

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вагон дизель-электростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aswn.ru/design/freightcars/izotermicheskie/powerstation>. – Дата доступа: 25.04.2013.

2 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

*A. V. PUTSIATA, E. N. KANAVALAU, V. V. BELAHUB, S. S. YAKIMOVICH*

### **BODY AND FRAME DURABILITY OF THE DIESEL ENGINE-POWER STATION CAR CONSIDERING THE ACTUAL PHYSICAL CONDITION AFTER LONG OPERATION**

The finite-element model of the diesel engine-power station car body and frame was created considering the actual condition of their elements after 25 years operation. Durability computations were performed according to standard requirements. It is installed, that obtained equivalent stress for various conditions of loading do not exceed limited values.

Получено 29.08.2013

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 7. Гомель, 2013**

---

УДК 621.763

*О. А. СУХАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель*

### **АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ**

Предложена методика конечноэлементного моделирования процессов образования изделий из волокнистых композитов. Получено распределение температуры по толщине заготовки в процессе формирования фрикционной накладке трансмиссии. Также выполнен анализ напряженно-деформированного состояния детали под действием сжимающих нагрузок.

Технический прогресс требует создания новых материалов с набором определенных свойств. Один из путей их получения связан с сочетанием нескольких разнородных веществ, например полимеров и стекловолокон. Связующим в таких композиционных материалах является непрерывная фаза (матрица), а дисперсной фазой (наполнителем) могут быть частицы или волокнистые материалы различной природы. Существенным фактором, обуславливающим применение полимерных композитов, является доступность и дешевизна составляющих их компонентов.

Основные параметры, характеризующие процессы получения армированных полимерных материалов – это давление, температура и время. Дав-

ление обеспечивает уплотнение материала и создание изделий заданной формы. Температурно-временные режимы получения деталей и изделий определяются протеканием в материале физических (кристаллизация, релаксация) и химических (реакции отверждения и сшивки) процессов. Кроме того, время процесса зависит от скорости прогрева и охлаждения перерабатываемого материала, что определяет выравнивание температуры по его толщине [1, 2].

*Температура*, как параметр и классификационный признак операций формообразования и протекающей одновременно с ними стадии консолидации зависит от типа матричного полимера, и в основном определяется химической природой связующего. Нижняя граница температуры определяет скорость пластикации (для термопластичных полимеров) или отверждения (для терморезактивных). Для каждого матричного полимера существует «окно» допустимых тепловых режимов и лежащая внутри него оптимальная температура процесса. Температура прессования должна увязываться с технологическими характеристиками пресс-материала. Время от начала загрузки материала в пресс-форму до ее смыкания должно быть меньше времени нахождения пресс-материала в вязкотекучем состоянии при заданной температуре прессования.

Наиболее часто оптимальные режимы прессования определяют, исходя из условия получения максимальной механической прочности [3, 4].

*Давление* в процессах формообразования необходимо для придания заготовке требуемой конфигурации, а также для совмещения компонентов и консолидации материала (если эти стадии протекают одновременно с формообразованием). При прессовании изделий из стекловолоконистых пресс-материалов оно способствует удалению воздуха, влаги и летучих продуктов в виде остатков растворителя и непрореагировавших мономеров из пресс-материала и его уплотнения, а также для формования изделия. Уменьшить количество летучих продуктов можно путем предварительного подогрева пресс-материала и выполнения подпрессовок при прессовании изделий [5].

*Время выдержки* определяется приближенными методами. Методики определения оптимальных параметров процесса изготовления деталей основаны на результатах экспериментов. Так, в работе Guangbo He [6] исследована кинетика отверждения фенолоформальдегидной смолы резольного типа в присутствии древесных субстратов при помощи дифференциальной сканирующей калориметрии и преобразования Фурье инфракрасной спектроскопии. Установлено, что энергия активации полимеризации фенолоформальдегидной смолы увеличивается в присутствии деревянных волокон. Дерево уменьшает энтальпию отверждения смолы путем диффузии и изменением фазы отверждения системы, а также ускоряет реакции присоединения и замедляет реакции конденсации во время процесса отверждения смолы.

Young-Kyu Lee, Dae-Jun Kim с соавторами в своей статье [7] исследовали температурный режим, кинетику термического разложения и пиролиза фе-

нольной смолы резольного и новолачного типов при различных условиях отверждения. Установлено, что чем выше молярное отношение смолы, тем ниже энергия активации реакции отверждения.

