

УДК 614.8

*П.А. Билым, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ,
А.П. Михайлюк, канд. хим. наук, доцент, профессор, НУГЗУ,
К.А. Афанасенко, преподаватель, НУГЗУ
Калябин Ю.И., преподаватель, НУГЗУ*

К ВОПРОСУ МАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗУПРОЧНЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА

(представлено д-ром техн. наук Калугиным В.Д.)

В работе проведена оценка изменений характеристик прочности стеклопластика с применением принципа моделирования тепловых состояний с определением нагрузки, вызывающей разрушение материала определенного размера на начальной стадии медленно развивающегося пожара.

Ключевые слова: стеклопластик, критерии подобия, несущая способность.

Постановка проблемы. Сочетание высоких механических свойств стеклопластиков с их легкостью, низкой теплопроводностью позволяет с успехом использовать их в теплоизолирующих конструкциях, кратковременно работающих при высоких температурах. Однако внедрение этих материалов для высоконагруженных конструкций сопряжено с решением ряда технических задач, одной из которых является обеспечение их пожарной безопасности. При учете достаточно низкого уровня возгораемости, по сравнению с основными видами полимерных и композиционных материалов, традиционным стеклопластиком (их конструкциям) не свойственно в условиях развития пожара длительно сохранять несущую способность. Применение специальных связующих решает эту задачу, обеспечивая сохранение несущей способности на начальной стадии развития пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Попытки создать аналитические методы расчета несущей способности указанных материалов сталкиваются со значительными трудностями, связанными со сложностью построения физической модели процесса разупрочнения стеклопластиков в условиях интенсивного неустановившегося нагрева (пожара) и решения системы уравнений, достаточно полно описывающих физико-химические процессы, происходящие в изучаемом объекте, а также с отсутствием данных о температурной зависимости теплофизических и механических характеристик полимерных материалов.

Известно, что в изучении вопросов несущей способности конструкций при нестационарном нагреве весьма перспективным направлением является применение методов теории подобия [1]. Такой инженерный подход позволяет при ограниченном объеме эксперимента получать общие закономерности разупрочнения исследуемых образцов.

В работе [2] несущая способность конструкции рассматривалась как функция критериев, определяющих подобие температурных полей. Для линейного режима изменения температуры нагреваемой поверхности пластины толщиной δ приняты следующие критерии:

критерий Фурье $F_o = \frac{a_o \tau}{\delta^2}$, представляющий собой безразмерное время

нагрева и критерий Предводителя $Pd = \frac{b \delta^2}{a_o T_o}$, характеризующий

безразмерную скорость нагрева, где T_o - начальная температура; b - скорость нагрева, $b = \frac{T - T_o}{\tau}$ (τ - время нагрева); δ - толщина пластины,

α_o - коэффициент температуропроводности при $T = T_o$. По результатам многочисленных экспериментов, выполненных на плоских образцах, было установлено, что эти критерии однозначно определяют несущую способность исследованных объектов. Данный подход к изучению несущей способности конструкций из стеклопластика при нестационарном нагреве дает возможность устанавливать общие закономерности разупрочнения при ограниченном объеме выполненных экспериментов. Так, в работе [3] на примере проведенных экспериментальных исследований несущей способности стеклопластика в условиях нестационарного нагрева показана возможность распространения результатов испытаний на широкий диапазон режимов его нагрева. Следует отметить, что авторами был выбран материал на основе традиционного связующего – эпоксифенольной смолы. Поведение последнего в ходе одностороннего нагрева характеризуется размягчением по достижении температуры стеклования с последующим набором жесткости, главным образом, за счет коксования приповерхностного слоя.

В ходе предварительных исследований нами был разработан эпоксидный компаунд на основе динафтаденового производного, который при нагреве (в диапазоне умеренных температур) обеспечивал минимальное размягчение материала. В целом такое поведение должно положительным образом влиять на сохранение несущей способности нагруженных конструкций при экстремальных тепловых воздействиях [4].

