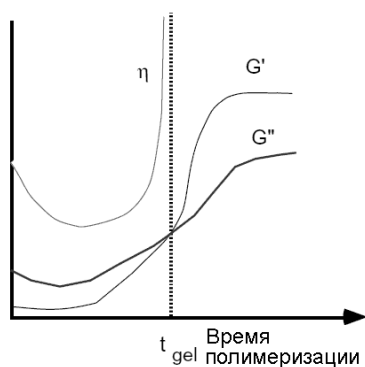


Рис. 4. Изменение реологических свойств терморективного связующего в процессе полимеризации [2]:  $\eta$  – вязкость при постоянной скорости течения;  $G'$  – упругий модуль сдвига;  $G''$  – сдвиговый модуль потерь

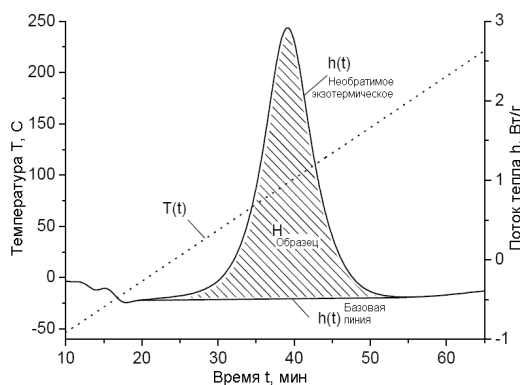


Рис. 5. Характер изменения потока экзотермического тепла при типичной одностадийной реакции отверждения эпоксидного полимера [3]

Принято считать, что количество выделившегося при реакции экзотермического тепла в каждый момент времени характеризует степень полимеризации материала. Количественной оценкой степени полимеризации (или конверсии) является величина  $\alpha \equiv Q(t)/Q_0$  ( $\alpha \in [0;1]$ ), где  $Q(t)$ ,  $Q_0$  – выделившееся и полное количество тепла при полимеризации единицы массы. Важнейшую роль в описании процесса полимеризации играет зависимость скорости от степени полимеризации, по-

лучившая название кинетической кривой. По существу, кинетические кривые представляют собой наглядное изображение кинетики реакций полимеризации для заданного стехиометрического состава исследуемого полимера и режимов температурной экспозиции. Необходимый аппарат для количественного описания процесса полимеризации в материале дают кинетические уравнения, первое из которых применительно к полимеризации эпоксидной системы получено Камалом [4]. Обзор типов этих уравнений дан в работах [1, 2, 5-7], причем в работе [5] приводится обобщенная форма кинетического уравнения для реакций полимеризации:

$$\frac{d\alpha(T, \alpha)}{dt} = [A_1 \exp(-E_1/RT) + A_2 \exp(-E_2/RT) \alpha^m] (\alpha_{\max} - \alpha)^n; \quad (1)$$

$$\alpha_{\max} = B_0 + B_1 T + B_2 T^2,$$

где  $A_1, A_2$  – масштабные множители (веса реакций),  $E_1, E_2$  – величины энергии активации,  $R$  – газовая постоянная,  $m, n$  – константы (порядок) реакции полимеризации. Эта обобщенная модель имеет 9 констант, благодаря чему обладает большой гибкостью. Несколько упрощенный вид этой модели, в котором введены обозначения  $k_{1,2} = A_{1,2} \cdot \exp(-E_{1,2}/RT)$ , получил название модели Кенни [8]. Современным средством экспериментального построения кинетических кривых является метод ДСК, реализующий мониторинг тепловых процессов при полимеризации. Эти кривые (термограммы) содержат информацию о теплоте процесса исследуемого образца при разных температурах, энтальпии процессов и температуре полимеризации.

Для определения типа и значений параметров кинетического уравнения в лаборатории термического анализа МГУ был выполнен эксперимент с использованием метода ДСК. Исследовали три исходных компонента: КДА, ТЭАТ, АДЭ для приготовления образца и для исследования преобразования энергий на приборе NETZSCH DSC 204 F1 Phoenix® с фирменным ПО PROTEUS® 32-bit.