В статье X.-M. Wang исследуется прочность связи фенолоформальдегидной смолы при различных температурах и влажности [8]. Установлено, что влияние относительной влажности уменьшается по мере повышения температуры (до 140 °С). В. Г. Шевченко в своей работе рассматривает основы физики полимерных композиционных материалов, особое внимание уделено их теплофизическим свойствам [9].

В результате описанных экспериментов для некоторых композиций получены графики изменения энтальпии, которые в дальнейшем использованы в качестве исходных данных для расчетов.

Таким образом, исследованию свойств композитных материалов посвящен целый ряд научных работ. Однако расчетные зависимости, позволяющие оптимизировать процесс создания такого материала, до настоящего времени отсутствуют. Цель представленной работы состоит в том, чтобы на основе использования программного комплекса конечноэлементного анализа ANSYS рассмотреть физические процессы, происходящие при формировании деталей из композитных материалов. В качестве объекта исследования для проведения анализа была выбрана фрикционная накладка трансмиссии трактора, модель которой приведена на рисунке 1.

Процедура проведения теплового анализа содержит три основных шага:

- построение модели;
- задание граничных условий и получение решения;
- анализ результатов.

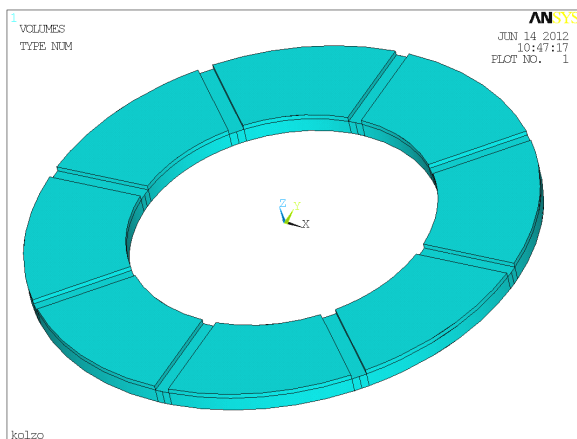


Рисунок 1 – Геометрическая модель образца

Выполнены расчеты нагрева порошка от начальной температуры окружающей среды 20 °С под действием теплоты пресс-формы, предварительно разогретой до температуры 160 °С. Определялось распределение температуры внутри массива для разных моментов времени.

Для теплового анализа было выбрано сечение с точкой, имеющей самую низкую температуру. На рисунке 2 показано распределение температуры по толщине образца на стадии плавления связующего – фенолоформальдегидной смолы. Полученные тепловые градиенты свидетельствуют о том, что нагрев элемента модели происходит постепенно, от периферии к центру.

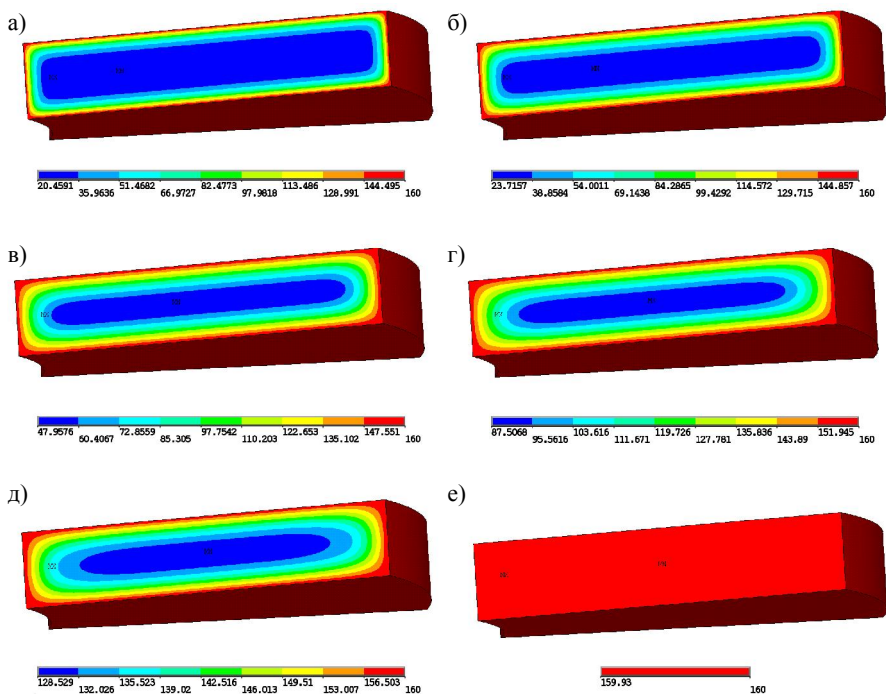


Рисунок 2 – Распределение температуры по толщине образца при  $t = 0,5$  с (а);  $t = 1$  с (б);  $t = 2,5$  с (в);  $t = 5$  с (г);  $t = 10$  с (д);  $t = 90$  с (е)

Как видно из рисунка 2, а, на первой секунде нахождения пресс-порошка в нагретой до 160 °С форме изменение температуры матрицы в наиболее удаленной от формообразующих деталей пресса точке сечения незначительно. Однако при дальнейшем нахождении материала в пресс-форме температура в этой точке сечения значительно повышается с 48 °С при  $t = 2,5$  с (рисунок 2, в) до 128,5 °С при  $t = 10$  с (рисунок 2, д).

