

*К.А. Афанасенко, преподаватель, НУГЗУ,  
А.П. Михайлюк, к.х.н., доцент, профессор каф., НУГЗУ,  
В.А. Собина, к.т.н., ст. преподаватель, НУГЗУ*

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА ПОЛИМЕР-ВОЛОКНО** (представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

Рассмотрено предварительное разрушение адгезионных контактов при температурном воздействии пожара, которое влечет за собой расслоение стеклопластиков. Доля сохранных контактов обеспечивает уровень остаточной прочности композита в зависимости от сил сцепления на границе раздела полимер-волокно.

**Ключевые слова:** прочность стеклопластика при неравномерном температурном воздействии, адгезионная прочность, адгезионный контакт.

**Постановка проблемы.** Известно, что прочность стеклопластиков в значительной мере определяется совместной работой стеклянных волокон и прослойки полимерного связующего. В основе методов определения упругих постоянных материала и расчетов на прочность лежит представление о том, что стеклопластики на всех стадиях нагружения ведут себя как сплошной монолитный материал, а механизм передачи усилий в системе полимер – стекло не зависит ни от способа приложения нагрузки, ни от ее относительной величины [1].

Гипотеза о сплошности армированных пластиков постоянно нуждается в экспериментальной и теоретической проверке. В особенности это касается композиционных материалов, выполняющих роль несущих конструкций, которые по ряду возникающих экстремальных условий эксплуатационного характера должны отвечать требованиям по огнестойкости.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Опыт эксплуатации деталей и конструктивных элементов из стеклопластиков и результаты ряда исследований опровергает предположение об абсолютной монолитности материала на всех стадиях нагружения. Основным доводом в пользу данного обстоятельства исследователи видят в том, что при испытаниях на разрушение в полимерной матрице возникают напряжения, полимерное связующее растрескивается и теряет прочность задолго до того, как стеклянные волокна примут на себя полную нагрузку [2].

Нарушение монолитности отчетливо проявляется при построе-

нии кривых деформирования стеклопластиков при одностороннем нагреве в условиях медленно развивающегося пожара [3]. Изменение модуля упругости, характерное для многих материалов, является косвенным свидетельством о нижней границе трещинообразования.

**Постановка задачи и ее решение.** В данной работе поставлена задача по определению уровня начальной нагрузки, при которой ориентированный стеклопластик ведет себя как сплошной монолитный материал, оценить, как влияют появившиеся внутренние трещины на прочностные и деформационные свойства и какова роль адгезионного взаимодействия в данных процессах.

Экспериментальная проверка сплошности материала обычно осуществляется при помощи измерения водопоглощения у образцов, предварительно нагруженных до разных уровней. В качестве примера были взяты образцы стеклопластика разной толщины на основе стеклоткани и полиэпоксидных связующих [4]. Образцы были подвергнуты полному циклу нагрева при стандартном пожаре в течение 15 минут с последующим охлаждением в стендовой печи до 20 °С. Исходная нагрузка на образцы стеклопластика, на основе бромсодержащего связующего и связующего на основе эпоксидированного динафтола, составляла 50 МПа.

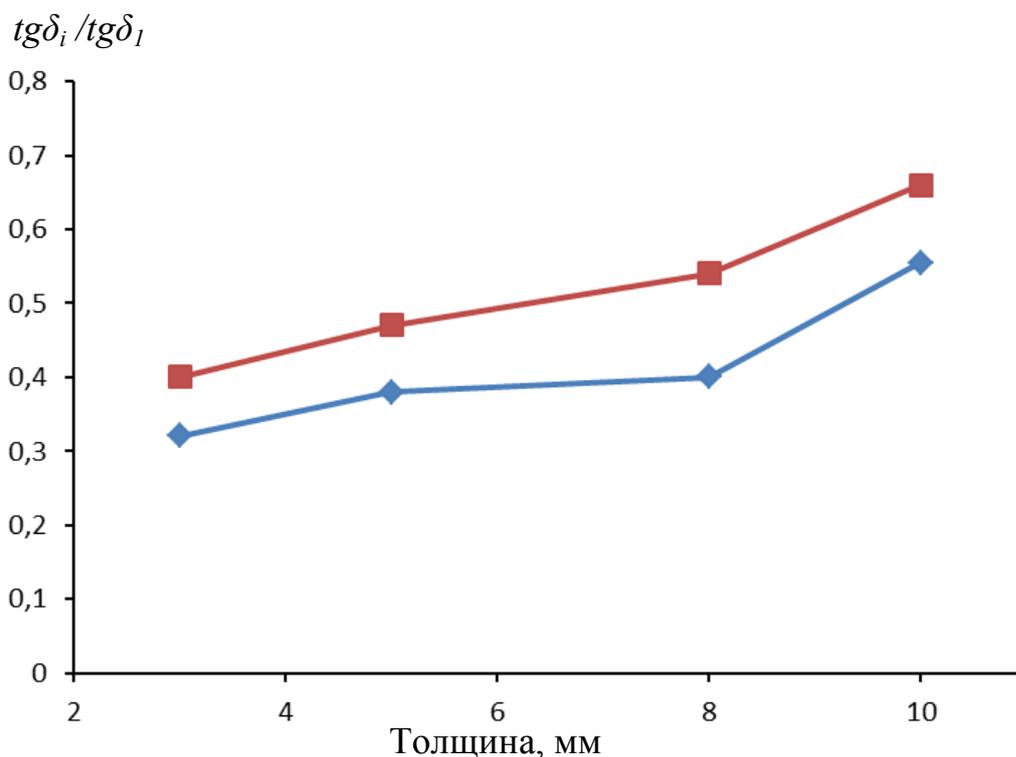
Общей закономерностью для образцов является повышение водопоглощения с увеличением толщины образца и длительности его выдержки в воде при нормальных условиях. Такая зависимость дает наглядное представление о достаточно близком уровне дефектности (пористости) исследуемых композитов. Если объем поглощенной жидкости отнести к объему образца, то легко установить, что трещины возникли в практически незначительной части объема.