Использовалась следующая температурная программа:

- |                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| 1. и 2. нагревания в атмосфере азота: | 20 ... 300°C;    |
| охлаждение:                           | 200 ... 20°C;    |
| скорость нагревания:                  | 5, 10, 20 К/мин. |

Данные ДСК-сканирования были численно обработаны для получения зависимостей  $\frac{d\alpha(\alpha, T)}{dt}, C(\alpha, T)$ , на основе которых для исследуемого материала, обладающего двумодальной зависимостью  $d\alpha/dt(\alpha)$  (рис. 6), были предложены кинетическая модель

$$\frac{d\alpha(T, \alpha)}{dt} = [A_1 \exp(-E_1/RT) \exp(-\alpha/\alpha_1) + A_2 \exp(-E_2/RT) \alpha^m] (1 - \alpha)^n \quad (2)$$

и эмпирическая зависимость для теплоемкости

$$C_r = [C_f - (C_f - 1,14472C_s) H_{fit}(\alpha - \alpha_{trans}, \delta\alpha)] (0,8 + 0,2 \exp(-\alpha)). \quad (3)$$

где  $C_f$  и  $C_s$  – удельные теплоемкости неполимеризованного и полностью полимеризованного (твердого) связующего соответственно, а степень конверсии  $\alpha_{trans}$ ,

соответствующая скачку теплоемкости, и ширина скачка  $\delta\alpha$  в сглаженной функции Хевисайда  $H_{fit}$  определяются соотношениями

$$\alpha_{trans} = 0,05 + 0,45 \tanh^2 \left( \frac{dT/dt}{12} \right), \quad (4)$$

$$\delta\alpha = 0,1 + 0,4 \left[ 1 - \exp \left( \frac{dT/dt}{15} \right) \right]. \quad (5)$$

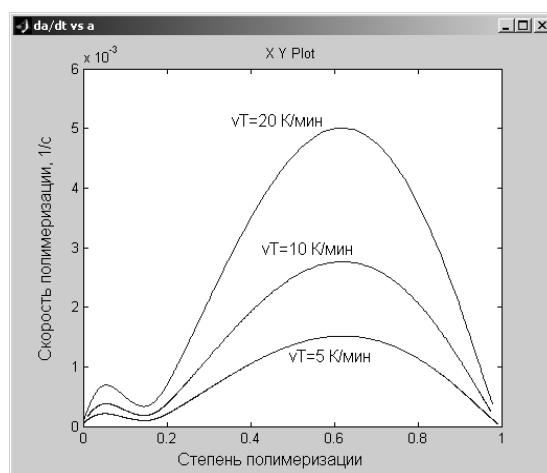


Рис. 6. Изменение скорости реакций в процессе полимеризации. Результат моделирования процесса с помощью кинетического уравнения (2)

Уравнение (3) удовлетворительно описывает как скачкообразный характер перехода теплоемкости, так и "размывание" этого скачка при увеличении скорости нагрева.

Соотношение, аналогичное (3), используется для актуального значения коэффициента теплопроводности связующего  $k_r$ . Достаточно заменить  $C_f$  на  $k_f$  и  $C_s$  — на  $k_s$ . Графики эмпирических зависимостей удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности от степени полимеризации приведены на рис. 7. Зависимость коэффициента теплопроводности "привязана" к данным производителя, сообщившего в паспортной документации значения параметра при 20° С, температуре начала желатинизации и в твердом состоянии.

**2. Связанная модель процесса отверждения композита с армирующими стекловолокнами на основе термореактивного связующего и ее конечноэлементная реализация.** Попытки последних лет аналитического решения задачи Стефана, к которой может быть сведена исследуемая здесь проблема, предпринятые в работах [9, 10], показали, что математические сложности позволяют получить отдельные качественные результаты в простейших областях при весьма ограничительных допущениях. Значительно более результативными оказались работы [1, 5, 11 и др.], использующие конечноэлементный подход для решения связанных задач термо-, кинетомеханики процессов отверждения композитов. Этот подход использовался и в настоящей работе.