Показательной является кривая, приведенная на рисунке 3. Ее характер свидетельствует о том, что до температуры прогрева фенолоформальдегидной матрицы  $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  зависимость  $T(t)$  близка к прямо пропорциональной. Затем происходит смена фаз матричного материала. К 30-й секунде прессования минимальная температура матрицы достигает значения  $159,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е. практически сравнивается с температурой пресс-формы.

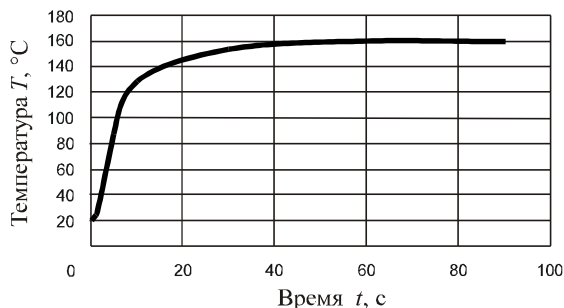


Рисунок 3 – Зависимость температуры матрицы от времени нагрева

Получен график зависимости температуры прогрева образца по толщине его сечения в различные моменты времени (рисунок 4). Так, самая холодная точка сечения достигла температуры пресс-формы  $T = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 60-й секунде прессования.

Выполненный анализ позволяет установить время, которое необходимо затратить для полного расплавления материала матрицы.

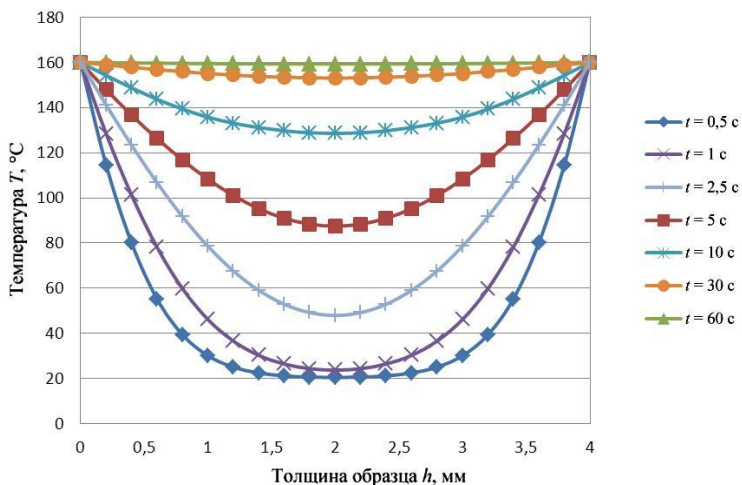


Рисунок 4 – Температуры в различные моменты времени

При прохождении реакции затвердевания тепловая энергия преобразуется в энергию образования межмолекулярных связей [10]. Однако величина отрицательного теплового потока в настоящее время может быть оценена лишь приблизительно. Плотность теплового потока принималась равной  $c = -50000; -100000; -200000$  Вт/м<sup>2</sup>.

На рисунке 5 приведены картины распределения температуры по объему рассматриваемого элемента.

