

*П.А. Билым, канд. хим. наук, доцент, НУГЗУ,  
А.П. Михайлюк, канд. хим. наук, доц., профессор, НУГЗУ,  
К.А. Афанасенко, преподаватель, НУГЗУ,  
В.В. Олейник, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры, НУГЗУ*

## **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ В УСЛОВИЯХ ОДНОСТОРОННЕГО НАГРЕВА В РЕЖИМЕ МЕДЛЕННО РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ ПОЖАРА**

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

По данным физико-механических исследований в условиях одностороннего нагрева установлено, что повышение несущей способности композита на начальных стадиях развития пожара обусловлено прохождением пиролитических превращений и образованием прококсованной зоны в материале.

**Ключевые слова:** стеклопластик, огневые испытания, несущая способность.

**Постановка проблемы** Известно, что реальные условия работы высокотемпературных полимерных композитов характеризуются резкой неравномерностью температур по их толщине, вызванной односторонним нагревом. Действие последнего на конструкционные материалы характерно для такого экстремального теплового воздействия, как пожар. Причем, основное восприятие такого теплового воздействия от источника открытого пламени характерно для начальной стадии развития пожара, при которой материал конструкции быстро теряет несущую способность.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследованиями установлено, что в течение процесса нарастания температуры в режиме стандартного пожара связующее в объеме стеклопластика претерпевает структурные превращения, переходя в высокоэластическое состояние, и механическое разрушение композита можно рассматривать с позиций ухудшения адгезионного контакта между стекловолокном и размягченной полимерной матрицей [1]. Разрушение образца стеклопластика характеризуется сильно развитым прогибом при испытаниях на изгиб. В этом случае связующее, вследствие размягчения, приобретает пластичность и частично утрачивает «цементирующие» свойства.

Анализ [2], показывает, что можно выделить два фактора, которые будут определять степень сохранения этих свойств. Во-первых, степень прогрева материала, которая количественно характеризует долю размягченного связующего. И, во-вторых, возможные

пиролитические превращения, которые наряду с размягчением связующего одновременно сопровождаются частичной деструкцией и реакциями поликонденсационного уплотнения (химической сшивки).

**Постановка задачи и ее решение.** Учитывая особенности поведения полимерных материалов при экстремальных тепловых воздействиях в работе поставлена задача по изучению прогрева композита в условиях одностороннего нагрева и оценке его несущей способности. Поскольку фиксация показателей упругости материала требует проведение эксперимента в более равновесных условиях, скорость нагрева должна быть низкой. Подходящим для этих целей является метод испытаний композита при условии его нагрева в режиме медленно развивающегося пожара.

Наиболее полное представление о механических характеристиках образца в каждый момент времени при нарастании температуры могут дать результаты испытания, которые строго фиксировались во времени и проводились с максимально допустимой при статических испытаниях армированных пластиков скоростью деформирования [3]. Применяя высокую скорость деформирования можно свести к минимуму фиксированное время деформирования и разрушения образца и получить значения несущей способности, наиболее точно соответствующие ее мгновенным значениям. В этом случае в течение времени, необходимого для деформирования и разрушения образца, можно пренебречь изменением его геометрии и размеров, а также изменением упругих постоянных по сечению. Важность последнего обстоятельства вызвана основной особенностью поведения полимерных или композиционных материалов на их основе при разрушении. Так, при комнатной температуре, а в большей мере при повышенной, материал в процессе разрушения претерпевает структурные и фазовые превращения, а в таком случае механическое разрушение можно рассматривать как термическую деструкцию, активированную механическим напряжением [4]. По существу, разрушается не исходный полимер, а материал иной структуры, обладающий другими свойствами, по сравнению с начальными. Поэтому, для уменьшения влияния этих превращений и рекомендуется применять скорости деформирования в пределах от 1,5 до 5 мм/сек.

Испытания проводились на разрывной машине Р-5, которая предназначена для статических испытаний пластмасс по ГОСТ 1497-89. Разрывная машина оснащена электроприводом для регулирования скорости разрыва. При испытаниях всех исследуемых образцов стеклопластика скорость ползуна составляла 100 мм/мин (~1,6 мм/сек).

Образцы из стеклотекстолитов на основе рассматриваемых связующих подвергали одностороннему нагреву путем непосредственного пропускания электрического тока через поверхностный слой (углеленту ЛУ-2).