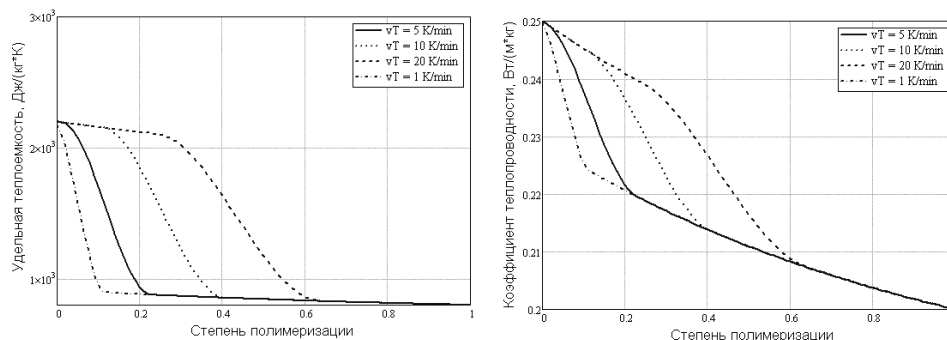


Рис. 7. Зависимости удельной теплоемкости (слева) и коэффициента теплопроводности (справа) эпоксидного связующего от степени полимеризации при различных скоростях нагрева. Расчет по эмпирическим формулам (3) – (5)

Прототипом для постановки задачи был процесс отверждения лонжерона лопасти вертолета в пресс-форме. Изделие имеет форму трубы длиной 8 м, причем форма и толщина стенок сечения меняются от комля к законцовке. У комля толщина стенок составляет около 20 мм, у законцовки – ~ 5 мм. Изделие закручено вдоль оси с переменным углом крутки. Намотанный на оправку сырой препрег полимеризуется в прессформе, подогреваемой снаружи установленными электрическими нагревателями. После предварительного прогрева и разжижения связующего создается давление, прижимающее изделие к формообразующим поверхностям. Излишки связующего могут свободно удаляться. Таким образом, фронт полимеризации, распространяясь от внешних нагретых поверхностей, не стеснен жидкой фазой. Рассмотрение процесса остывания готового полимеризованного изделия и возникновения термических напряжений выходит за рамки настоящей статьи, поэтому ниже не обсуждается. Постановка задачи будет рассмотрена для произвольного сечения композитного изделия, подогреваемого с одной стороны и обменивающегося теплом со стальной оправкой, а иллюстрация процесса – произведена на простейшей прямоугольной области, изображенной на рис. 8.

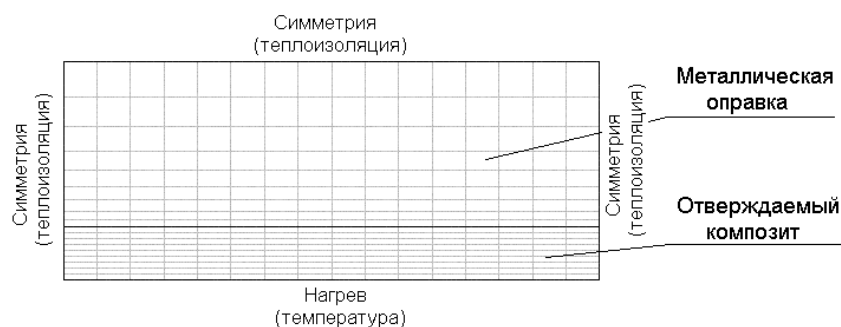


Рис. 8. Геометрия простейшей МКЭ-модели отверждения полимерного композита

Формулировка задачи в двумерной постановке выглядит следующим образом:

- ♦ уравнение теплопроводности

$$\rho_c C_c \partial T / \partial t + \nabla(-h_c \nabla T) = Q_{exo}; \quad (*)$$

- ◆ кинетическое уравнение

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = \left[ A_1 \exp(-E_1/RT) \exp(-\alpha/\alpha_1) + A_2 \exp(-E_2/RT) \alpha^m \right] (1-\alpha)^n; (**)$$

- ◆ плотность композита

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_r (1 - v_f);$$

- ◆ коэффициент теплопроводности композита

$$k_c = k_r \cdot \frac{(1+v_f)k_f + (1-v_f)k_r}{(1-v_f)k_f + (1+v_f)k_r};$$

- ◆ актуальное значение коэффициента теплопроводности матрицы в точках области моделирования

$$k_r = \left[ k_f - (k_f - 1,14472k_s) H_{fit}(\alpha - \alpha_{trans}, \delta\alpha) \right] (0,8 + 0,2 \exp(-\alpha));$$

- ◆ удельная теплоемкость композита

$$C_c = C_f v_f + C_r (1 - v_f);$$

- ◆ актуальное значение коэффициента теплопроводности матрицы в точках области моделирования

$$C_r = \left[ C_f - (C_f - 1,14472C_s) H_{fit}(\alpha - \alpha_{trans}, \delta\alpha) \right] (0,8 + 0,2 \exp(-\alpha)),$$

где

$$\alpha_{trans} = 0,05 + 0,45 \tanh^2 \left( \frac{dT/dt}{12} \right);$$

$$\delta\alpha = 0,1 + 0,4 \left[ 1 - \exp \left( \frac{dT/dt}{15} \right) \right];$$

- ◆ интенсивность внутренних источников изотермического тепла

$$Q_{exo} = Q_{tot} \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) \frac{\partial \alpha}{\partial t};$$

- ◆ показатели степени реакции  $m = 0,5$ ;  $n = 1,5$ .

В приведенной системе уравнений индекс  $f$  обозначает материал армирующих нитей (fiber), а индекс  $r$  (resin) – материал связующего.

Численная реализация разработанного модельного представления была выполнена в системе Comsol Multiphysics при совместной работе модулей Heat Transfer и PDE (partial differential equation). Схема решения выглядит таким образом. Система двух связанных уравнений (\*) и (\*\*) решается внутри области моделирования (как правило, с нулевыми начальными условиями). На каждом шаге интег-

рирования для всех точек области вычисляются значения теплоемкости, теплопроводности, интенсивности тепловых источников.

В качестве простого примера, наглядно иллюстрирующего динамику процесса, ниже даны результаты решения нестационарной задачи о полимеризации прямоугольной области композита. Толщина слоя 10 мм, с боков слой композита теплоизолирован (допущение бесконечно длинного слоя), снизу происходит нагрев со скоростью  $3,6^\circ \text{C}/\text{мин}$ , сверху - металлический слой толщиной 30 мм (оправка). Нагрев продолжается 1 час до температуры  $218^\circ \text{C}$ .

Иллюстрация на рис. 9 показывает, что в процессе нагрева формируется фронт полимеризованного материала, движущийся по сечению препрега, но нагрева со скоростью  $3,6^\circ \text{C}/\text{мин}$  недостаточно для полной полимеризации материала по всему сечению. Это обусловлено большой массой и теплоемкостью металлической оправки, на которую намотан сырой препрег. Действительно, после часа нагрева температура металла достигает только  $60^\circ \text{C}$ . Этот результат позволил выявить причину неполной полимеризации изделий в зоне утолщения, что было установлено в результате экспериментов с натурными изделиями.