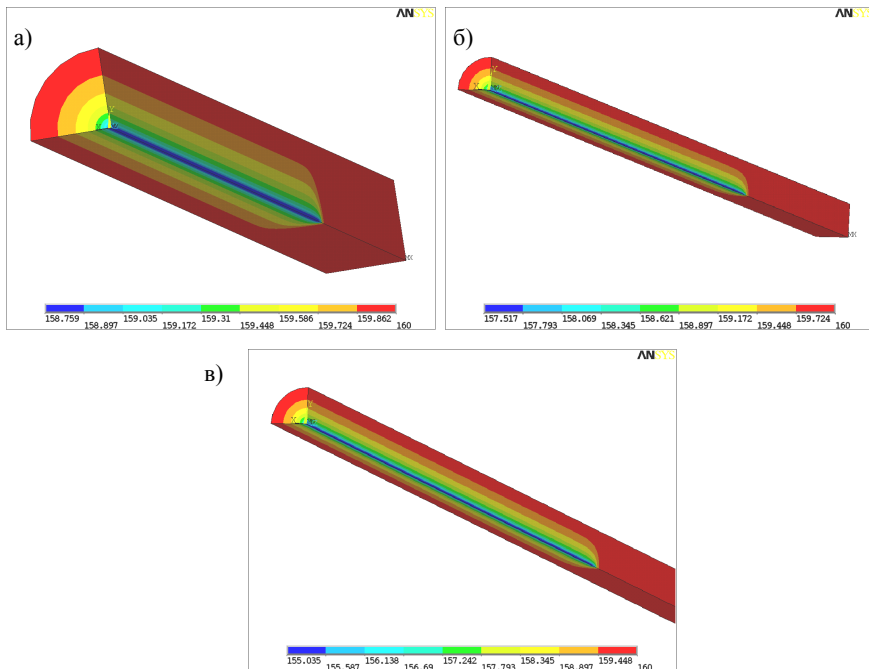


Рисунок 5 – Распределение температуры при  $c = -50000$  Вт/м<sup>2</sup> (а);  $c = -100000$  Вт/м<sup>2</sup> (б);  $c = -200000$  Вт/м<sup>2</sup> (в)

Они показывают, что интенсивное уменьшение температуры имеет место по нормали к цилиндрической поверхности волокна. В то же время отвод тепла от торцевой поверхности весьма незначителен. Это позволяет судить о направлении, по которому происходит образование твердой фазы.

На стадии образования химических швов, которую сопровождал отвод тепла от матрицы, были получены следующие зависимости, представленные на рисунке 6. Они показывают, что наиболее интенсивное снижение температуры происходит на расстояниях, не превышающих 5 диаметров волокна, таким образом может быть рассчитана минимальная концентрация волокон, при которой материал затвердевает практически равномерно.

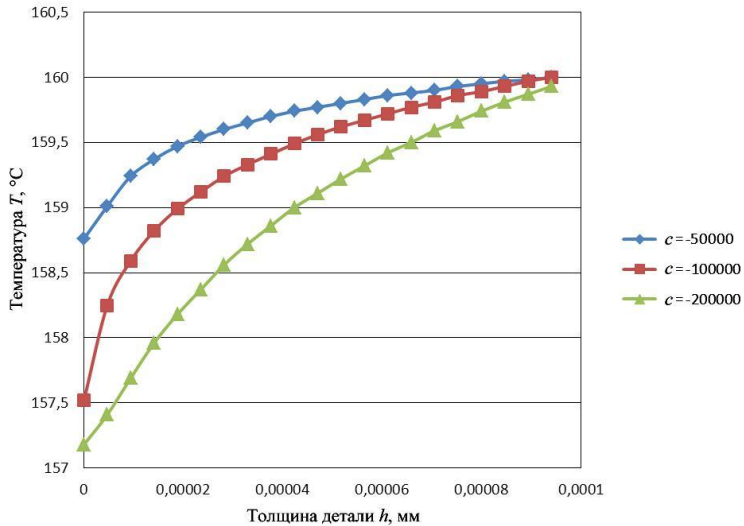


Рисунок 6 – Температура в матрице при разных значениях теплового потока

Выполнен анализ прочности изделия под действием давления 30 кПа, которое соответствует реальным условиям прессования. На рисунке 7 приведена схема распределения эквивалентных напряжений, из которой следует, что наибольшее напряжение имеет место в области ребра выемки. Именно в этих местах может наступать растрескивание детали. Для обеспечения прочности, целесообразно в пресс-форме предусмотреть в указанной области наличие переходной цилиндрической поверхности.

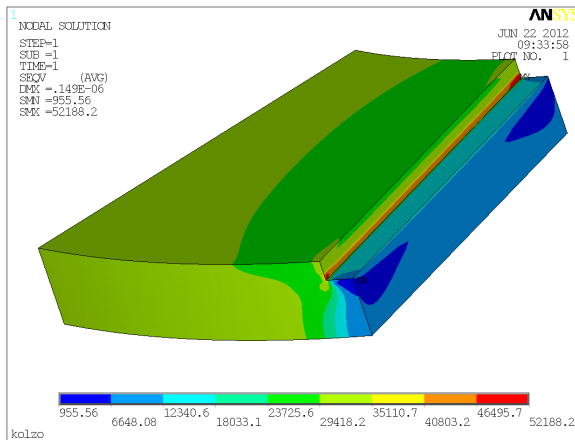


Рисунок 7 – Схема распределения эквивалентных напряжений

Таким образом, в ходе выполнения работы получены следующие основные результаты:

1 Выполнено конечноэлементное моделирование процесса плавления пресс-порошка в нагретой форме под давлением. Показано, что на основе выполненного анализа может быть теоретически установлена длительность прогрева материала до требуемой температуры.