Для экспериментальной проверки границы сплошности могут быть использованы и идеи конструкционного демпфирования [5]. Если пластик остается монолитным на всех стадиях нагружения и не происходит среза адгезионных связей, то величина рассеянной энергии при свободных затухающих колебаниях балки или вынужденных колебаниях консольно закрепленного образца из стеклопластика должна оставаться постоянной и не зависеть от степени предварительного нагружения материала. Хотя адгезионные участки небольшие, это должно найти отражение в релаксационном спектре вынужденных колебаний образца из стеклопластика.

Характерные кривые, иллюстрирующие изменение степень механических потерь вынужденных резонансных изгибных колебаний в зависимости от толщины нагруженного образца, представлены на рис. 1.

Судя по расположению кривых, стеклопластик на основе эпоксидированного динафтола имеет большее число разорванных адгезионных связей на границе раздела полимер-волокно. Однако, данный факт противоречит повышенному значению остаточной прочности

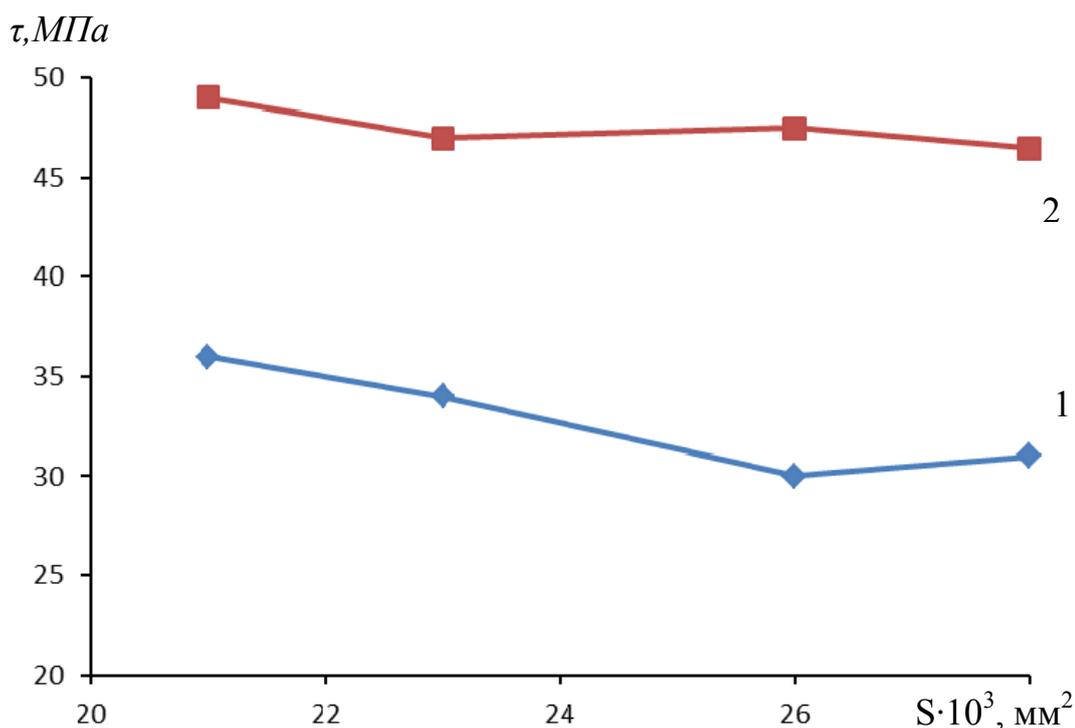
рассмотренного композита (~85 МПа) и поэтому требует более детального исследования.