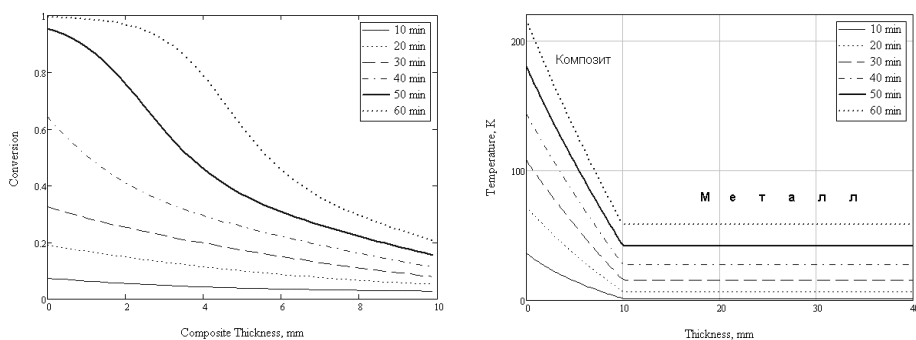


Рис. 9. Распределение степени конверсии (слева) и температуры (справа) по сечению образца при подогреве с линейно растущей температурой

На рис. 10 также продемонстрировано оформление фронта полимеризации примерно после получаса нагрева (до  $105^\circ \text{C}$ ) и его перемещение в сторону более холодного материала.

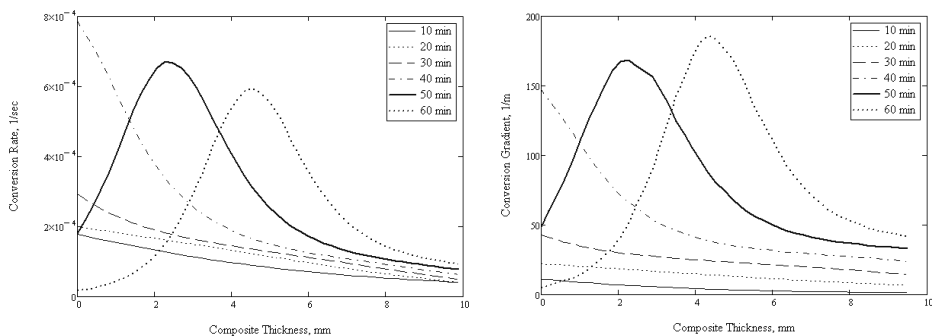


Рис. 10. Распределение скорости (слева) и градиента (справа) конверсии по сечению образца при нагреве с линейно растущей температурой



Зависимость, представленная на рис. 11, получена интегрированием дифференциального потока экзотермического тепла по области, занятой композитом. Она иллюстрирует пиковый характер тепловыделения при полимеризации материала. Первый, менее мощный пик экзотермического тепла соответствует первой стадии образования полимерных цепей, второй – формированию фронта сплошной полимеризации, движущегося по сечению композита.

Количество тепла, истраченного на нагрев металла, по порядку сопоставим с количеством тепла, затраченного на образование полимерной структуры. Полимеризованный материал обладает значительно меньшей теплопроводностью. Поэтому режим нагрева должен модифицироваться так, чтобы не создавать перегрева наружных слоев композита, парообразования внутри микропор матрицы, приводящих к ухудшению ее механических свойств.