2 Предложен метод конечноэлементного анализа процесса отверждения матрицы композита, основанный на анализе понижения температуры внутри матрицы вследствие затрат энергии на образование сетчатой структуры матрицы. Продемонстрировано, что по анализу температурных зависимостей возможно установление минимального расстояния между волокнами, при котором отверждение материала будет близким к равномерному.

3 Выполнен анализ прочности накладки под действием сжимающих напряжений.

Полученные результаты могут стать основой для оптимизации процесса формирования различных деталей, изготовленных из полимерных композитов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Белозеров, Б. П.** Свойства, технология переработки и применение пластических масс и композиционных материалов / Б. П. Белозеров, В. В. Гузеев. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 224 с.

2 **Перепелкин, К. Е.** Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства. Ч. 1. Основные компоненты волокнистых композитов, их взаимодействие и взаимовлияние / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2005. – № 4. – С. 7–22.

3 **Дедюхин, В. Г.** Прессованные стеклопластики / В. Г. Дедюхин, В. П. Ставров. – М.: Химия, 1976. – 272 с.

4 **Дедюхин, В. Г.** Технология прессования и прочность изделий из стеклопластиков / В. Г. Дедюхин, В. П. Ставров. – М.: Химия, 1968. – 135 с.

5 **He, Guangbo.** Curing kinetics of phenol formaldehyde resin and wood-resin interactions in the presence of wood substrates / Guangbo He, Bernard Riedl // Wood Science and Technology. – 2004. – № 1. – P. 69–81.

6 **Activation Energy and Curing Behavior of Resol- and Novolac- Type Phenolic Resins by Differential Scanning Calorimetry and Thermogravimetric Analysis / Y.-K. Lee [et al.]** // Journal of Applied Polymer Science. – 2003. – Vol. 89. – P. 89–93.

7 **The effects of temperature and humidity on phenol- bonding / X.-M. Wang [et al.]** // Wood Science and Technology. – 1995. – № 29. – P. 253–266.

8 **Шевченко, В. Г.** Основы физики полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / В. Г. Шевченко; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – М.: МГУ им М. В. Ломоносова, 2010. – 100 с.

9 **Квиклис, А.-Й.** Наполненные полимерные системы и их свойства / А. Й. Квиклис, Р. Левинкас. – Каунас: Литовский энергетический ин-т, 2004. – 192 с.



10 **Hull, D.** An Introduction to Composite Materials. – Cambridge University Press, 1981. – 346 p.

*O. A. SUKHANOVA*

## **ANALYSIS OF THERMAL PROCESSES AND STRESSES DURING FIBER COMPOSITES PRESSING**

The technique of fibrous composites formation finite element modeling was proposed. It was obtained the distribution of temperature through the thickness of the billet during the transmission friction lining formation. The analysis of the stress-strain state of the detail under compressive loads was also performed.

Получено 28.08.2013

**ISSN 2227-1104. Mechanics. Scientific researches and methodical development.  
Vol. 7. Gomel, 2013**

---

UDC 658.51

*P. TREBUŇA, M. KLIMENT, M. FILO, J. MARKOVIČ, J. HALČINOVÁ*  
*Technical University of Košice, Slovakia*

## **PLM SYSTEMS, THEIR HISTORY AND APPLICATION TODAY IN BUSINESS PROCESS MODELING**

The paper deals with product lifecycle management (PLM) systems, their historical development, the first beginnings that were formed easier to databases and archives data, through combining different systems into product data management (PDM) systems to the creation of a comprehensive PLM as we know it in the present form. It also shows on the functioning of PLM systems in currently and discusses some of the providers in the business field in the modeling manufacturing processes. In conclusion, a simple simulation of inter area traffic on automated workplace is shown. This simulation is created using Plant Simulation module from the system set of Tecnomatix products, which is the provider of Siemens PLM Software. This system portfolio and its modules span the completely entire area of PLM and data management in this area.

**Introduction.** First hints of the need to manage data and information on the product occurred in 80th of the 20 Century, when it CAD systems began deploying. This fact allowed to increase productivity and to reduce costs in production processes. At the same time, but problems arose with the report's data. For this need there were established the so-called PDM systems used for data management. So, the link between the individual components in organizations appeared. And connected the projection sections with the administrative part of the company, which deal with involved in management, information and data. The level of these systems depends on the speed and capacity of firms to introduce new products to market.