Полученные данные о распределении температуры по глубине пластика указывают на сохранение достаточно заметного градиента температур по образцу. Воспользовавшись этой особенностью, при условии, что не нагретые слои материала сохраняют начальную прочность и жесткость, можно дать количественную оценку величины остаточной прочности исходя из условий прогрева образца.

Для фиксации мгновенных значений несущей способности образца нагрев и нагружение производились не одновременно, поскольку на процесс теплового разрушения может оказывать влияние также и внешнее силовое поле. Поэтому образец нагревался в течение фиксированного времени по программе режима медленно развивающегося пожара, после чего нагрев отключали и начинали нагружение спустя приблизительно 1-3 сек. За это время изменение температуры образца по его сечению, а также изменение механических свойств в результате охлаждения и выравнивания температур будут несущественными и их влиянием на показатели прочности и деформативности можно пренебречь.

Сравнительная оценка несущей способности образцов из стеклопластика в условиях нарастания температуры при чистом изгибе с достаточной для практики точностью может быть дана с помощью метода, использующего понятие «мгновенное равнопрочное сечение» [5]. Допускается предположение о справедливости зависимости

$$\sigma_0 = \frac{M_{\text{изг}}}{W}$$
 для стеклопластиков при испытаниях на статический изгиб, то есть предположение о линейном распределении нормальных напряжений по сечению образца.

Предполагаем, что образец испытываемого пластика в условиях одностороннего нагрева имеет такую же прочность при изгибе в любой момент времени, как и фиктивный образец с неизменными прочностными свойствами по сечению, но с переменной высотой  $h_n$  сечения, причем высота  $h_n$  фиктивного образца изменяется таким образом, что его несущая способность в любой момент времени остается равной несущей способности испытываемого образца стеклопластика. По существу, несущее сечение реального образца мы заменяем равнопрочным сечением со свойствами исходного материала. Основное свойство мгновенного равнопрочного сечения – предел прочности при статическом изгибе  $\sigma_0$  остается постоянным [6].

Получая по экспериментальным данным значение разрушающего изгибающего момента и полагая  $\sigma_0 = \text{const}$ , можно определить мгновенное значение момента сопротивления равнопрочного сечения в любой момент времени для применяемого в эксперименте режима нагрева:

$$W = \frac{M_{\text{изг}}}{\sigma_0}. \quad (1)$$

При постоянной ширине испытуемого образца ( $b = \text{const}$ ) можно определить высоту  $h_{\text{п}}$  равнопрочного сечения прямоугольной формы:

$$h_{\text{п}} = \sqrt{\frac{6W}{b}} = \sqrt{\frac{6M_{\text{изг}}}{\sigma_0 b}}. \quad (2)$$

Более наглядной характеристикой снижения несущей способности образца является «потеря размера»  $\delta_{\text{п.р.}}$ , представляющая собой разность между первоначальной высотой сечения  $h_0$  и мгновенной высотой равнопрочного сечения  $h_{\text{п}}$ :

$$\delta_{\text{п.р.}} = h_0 - h_{\text{п}} \quad (3)$$

Исходя из полученных экспериментальных данных и проведя соответствующий расчет, были построены зависимости величины потери размера образца от времени действия нагрева в режиме медленно развивающегося пожара. Падение несущей способности связано с уменьшением зоны непожаренного материала и с необратимостью эффектов непосредственного теплового воздействия, снижающего механические свойства и разрушающего пластик. Судя по представленным данным (см. рис. 1), армированные системы на основе предложенного эпоксинафталяенового связующего проявляют заметную склонность к сохранению несущей способности по сравнению с композитом на основе бромсодержащего связующего. Поскольку зоны прогрева по глубине исследуемых стеклопластиков практически совпадают, есть основания полагать, что эффективные упругие постоянные в зонах обугливания, пиролиза и размягчения для эпоксинафталяенового связующего должны быть выше по сравнению с полимерной связкой на основе бромсодержащего олигомера.

Потеря размера и глубина термолита стеклопластика как величины одного порядка отражают сущность различных процессов и по абсолютной величине различны. Так, величина потери размера, определенная и рассчитанная по приведенной выше методике, учитывает изменение не только прочностных свойств как перерожденного (частично прококсованного), так и неперерожденного материала, но и наличие термических напряжений и внутреннего давления газообразных продуктов пиролиза органической связки пластика [7].

