

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

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

Экспериментальным путем получены характеристики прочности стеклопластика в условиях огневых испытаний при установленных температурах. Показано, что структурные превращения в полимерной матрице и ее пиролиз существенным образом отражаются на долговечности композиционного материала.

Постановка проблемы. Традиционно пределы огнестойкости конструкций определяют на основе рассмотрения воздействия на конструкцию так называемого «стандартного пожара». При рассмотрении поведения материалов в условиях реальных пожаров весьма перспективным представляется кинетический подход, используемый для исследования разрушения твердых тел. Другими словами, в данном случае пользуются методом оценки предела огнестойкости конструкций, который основывается на определении долговечности твердых материалов. В этом случае прогнозирование огнестойкости (долговечности), что равнозначно в условиях пожара, основывается на накоплении повреждений в материале и их счете (суммировании), при условии, что в последнем не наблюдается фазовых переходов и химических превращений. Удобство предложенного метода трудно переоценить, однако, отнесение его к полимерным системам требует, на наш взгляд, особого внимания вследствие ожидаемых структурных превращений при нарастании температуры. Поэтому для решения проблемы получения полимерных композитов с намеченным пределом огнестойкости представляет интерес изучения поэтапного действия температуры на структурные (релаксационные) переходы в полимерной матрице, которые определяют ее физическое состояние и поведение самого композиционного материала на начальных стадиях развития пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ известных публикаций [1, 2] и полученных авторами данных [3] позволил установить, что процесс разрушения и вынужденной деформации композиционных материалов носит кинетический характер. Однако выявление общности методологического подхода к оценке долговечности твердых тел на основе чисто механического подхода

представляет существенные трудности. Дело в том, что такие материалы, как сталь или цементный камень по ходу нарастания температуры в условиях пожара не претерпевают существенных физико-химических превращений и сохраняют при этом свою «цементирующую» способность. В то же время полимерные композиты при нагреве неминуемо должны пройти стадию размягчения (высокоэластического состояния), и только после этого деструктурировать с образованием прококсированного слоя, обладающего определенной жесткостью. Такого рода сведения в литературе отсутствуют, что, несомненно, ограничивает и вместе с тем не дает объективной картины применимости полимерных композитов в силовых элементах конструкций специального назначения.

Постановка задачи и ее решение. В настоящей работе изучены особенности температурно-временной зависимости прочности стеклопластиков при различных режимах температурного воздействия. Испытаниям были подвергнуты образцы стеклопластика в виде двухсторонней лопатки с длиной рабочей части 30 мм и сечением $5 \times 5 \text{ мм}^2$, изготовленные методом автоклавно-вакуумного формования. Стеклопластики испытывались при растяжении в условиях ползучести при постоянных значениях механических нагрузок в условиях стационарного температурного воздействия. Вставленный в зажимы стеклопластиковый образец подвергался нагреву в огневой печи до заданной температуры испытаний. Эксперименты проводились при постоянных температурах в интервале (293-773) К. Среднее время нагрева до 373, 473, 573, 673 и 773 К составляло 10, 25, 35, 50 и 65 минут соответственно. Отклонение от установленных температур испытаний в печи составляло для 373 и 473 К – 5-7%, (573 – 773) К – 10%. После выдержки в течение (5-7) минут при указанных температурах образец нагружался. Напряжения на образец при испытаниях по признаку разрыва варьировали в пределах от 10 до 300 МПа. Для поддержания постоянного напряжения использовалось приспособление рычажного типа, обеспечивающее автоматическое уменьшение нагрузки на образце по мере его удлинения.

Как видно из данных, представленных на рис. 1, температурно-силовые зависимости не отвечают традиционному веерообразному расположению и существенно разнятся по величине длительной прочности от нагрузки в зависимости от температуры испытаний. Так кривые, полученные в интервале (200-400) °С, проходят в области кратковременной прочности и не сходятся в общем «полюсе», характерном для кривых, измеренных в том случае, когда связующее стеклопластика находится в стеклообразном состоянии. Такой результат указывает на несоответствие зависимости $\lg \tau_d - \sigma$ известно-

му уравнению Журкова и его теоретического приложения к расчету степени разупрочнения материала в условиях реального пожара.

