

*П.А. Билым, канд. хим. наук, доцент кафедры, УГЗУ,  
А.П. Михайлюк, канд. хим. наук, доц., профессор кафедры УГЗУ,  
К.А. Афанасенко, адъюнкт, УГЗУ*

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗУПРОЧНЕНИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ В УСЛОВИЯХ  
НАРАСТАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В РЕЖИМЕ  
СТАНДАРТНОГО ПОЖАРА**

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

По данным огневых испытаний стеклопластиков установлено, что при снижении исходной нагрузки процесс разупрочнения материала замедляется, а вид разрушения переходит от хрупкого разрыва к расползанию образца. Композит на основе эпоксицирированного динафтола в сравнении с промышленным аналогом характеризуется не столь резким падением прочности и сохраняет определенный запас работоспособности при повышенных температурах.

**Постановка проблемы.** Известно, что листовые и профильные стеклопластики успешно применяются в качестве теплозащитных (абляционных) и силовых устройств, выдерживающих одновременное воздействие механических нагрузок и одностороннего нестационарного высокотемпературного нагрева [1]. Интенсивный односторонний нагрев вызывает постепенные необратимые структурные изменения полимерного связующего, снижающие прочность материала, и, следовательно, несущую способность конструкции. Рассмотренные особенности поведения стеклопластика имеют много общего с его поведением при других видах экстремальных условий воздействия, например, при пожаре. Однако, в последнем случае, в соответствии с предложенными к рассмотрению условиями испытаний по огнестойкости, на материал действует тепловой поток не только со стороны излучателя, но и на его противоположную (тыльную) сторону. Кроме этого остается открытый вопрос о роли прококсированного слоя, вклад которого в несущую способность абляционного материала, как правило, не учитывается. Поэтому для решения проблемы повышения несущей способности полимерных композиционных материалов необходимо предварительно провести исследования по изучению и согласованию структурных изменений с процессами термоокислительного пиролиза, происходящими в полимерной матрице композита при его нестационарном нагреве.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Информация о прочностных и деформационных свойствах армированных пластиков

---

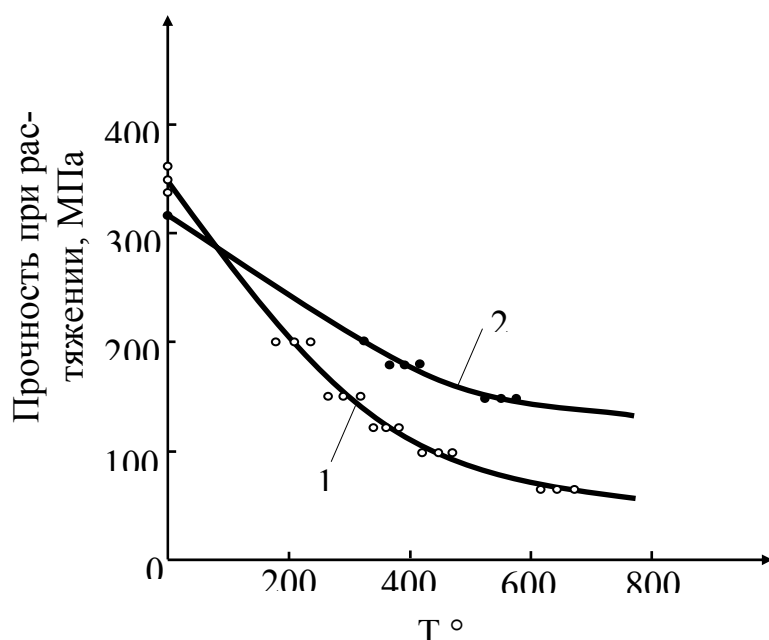
---

при огневых испытаниях крайне ограничена. Так в работе [2] приводятся результаты изучения деформируемости композитов в режиме нестационарного нагрева. При этом режим нагрева образца имеет достаточно хорошее соответствие с режимом нарастания температуры в условиях стандартного пожара, что предполагало в данном случае косвенно оценивать предела огнестойкости композита. Однако нагрузка задавалась не постоянной, а путем линейного возрастания механического усилия, что осложняло оценку несущей способности образца материала. В более раннем сообщении [3] приводятся сведения о разрушении полимерных композиционных материалов в условиях воздействия пламени кислородно-ацетиленовой горелки. Однако при этом работоспособность (целостность) материала характеризовали косвенным путем, применяя термогравиметрию, пирометрию, макроскопические измерения, а также методы по определению линейной и объемной эрозии материалов.

**Постановка задачи и ее решение.** В данной работе приводятся результаты исследования процесса разупрочнения стекло-армированных композиционных материалов в режиме нарастания температуры, близкому к стандартным условиям развития открытого пожара. Испытывались стеклопластики на основе стеклоткани марки Т-10 и полимерного связующего эпоксифенольного типа. Применение последнего обусловлено доступной сырьевой базой и отработанной в промышленных масштабах технологией получения на их основе композитов с заданными показателями эксплуатационных характеристик.