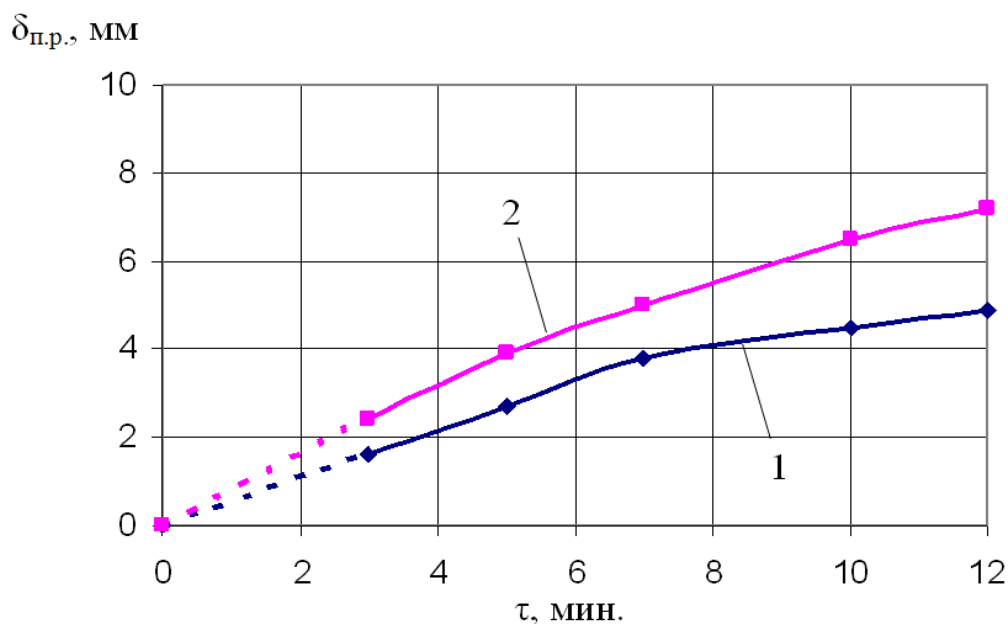


Рис. 1. – Зависимость величины потери размера  $\delta_{п.р.}$  для образца стеклопластика от времени нагрева в режиме медленно развивающегося пожара. Связующее на основе: 1 – эпоксидированного динaftола; 2 – бромсодержащего олигомера

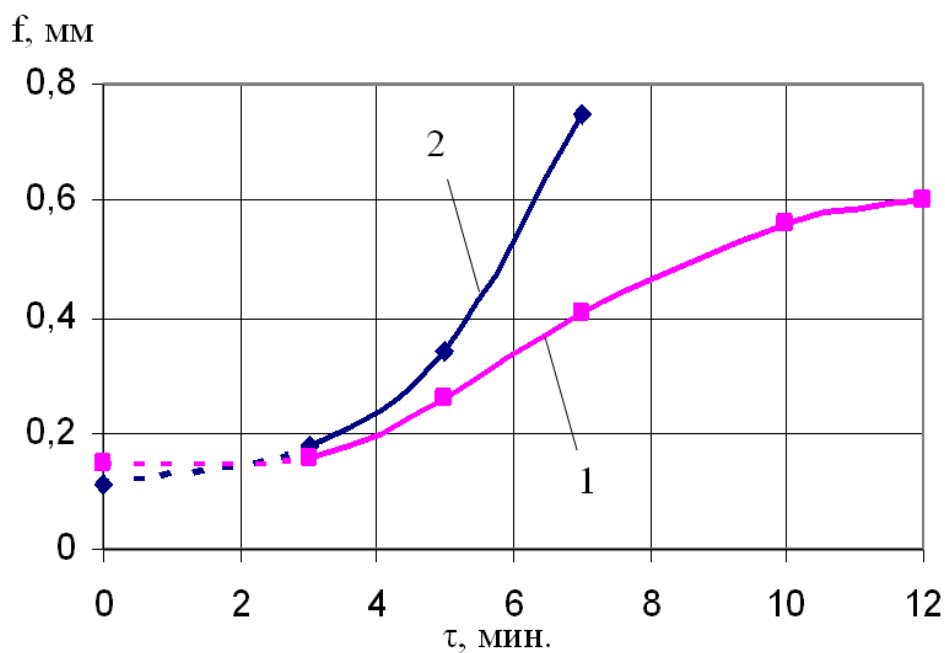


Рис. 2. – Зависимость деформативности от времени нагрева в режиме медленно развивающегося пожара. Связующее на основе: 1 – эпоксидированного динaftола; 2 – бромсодержащего олигомера

