

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

О РОЛИ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА ПОЛИМЕР – ВОЛОКНО В СОХРАНЕНИИ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКА НА ПОЖАРЕ

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

Установлено, что на пожаре основным фактором, который стимулирует расслоение стеклопластика под нагрузкой, является предварительное разрушение адгезионных контактов. Доля сохраненных контактов обеспечивает уровень остаточной прочности композита в зависимости от сил сцепления на границе раздела полимер-волокно.

Ключевые слова: прочность стеклопластика на пожаре, адгезионная прочность, адгезионный контакт .

Постановка проблемы. Известно, что прочность стеклопластиков в значительной мере определяется совместной работой стеклянных волокон и прослойки полимерного связующего на всех стадиях нагружения и теплового воздействия на армированную систему [1]. 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 [2].

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 [3].

Нарушение монолитности отчетливо проявляется при построении кривых деформирования стеклопластиков при одностороннем на-

греве в условиях медленно развивающегося пожара [4]. Изменение модуля упругости, характерное для многих материалов, является косвенным свидетельством о нижней границе трещинообразования. В особенности это свойственно хрупким материалам, которые по причине охлаждения (остывания) после экстремального теплового воздействия, приобретая жесткость, не восстанавливают исходную прочность [5].

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 для сохранения остаточной прочности композита после теплового воздействия пожара и последующего охлаждения.

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 [6]. 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 эпоксицированного динафтола, составляла 50 МПа.

Как видно из данных, представленных на рис.1, существенных различий по сорбционной способности представленных композитов не наблюдается. Общей закономерностью является повышение водопоглощения с увеличением толщины образца и длительности его выдержки в воде при нормальных условиях.

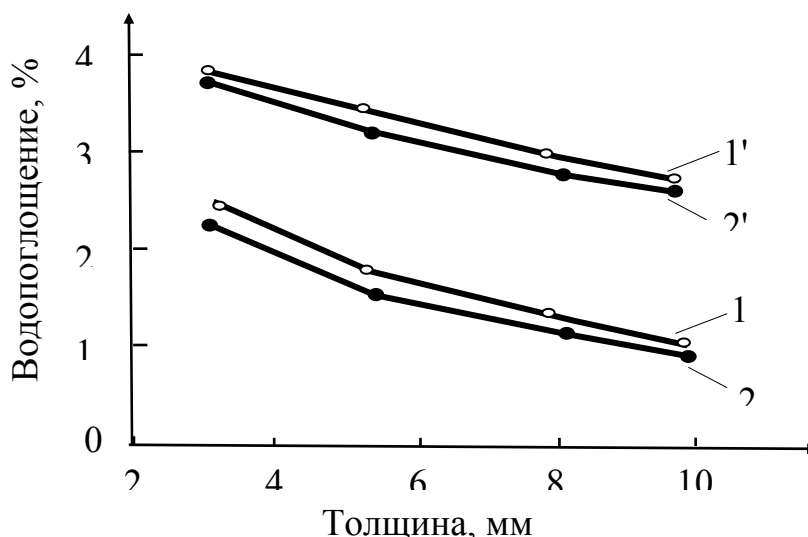


Рис. 1-Зависимость водопоглощения от толщины образца. Стеклопластик на основе: бромсодержащего связующего – 1; эпоксицированного динафтола – 2. Кривые водопоглощения после 5 суток – 1, 2; после 30 суток – 1', 2'.

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. Следует отметить, что данный способ прост в аппаратном оформлении, но не достаточно точен [7].

Для экспериментальной проверки границы сплошности могут быть использованы и идеи конструкционного демпфирования [8]. 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. Наличие среза адгезионных связей и появление фрикционных пар должны резко увеличить рассеяние энергии за счет стока ее на поверхности трения. 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. 2.