**Рис. 1.** Отношение величины тангенса угла механических потерь в зависимости от толщины образца стеклопластика, прошедшего стадию нагрева и последующего охлаждения. Стеклопластик на основе: бромсодержащего связующего – 1; эпоксицированного динафтола – 2

В связи с этим, в данной работе была подробно исследована адгезионная способность эпоксидных связующих к стеклянному волокну. Адгезионную прочность полимерное связующее – стеклянное волокно определяли на одногнездовом адгезиометре при нормальных условиях. Перед испытаниями образцы подвергали термолизу. Обработку проводили в муфельном шкафу при температуре 550 – 600 °С в течение 30 минут с последующим охлаждением до комнатной температуры.

Зависимость величины адгезионной прочности от площади контакта связующего к стекловолокну представлена на рис. 2. Эти данные показывают, что всегда имеющаяся в действительности зависимость площади соединения не сказывается в данном случае на отношении усредненных величин адгезионного взаимодействия. Следует отметить, что по величине прочности сцепления с волокном, связующее на основе эпоксицированного динафтола имеет существенные преимущества. Из этого следует, что увеличение прочности стеклопластика при сжатии обеспечивается повышенной адгезионной прочностью связующего к волокну, а в данном случае, сохраненных после теплового действия и охлаждения адгезионных контактов в композите.



**Рис. 2.** Зависимость величины адгезионной прочности ( $\tau$ ) от площади контакта связующего к стекловолокну. Связующее на основе: бромсодержащего олигомера – 1; эпоксицированного динафтола – 2

Определив усредненную величину  $\tau$  и рассматривая ее как константу материала можно провести проверку одного из условий монолитности армированного пластика [6]. В таком композите, в котором прочность армирующих волокон используется наиболее полно, необходимо, в частности, достичь значений адгезионной прочности, когда выполняется условие

$$\tau_{\text{адг}} / \sigma_{\text{вол}} \geq 0,015 \div 0,040.$$

Прочность исследованного алюмоборосиликатного волокна  $\sigma_{\text{вол}} = 2500$  МПа. Соответственно для получения на основе этого волокна монолитного стеклопластика необходимо связующее, для которого  $\tau_{\text{адг}} \geq 40 - 100$  МПа. Как видно из рис. 3, этому условию соответствует связующее на основе эпоксицированного динафтола для которого, адгезионная прочность к стеклу больше, чем нижняя из указанных границ.

**Выводы.** Установлено, что на пожаре основным фактором, который стимулирует расслоение стеклопластиков при сжатии, является предварительное разрушение адгезионных контактов. Доля сохраненных контактов обеспечивает устойчивость полимерных слоев и, в зависимости от силы сцепления на границе раздела полимер-волокно, определяет остаточную прочность композита.

По результатам проверки материалов на одно из условий монолитности установлено, что наиболее полно прочность армирующих волокон используется в стеклопластике на основе эпоксицианурового динафтола.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяченко Г.Н., Грачева Л.И. Термическое деформирование неметаллических деструктурирующих материалов / Г.Н. Третьяченко, Л.И. Грачева. – К.: Наук. Думка, 1983. – 248 с.

2. Грачева Л.И. Термическое деформирование и работоспособность материалов тепловой защиты / Людмила Ивановна Грачева – Киев: Наук. думка, 2006. – 294 с.

3. Билым П.А. Несущая способность стеклопластиков в условиях одностороннего нагрева в режиме медленно развивающегося пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2010. – Вып. 28. – С. 47-53.

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

5. Горбаткина Ю.А. Адгезионная прочность в системах полимер-волокно / Юлия Александровна Горбаткина. – М.: Химия, 1987. – 192 с.

6. Рабинович А.Л. Введение в механику армированных полимеров / Александр Леонидович Рабинович. – М.: Наука, 1970. – 482 с.

К.А. Афанасенко, О.П. Михайлюк, В.О. Собина

**Залежність міцності склопластиків при нелінійному температурному впливі від адгезійного контакту полімер-волокно**

Встановлено, що на пожежі основним чинником, який стимулює розшарування склопластика під навантаженням, є попереднє руйнування адгезійних контактів. Частка збережених контактів забезпечує рівень залишкової міцності композиту залежно від сил зчеплення на межі розділу полімер-волокно.

**Ключові слова:** міцність склопластика на пожежі, адгезійна міцність, адгезійний контакт.

K. Afanasyenko, A. Mikhailuk, V. Sobina

**Dependence of the strength of fiberglass at nonlinear temperature feedback from adhesive contact polymer fiber**

It is set that on a fire a basal factor which stimulates breaking of stekloplastika on-loading is a preliminary break of адгезионних interferences. The stake of the stored interferences provides the level of remaining endurance capability of compo depending on forces of bond on the bound of section polymer cement-fiber.

**Keywords:** endurance capability stekloplastika on a fire, adgezion endurance capability, adgezion interference.