Постановка задачи и ее решение. В связи с особым отличием предложенного связующего в работе поставлена задача оценить из-
К вопросу масштабного моделирования разупрочнения стеклопластика на начальной стадии 19
пожара

менение характеристик его прочности с применением принципа моделирования тепловых состояний с определением нагрузки, вызывающей разрушение материала определенного размера.

Образцы размером 100 x 10 и толщиной от 2 до 10 мм вырезали из листов стеклопластика, полученных методом автоклавного формования. Испытания образцов при изгибе проводили по стандартной схеме действия на разрывной машине Р-5, которая предназначена для статических испытаний пластмасс по ГОСТ 1497-89. Образцы из стеклопластика (стеклотекстолита) на основе рассматриваемого связующего подвергали одностороннему нагреву путем непосредственного пропуска электрического тока через поверхностный слой. Последний представлял собой двухслойную ленту ЛУ-2, которая отформовывалась вместе с препрегом соответствующего композита. Несущую способность образцов оценивали временем до их разрушения при действии постоянной во времени изгибающей нагрузки и нарастании температуры на нагреваемой поверхности в режимах, близких к условиям медленно развивающегося пожара. Скорость нарастания температуры задавалась путем подбора напряжения на углеленту через лабораторный автотрансформатор. При этом скорость выбиралась такой, что на образцах различной толщины выполнялось условие $Pd = \frac{b\delta^2}{\alpha_0 T_0} = idem$. Величина α_0 принималась равной 0,35 мм²/с. а $T_0 = 293$ К.

Эксперименты проводили при безразмерной скорости нагрева $Pd = 0,37$, при этом абсолютная скорость нагрева образцов изменялась от 0,4 до 9,5 град/сек. При каждом значении $Pd = const$ было испытано по 5 образцов толщиной 2, 5, 7,5 и 10 мм. При комнатной температуре величина удельной прочности на изгиб указанных образцов составляла $\sigma_0(T_0) \sim 250$ Мпа.

Температурное распределение в образце определялось при помощи платино-платинородиевых термопар. Ведущая термопара, по результатам показаний которой осуществлялась программа нагрева, устанавливалась между углелентой и стеклопластиком.

Результаты испытаний несущей способности образцов при различных режимах одностороннего нагрева представлены на рисунке в виде зависимости $\sigma(T) / \sigma_0(T_0) = f(F_0, Pd)$, где $\sigma(T)$ – интенсивность внешней изгибающей нагрузки при некотором температурном поле образца.

Анализируя полученные экспериментальные зависимости, можно отметить, что экспериментальные точки, характеризующие уровень относительной прочности образцов различной толщины при одном и том же значении безразмерной скорости нагрева $Pd = idem$, в пределах разброса, оцениваемого неоднородностью материала, укла-

дываются на одну кривую. В тоже время, абсолютная долговечность (время до разрушения) для образцов различной толщины отличается примерно в 50 раз.

Таким образом, несущая способность образцов стеклопластика в исследованном диапазоне скоростей нагрева с достаточной степенью точности может быть определена критериями, характеризующими безразмерное время нагрева $F_o = \frac{a_o \tau}{\delta^2}$ и условия теплообмена на нагреваемой поверхности, в данном случае $Pd = \frac{b \delta^2}{a_o T_o}$. Этот факт указывает на возможность масштабного моделирования процессов разрушения конструкций из стеклопластиков на основе связующих, склонных к интенсивным пиролизическим превращениям в условиях нестационарного нагрева.