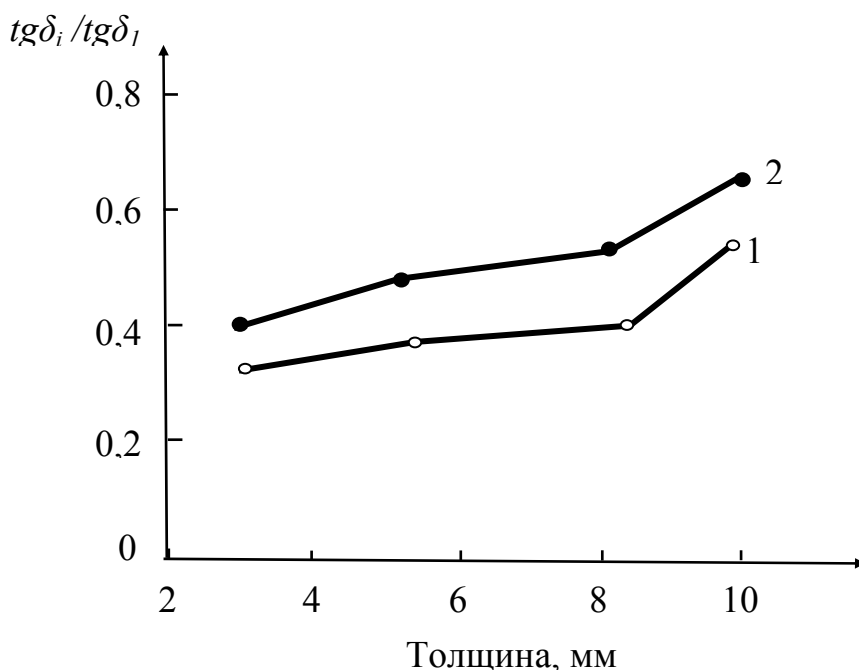


Рис. 2- Отношение величины тангенса угла механических потерь $tg\delta_i / tg\delta_1$ зависимости от толщины образца стеклопластика, прошедшего стадию нагрева и последующего охлаждения. Стеклопластик на основе: бромсодержащего связующего – 1; эпоксицированного динафтола – 2.

Судя по расположению кривых, стеклопластик на основе эпок-

сидированного 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.

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. Образцы для испытаний готовили по методике, описанной в [9]. 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. 3. 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 эпоксидированного динафтола имеет существенные преимущества.

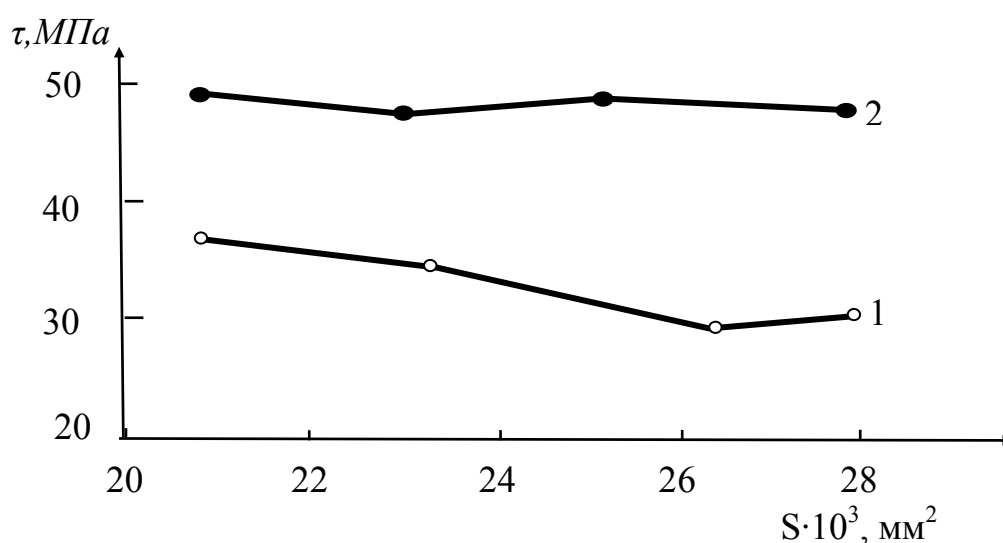


Рис. 3 – Зависимость величины адгезионной прочности (τ) от площади контакта связующего к стекловолокну. Связующее на основе: бромсодержащего олигомера - 1; эпоксидированного динафтола -2.

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.

Определив усредненную величину τ и рассматривая ее как константу материала можно провести проверку одного из условий монолитности армированного пластика [10, 11]. 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 эпоксидированного динафтола для которого, адгезионная прочность к стеклу больше, чем нижняя из указанных границ.

Выводы. 1. 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.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Димитриенко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. / Юрий Иванович Димитриенко – М.: Машиностроение, 1997. – 367 с.

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

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

4. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.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.

5. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А., Калябин

Ю.И. Влияние экстремальных тепловых воздействий на остаточную прочность стеклопластиков / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А., Афанасенко, Ю.И. Калябин// Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2010.- Вып.28.- С. 54-58.

6. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.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.

7. Тарнопольский Ю.М., Скудра А.М. Конструкционная прочность и деформативность стеклопластиков. / Ю.М. Тарнопольский, А.М. Скудра - Рига: Зинатне, 1966.- 260 с.

8. Тарнопольский Ю.М., Канцис Т.Я. О механизме передачи усилий при деформировании ориентированных стеклопластиков / Ю.М. Тарнопольский, Т.Я. Канцис // Механика полимеров, 1965.- №1.- С.36-42.

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

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

11. Рогинский С.Л., Канович М.З., Колтунов М.А. Высокопрочные стеклопластики. / С.Л. Рогинский, М.З. Канович, М.А. Колтунов. - М.: Химия, 1979, 148 с.

puszu.edu.ua

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

Роль адгезійного контакту полімер – волокно у збереженні міцності склопластика на пожежі

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 .

P.A. Bilym, A.P. Mikhailuk, K.A. Afanasyenko, U.I. Kalybin

About role of adgezion interference polymer cement is fiber in keeping of endurance capability of stekloplastika on fire

It is set that on a fire a basal factor which stimulates breaking of stekloplastika on-loading is a preliminary break of адгезионных 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 .