Рис. 2 иллюстрирует общие закономерности в изменении деформативности образцов слоистых пластиков на основе исследуемых

связующих. Деформативность в данном случае определяли по величине прогиба образца на участке чистого изгиба при нарастании температуры в режиме медленно развивающегося пожара. Сравнительный анализ полученных кривых указывает на интенсивное размягчение связующего на основе бромсодержащего олигомера. Видно, что прогиб  $f$ , характеризующий деформативность материала, под действием высокоскоростного нагружения начинает быстро возрастать на пятой минуте огневых испытаний. В то же время, для композита на основе эпоксиэфталенового связующего на рис. 1 и рис. 2 наблюдаются аналогичные зависимости величины потери размера и деформативности от времени развития пожара.

### **Выводы.**

1. Деформативность стеклопластика в условиях интенсивного одностороннего нагрева существенно не отличается от той, которая наблюдалась при изучении долговечности при стандартных огневых испытаниях [1]. В целом, при интенсивном нагреве форсируются процессы теплового разрушения стеклопластиков. Главным образом, это происходит благодаря размягчению связующего, его деполимеризации и возможного прохождения пиролитических превращений.

2. Исследования показали, что применение связующего на основе эпоксидированного динафтола приводит к повышению несущей способности композита на начальных стадиях развития пожара. Одним из возможных вариантов интерпретации полученных результатов может являться способность связующего к интенсивным пиролитическим превращениям в условиях развития пожаров с образованием прококсованной зоны в материале. Поскольку кокс может занимать большую часть пиролизованного образца и, естественно, обладать некоторой прочностью, закономерности его образования представляют интерес при анализе причин повышения несущей способности композитов при их нагреве в условиях развития пожара.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Билым П.А. Изменение прочности и деформирование конструкционных стеклопластиков при нагреве в условиях развития стандартного пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 18 - 24.

2. Билым П.А. Особенности высокотемпературного структурирования полимерных связующих стеклопластика на начальной стадии развития пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 25 - 31.

3. Прочность материалов и элементов конструкций в экстремальных условиях. В 2-х т. / Под ред. Г.С. Писаренко. – Т. 2. – К.: Наук. думка, 1980. – 771 с.

4. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Бартенев Г.М. – М.: Химия, 1984. – 280 с.

5. Исаханов Г.В. Прочность неметаллических материалов при неравномерном нагреве / Исаханов Г.В. – К.: Наук. думка, 1971. – 176 с.

6. Ляшенко Б.А. К определению механических свойств слоистых пластиков в условиях одностороннего поверхностного нагрева / Б.А. Ляшенко, Г.С. Писаренко, Г.В. Исаханов // Термопрочность материалов и конструкционных элементов: Сб. научн. трудов. – К.: Наук. думка. 1969. – С. 106 – 112.

7. Мэтью. Механическое растрескивание коксующихся разрушающихся материалов в высокотемпературном потоке // Ракетная техника и космонавтика. – 1964, № 9. – С. 133 – 141.

nuczu.edu.ua

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.В. Олійник

**Несуча спроможність склопластиків в умовах одностороннього нагріву в режимі пожежі, що повільно розвивається.**

За даними фізико-механічних досліджень в умовах одностороннього нагріву встановлено, що підвищення несучої спроможності композиту на початкових стадіях розвитку пожежі обумовлено проходженням піролітичних перетворень і утворенням прококсованої зони в матеріалі.

**Ключові слова:** склопластик, вогневі випробування, несуча спроможність.

P.A. Bilim, O.P. Mykhailuk, K.A. Afanasenko, V.V. Oleynik

**Carrying capacity of Plastics under unilateral heating mode of fire that is slowly developing.**

According to the physical and mechanical studies in unilateral heating revealed that the increased load capacity of the composite in the initial stages of a fire caused by the passage of reforms and the emergence pyrolytic overcoking zone in the material.

**Keywords:** fiberglass, fire test, bearing capacity.