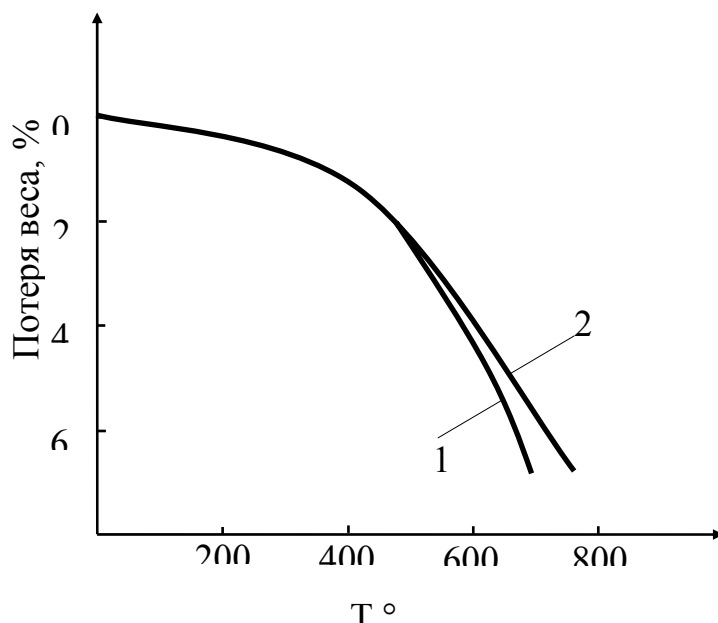
Режим теплового нагружения на стержневой образец проводили в испытательной печи с размером огневого пространства 0,6 метра при сжигании газового топлива. Газовая горелка располагалась на расстоянии не менее 0,4 м от образца, что исключало касание его пламенем и обеспечивало поддержание режима нарастания температуры в первые 10 минут испытаний с отклонением не более 15 % от стандартного. Испытаниям были подвергнуты образцы стеклопластика в виде двухсторонней лопатки с длиной рабочей части 30 мм и сечением 5×5 мм<sup>2</sup>. Стеклопластики испытывались при растяжении в условиях ползучести при постоянных начальных значениях механических нагрузок. Напряжения на образец при испытаниях по признаку разрыва варьировали в диапазоне от 70 до 25 % предела прочности при растяжении образца при контрольных испытаниях в нормальных условиях. Для поддержания постоянного напряжения в образце по мере его удлинения, с учетом сокращения размеров поперечного сечения, использовали криволинейный рычаг нагружения, который обеспечивал автоматическое уменьшение нагрузки.

Как видно из данных, представленных на рис. 1, разупрочнение испытуемых стеклопластиков при растяжении не является линейной функцией времени. На кривых 1 и 2 можно выделить два периода: первый, характеризующийся сравнительно быстрым снижением свойств, и второй, в течение которого разупрочнение замедляется. При визуальном осмотре участков «сколов» было установлено, что разрушение образцов в течение первого периода имеет вид хрупкого разрыва и происходит с тыльной стороны образца, которая не была подвержена действию открытого пламени. Во втором периоде после прогрева образца происходит поверхностное обугливание связующего, расслаивание материала, и в этих условиях, каждый его слой «работает» самостоятельно. В результате разрушение приобретает характер «расползания» образца. Сравнив положение кривых 1 и 2, видим, что при испытаниях на растяжение в условиях нарастания температуры образец на основе эпоксиэфталенового связующего проявляет меньшую склонность к разупрочнению на протяжении полного диапазона испытательной базовой нагрузки. При этом, временной период интенсивного спада длительной прочности для испытуемых стеклопластиков совпадает, что свидетельствует об аналогичном характере прогрева образцов и нестационарном распределении температуры по их сечению.