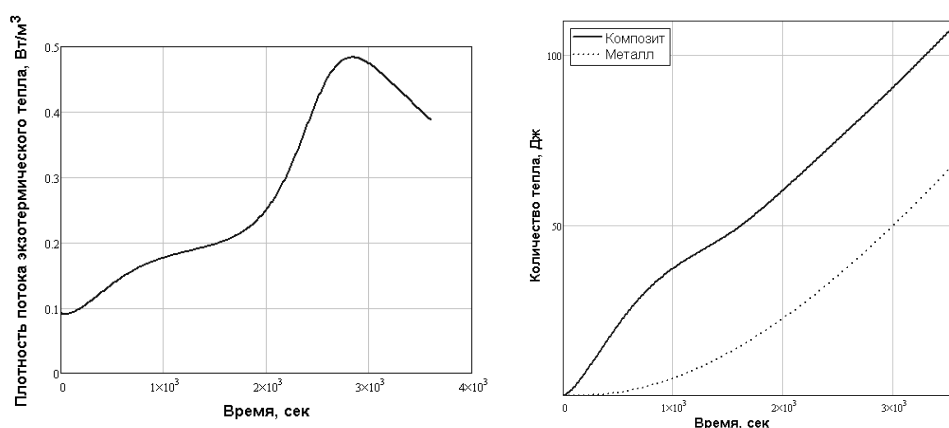


Рис. 11. Временные диаграммы плотности потока тепла экзотермической реакции полимеризации (слева) и количества тепла в полимеризуемом композите и металлической оправке (справа)

**3. Выводы.** Разработана и экспериментально обоснована с использованием метода дифференциальной сканирующей калориметрии кинетическая модель двухстадийного процесса полимеризации эпоксидной матрицы при формировании композита на основе мотаных армирующих стекловолокон, что позволило также разработать эмпирические модели модификации параметров теплопроводности и теплоемкости композитного материала в процессе отверждения.

Разработана и реализована с использованием метода конечных элементов термокинетическая модель распределенного процесса полимеризации эпоксидной матрицы, позволившая определить важнейшие факторы, управляющие параметрами качества композиционного материала – однородностью свойств матрицы по сечению изделия, что определяет, в конечном счете, совокупность механических свойств материала.

Разработанная программная реализация процесса полимеризации композита может быть использована для оптимизации режима нагрева при формировании толстостенных изделий и определения в них термических напряжений, приводящих к остаточным деформациям и искажениям формы.

Работа выполнена в рамках проекта "Дизайн и исследования механических и физико-химических свойств новых композиционных, пьезоактивных и функционально-градиентных материалов для создания высокотехнологичных конструкций и устройств в машиностроении, пьезотехнике и авиастроении" ЮФУ и плановой

НИР ЮНЦ РАН "Разработка методов моделирования динамики и концепций построения систем интеллектуального управления адаптивными композитными конструкциями применительно к проблеме повышения управляемости и живучести нового поколения отечественных вертолетов" при поддержке ОАО "Роствертол".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Sun Liangfeng* THERMAL RHEOLOGICAL ANALYSIS OF CURE PROCESS OF EPOXY PREPREG // PhD Thesis, Louisiana State University. – 2002. – 139 p.
2. *Ferry J.D.* Viscoelastic Properties of Polymers, John Wiley and Sons, New York, 2nd Ed., 1993. – P. 176.
3. *Henne M.* Modelling of Thermal Aspects in Liquid Composite Moulding for Industrial Applications // PhD Thesis, Federal Institute of Technology in Zürich. – 2003. – P. 138.
4. *Kamal M. R. and Sourour S.* Kinetics and thermal characterization of thermoset cure, Polymer Engineering and Science. – 1973. – № 13. – P. 59-64.
5. *Koorevaar A.* Fast, Accurate, Reliable 3D Reactive RTM Simulation // Proc. on the ISCM 2002 conference (Vollenhove, Nedherland May 2002), Dutch Aerospace Laboratories. – P. 12.
6. *Liang G., and Chandrashekhara K.* CURE KINETICS AND RHEOLOGY CHARACTERIZATION OF SOY-BASED EPOXY RESIN SYSTEM // Journal of Applied Polymer Science. – 2004. – Vol. 916. – P. 3513-3538.
7. *Melnik R.V.N.* Models for coupled kinetics and heat transfer in processing polymeric materials with applications to biochemical engineering // Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. – 2002. – № 10. – P. 341-357.
8. *Rocks J., Halter M., George G., Vohwinkel F.* Calorimetric and Rheological Characterization of a High Performance Epoxy Curable at Low Temperatures // Proc. on the Applied Polymeric Technology Conf., (Brisbane, Australia - 2003), Queensland University of Technology. – P. 35.
9. *Гольдман Н.Л.* Классическое и обобщенное решения двухфазной граничной обратной задачи Стефана // Вычислительные методы и программирование. – 2002. – Т. 3. – С. 133-143.
10. *Aboulaich R., Boujena S., Pousin J.A* Numerical analysis of Resin Transfer Molding // J. CONDENSED MATTER. – 2004. – Vol. 5, № 1. – P. 4-9.
11. *Svanberg J.M.* Prediction of Manufacturing Induced Shape Distortion – High Performance Thermoset Composites // PhD Thesis, University of Lulea, Sweden 2002. – P. 131.