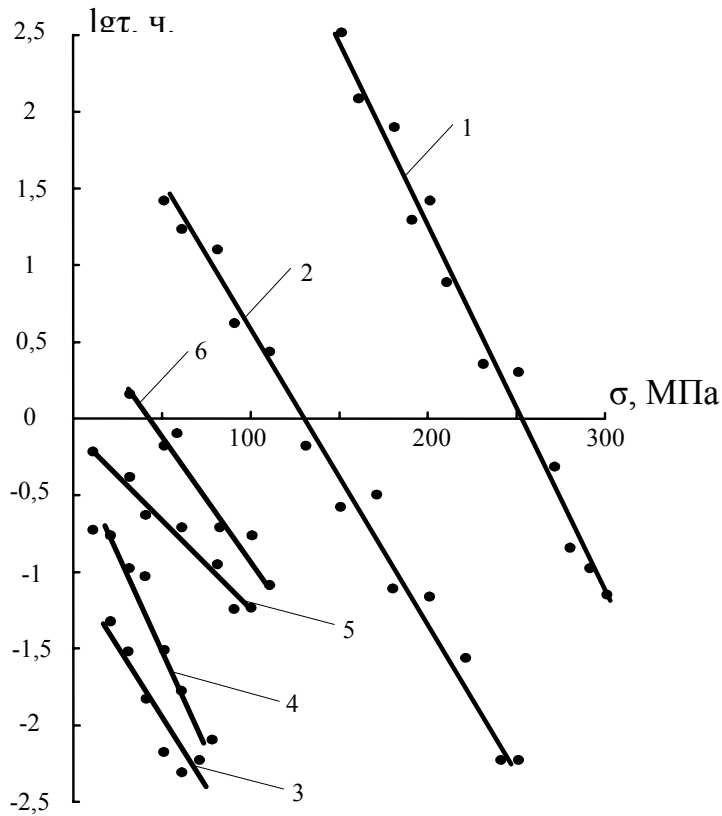


Рисунок 1. - Зависимости долговечности стеклопластика от напряжения и температуры: 1 – 293 К; 2 – 373 К; 3 – 473 К; 4 – 573 К; 5 – 673 К; 6-773 К

Особого внимания заслуживает рассмотрение поэтапного нарастания температуры испытаний образца композита и его фиксированных показателей долговечности от нагрузки. Так при повышении температуры испытаний от 200 до 500 °С четко прослеживается рост долговечности приблизительно на 1,5-2 порядка по времени при базовой нагрузке от 20 до 120 МПа. Этот факт по сути можно трактовать, как способность композита резко терять свою несущую способность при нарастании температуры от 100 °С до 200 °С и последующем ее росте вплоть до 500°С. В соответствии с этим материал сначала переходит в высокоэластическое состояние, размягчается и теряет жесткость, а затем при повышенных температурах подвергается термоокислительной деструкции, частично ее восстанавливает. Очевидно, что чем выше плотность сшивки полимерной матрицы и выше температура перехода в высокоэластическое состояние, ниже температура термоокислительной деструкции и больше в процентном соотношении выход перерожденного (прококсованного) полимерного связующего, тем меньше должно быть отклонение кривых долговечности к малым временам. В соответствии с этим поведение мате-

риала в условиях пожара, его несущая способность, в первую очередь, должна быть оценена не по его характеристикам на стадии, предшествующей его зажиганию, а на ранних (начальных) стадиях пожара, когда материал способен перейти в высокоэластическое состояние. В связи с этим, для получения общих закономерностей сохранения несущей способности композитов необходимым является дополнительное проведение испытаний на их разупрочнение в условиях действия начальной, постоянной нагрузки в режимах нарастания температуры при стандартном и реальных пожарах.

Выводы. 1. Экспериментальным путем получены характеристики прочности стеклопластика в условиях огневых испытаниях при установленных температурах.

2. Показано, что структурные превращения в полимерной матрице и ее пиролиз (карбонизация) существенным образом отражаются на долговечности испытываемого стеклопластика. Причем, минимальные показатели несущей способности соответствуют температуре близкой к 200°C, что соответствует области структурного превращения полимерного связующего - переходу из стеклообразного состояния в высокоэластическое. При повышении температуры испытаний и последующем нагружении образца при установленной температуре несущая способность материала повышается.

3. Указанное обстоятельство в поведении полимерных композитов, с нашей точки зрения, следует не только учитывать при разработке на их основе силовых термоустойчивых конструкций, но и рассматривать, как один из важнейших принципов создания полимерных материалов с требуемым пределом огнестойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. – М.: Пожнаука, 2001. – 383 с.

2. Бетехтин В.И., Ройтман В.М., Слуцкер А.И. Кадомцев А.Г. Кинетика разрушения нагруженных материалов при переменной температуре // Журнал технической физики. – 1998.- № 11.- С.76-81

3. Билым П.А., Михайлюк А.П., Афанасенко К.А. Характер изменения динамического модуля сдвига стеклопластика при нагреве в условиях близких к начальной стадии развития открытого пожара // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2008.- Вып. 24. С.16-21

nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.