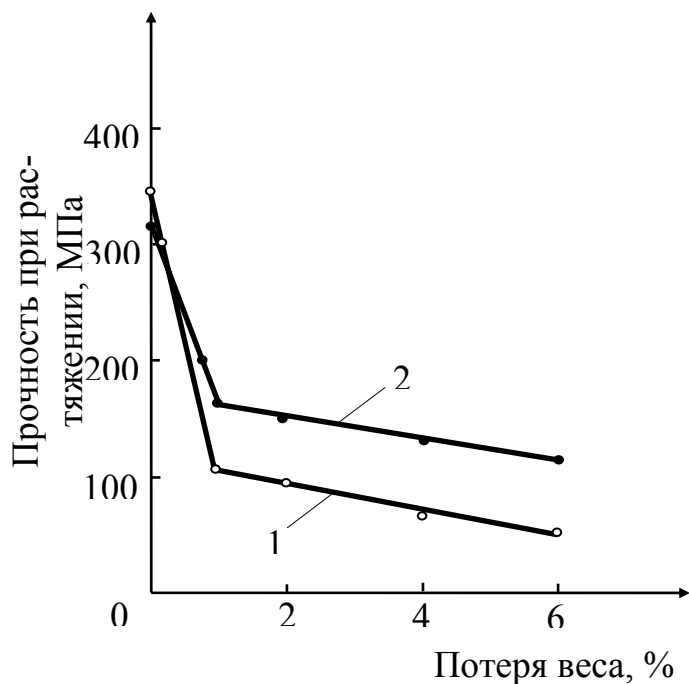
**Рисунок 1 - Зависимость остаточной прочности образцов стеклопластиков от уровня начального постоянного напряжения при растяжении в условиях нарастания температуры по стандартному режиму открытого пожара. Связующее на основе бром содержащей смолы - 1 и эпоксиэфталенового динафтола - 2**

Кроме этого, данные образцы при термическом воздействии частично деструктируют, что явным образом отражают кривые потери веса (см. рис 2). Поскольку доля связующего в композите уменьшается, то, соответственно, происходит и увеличение удельной нагрузки на образец, что по упрощенной схеме ускоряет его разрушение.



**Рисунок 2 - Зависимость относительной потери веса (по связующему) образцов стеклопластиков в условиях нарастания температуры по стандартному режиму открытого пожара. Связующее на основе бром содержащей смолы - 1 и эпоксидированного динафтола - 2**

В этой связи весьма интересные сведения дают кривые зависимости относительной потери прочности от потери веса образцов из исследованных смол, прогреваемых при одинаковых условиях. Этот график (рис. 3) показывает, что для представленных связующих характерна совершенно определенная связь между потерей веса и потерей прочности в процессе нарастания температуры. В данных случаях эта связь описывается ломаной линией с одним перегибом, указывающим на поведение связующих в двух различных структурных формах. В первоначальной структурной форме для смол характерно резкое падение прочности при относительно малой потере веса. Однако для стеклопластика на основе эпоксиэфталенового олигомера падение прочности происходит не столь стремительно, как для традиционного материала. Во вторую стадию деструкции данный стеклопластик переходит, потеряв около 1 % веса связующего и сохранив более 50 % первоначальной прочности, по сравнению с 30%



**Рисунок 3 - Зависимость величины остаточной прочности от относительной потери веса образцов стеклопластиков в условиях нарастания температуры по стандартному режиму открытого пожара. Связующее на основе бром содержащей смолы - 1 и эпоксидированного динафтола - 2**

прочности, для стеклопластика на основе традиционного эпоксифенольного связующего. При температуре близкой к 600 °С стеклопластики на основе нафталинового производного и традиционного связующего сохраняют остаточную прочность на уровне 140 и 70 МПа, соответственно, при симбатных показателях остаточного веса. По нашему мнению степень сохранения остаточной прочности зависит от способности материала при деструкции к быстрой карбонизации с одновременным поверхностным коксованием [4]. Следовательно, меньшая потеря в весе образца за счет интенсивного коксования положительно сказывается на несущей способности композита при нарастании температуры огневых испытаний.

**Выводы.** 1. В результате огневых испытаний стеклопластиков установлено, что при снижении исходной нагрузки процесс разупрочнения замедляется, а вид разрушения переходит от хрупкого разрыва к расползанию образца.

2. Исследованиями относительного изменения веса и предела прочности при растяжении стеклопластиков на основе бром содержащего промышленного связующего и предложенного связующего на основе эпоксидированного динафтола установлено, что в процессе термоокислительной деструкции при огневых испытаниях происхо-

---

---

дит скачкообразный переход из первой во вторую структурную стадию с всевозрастающей стабильностью прочностных свойств.

3. Приведенные результаты огневых испытаний свидетельствуют о том, что стеклопластик на основе эпоксицированного динафтола в сравнении с промышленным аналогом характеризуется не столь резким падением прочности и сохраняет определенный запас работоспособности при повышенных температурах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Скороход В.В. Актуальные направления и задачи исследований в области создания материалов для экстремальных условий эксплуатации // Тр. 3-й Междунар. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях», 13-17 сент. 2004, АР Крым, Украина. – С. 3 - 4.

2. Дмитриенко Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. – М.: Машиностроение, 1997. – 368 с.

3. Конструкционные свойства пластмасс / Под ред.. Э.Бэра. – М.: Химия, 1967. – С. 420-421.

4. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А. Исследование пористости, проницаемости и структуры коксовых остатков полиэпоксидных связующих // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2008.- Вып. 23. С.48-56.

nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.