**Дубров Виктор Викторович**

Учреждение Российской академии наук "Южный научный центр".

E-mail: aeroengdstu@list.ru.

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Чехова, 41.

Тел.: 88632509664.

**Самощенко Иван Георгиевич**

Открытое акционерное общество "Роствертол" в г. Ростов-на-Дону.

E-mail: sam\_ig@mail.ru.

344011, г. Ростов-на-Дону, пер. Братский, 144, кв. 3.

Тел.: 88632909148.

**Тонский Геннадий Николаевич**

Донской государственный технический университет в г. Ростов-на-Дону.

E-mail: toiskin\_gena@mail.ru.

344069, г. Ростов-на-Дону, ул. Таганрогская, 143/3, кв. 16.

Тел.: +79185131286.

**Флек Михаил Борисович**

Донской государственный технический университет в г. Ростов-на-Дону.

E-mail: aeroengdstu@list.ru.

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1/2.

Тел.: 88632738596.

**Шевцов Сергей Николаевич**

Южный федеральный университет в г. Ростов-на-Дону.  
E-mail: sergnshevtsov@gmail.com.  
346717, Ростовская обл., Аксайский р-н, п. Октябрьский, ул. Степная, 7.  
Тел.: 88635039432.

**Doubrov Victor Victorovitch**

Institution of Russian Academy of Science "Southern Scientific Center" at Rostov-on-Don.  
E-mail: aeroengdstu@list.ru.  
41, Tchehov street, 344006, Rostov-on-Don.  
Phone: +78632509664.

**Samochenko Ivan Georgievitch**

"Rostvertol" Helicopter Production in Rostov-on-Don.  
E-mail: sam\_ig@mail.ru.  
App. 3, 144, Bratsky street, 344011, Rostov-on-Don, Russia.  
Phone.: +78632909148.

**Toiskin Gennady Nicolaevitch**

Don State Technical University at Rostov-on-Don.  
E-mail: gena\_toiskin@mail.ru.  
App. 16, 143/3, Taganrogsкая street, 344069, Rostov-on-Don, Russia.  
Phone: +79185131286.

**Flek Michail Borisovith**

Don State Technical University at Rostov-on-Don.  
E-mail: aeroengdstu@list.ru.  
3440006, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1/2.  
Phone: +78632738596.

**Shevtsov Sergey Nicolaevitch**

Southern Federal University at Rostov-on-Don.  
E-mail: sergnshevtsov@gmail.com.  
7, Stepnaya street, Aksay region, Oktybrsky, Rostov-on-Don, 346717, Russia.  
Phone: +78635039432.

УДК 519.863

**Т.С. Юрина****ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ**

*Кратко описаны методы оценки эффективности инновационных проектов. Также рассмотрены основные характеристики, оказывающие наибольшее воздействие на результаты экспертизы. Кроме того, описан метод выбора наиболее привлекательного инновационного проекта среди имеющихся.*

*Инновации; инновационный проект; эффективность; функция полезности; функция риска.*

**T.S. Yurina****INNOVATION EFFECTIVENESS EVALUATING**

*The article describes the methods for evaluating the effectiveness of innovative projects briefly. Also, the basic characteristics, which have the greatest impact on the results of the examination, were considered. Also method for choosing the most attractive of the innovative project among the existing was described.*

*Innovation, innovative project; efficiency; the function of utility; the function of risk.*