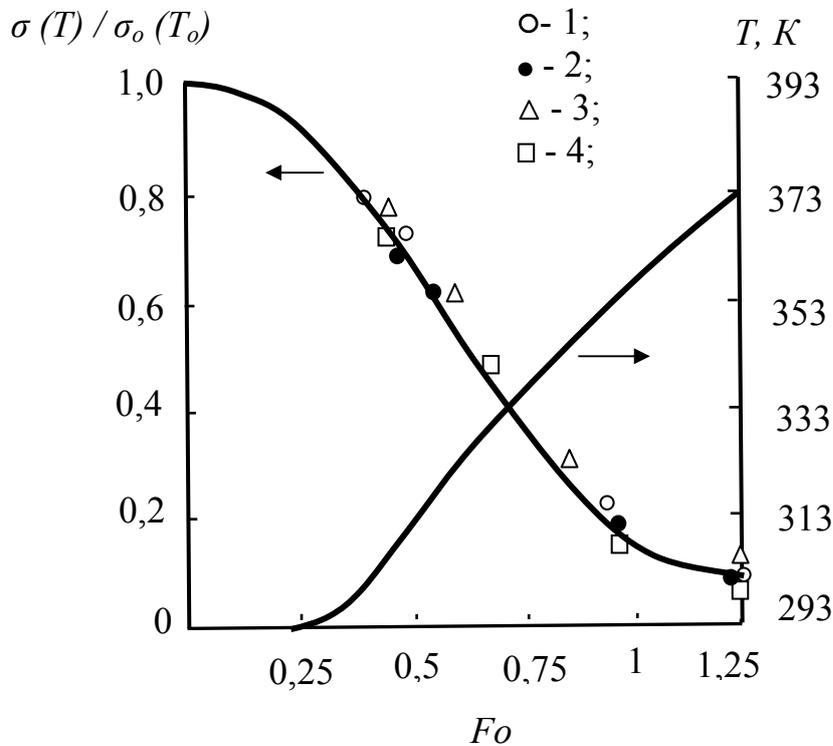


Рис. 1 – Зависимость разупрочнения стеклопластика при одностороннем нестационарном нагреве ($Pd = 0,37$): 1 - $\delta = 2$ мм; 2 - $\delta = 5$ мм; 3 - $\delta = 7,5$ мм и 4 - $\delta = 10$ мм

Окончательное подтверждение о возможном масштабном моделировании несущей способности конструктивных элементов (образцов) для данного вида стеклопластиков требует проведения дополнительных испытаний при варьировании безразмерной скорости нагрева и получения обобщенных экспериментальных зависимостей разупрочнения при одностороннем нестационарном нагреве.

Выводы. Предлагаемый метод, в основу которого положено определение зависимости несущей способности материала от критериев теплового подобия, позволяет при единичных испытаниях с достаточной степенью точности сопоставить величины относительной прочности армированных пластиков от их размера. При этом следует подчеркнуть, что несущая способность образцов, выполненных на данном полимерном связующем, представляет собой частный вид функции критериев подобия, рассчитанных по времени и скорости нагрева в условиях режима медленно развивающегося пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачева Л.И. Термическое деформирование и работоспособность материалов тепловой защиты. – Киев: Наук. думка, 2006. – 294 с.
2. Димитренко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. – М.: Машиностроение, 1997. – 367 с.
3. Третьяченко Г.Н., Грачева Л.И., Термическое деформирование неметаллических деструктирующих материалов : [учебное пособие]. – К.: Наук. думка, 1983. – 248 с.
4. Билым П.А. Особенности высокотемпературного структурирования полимерных связующих стеклопластика на начальной стадии развития пожара. / Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 25 – 31.
nuzh.edu.ua

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, Ю.І. Калябін

До питання масштабного моделювання руйнування склопластику на початковій стадії пожежі

В роботі проведена оцінка зміни характеристик міцності склопластику із застосуванням принципу моделювання теплових станів із визначенням навантаження, що викликає руйнування матеріалу визначеного розміру на початковій стадії пожежі, що повільно розвивається.

Ключові слова: склопластик, критерії подібності, несуча спроможність.

Bilym P., Mikhailyuk A., Afanasyenko K. Kalyabin U.

To question of scale design of fiberglass destruction on the initial stage of fire.

The estimation of fiberglass durability descriptions changes is In-process conducted with the use of principle of design of the thermal states with determination of loading, defiant destruction of material of certain size on the initial stage of slow developing fire.

Keywords: fiberglass, criteria of similarity, bearing ability.