

УДК 620.193.21

В. П. Грахов, доктор экономических наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
А. И. Захаров
ООО «КомАР»
З. С. Саидова, магистрант
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной статье рассматривается климатическое старение композиционных полимерных материалов. На примере стеклопластиковой арматуры производства ООО «КомАР» исследуются изменения, протекающие в структуре композитов под воздействием естественных климатических условий. Проведены натурные испытания образцов в климатической зоне № 2. Определено изменение массы, плотности и водопоглощения образцов, массовой доли стекловолокна.

Ключевые слова: композитные материалы, арматура стеклопластиковая композитная, коррозионное разрушение, старение, УФ-излучение.

В последние годы композитные материалы (далее – КМ), благодаря своей высокой коррозионной стойкости и сопоставимым со сталью механическим характеристикам, заняли прочное место на рынке строительных материалов. Об их уникальной стойкости к воздействию агрессивных сред отечественными учеными написано немало трудов, однако способность этих материалов сохранять свои свойства при продолжительном воздействии климатических факторов в полной мере изучена не была.

Ни для кого не секрет, что при циклическом изменении температуры, при наличии влаги, под воздействием ультрафиолетовой радиации и других естественных климатических факторов композитные материалы подвергаются процессу старения, что вкуче с изначально невысоким модулем упругости накладывает при проектировании жесткие ограничения на допустимые рабочие нагрузки [1].

На сегодняшний день обеспокоенность многих строителей вызывают именно последствия нахождения композитной арматуры на открытом солнце, ведь, согласно распространенному мнению, ультрафиолетовые лучи оказывают негативное воздействие не только на свойства полимерной матрицы, но и на несущую способность армирующих волокон.

Срок эксплуатации конструкции определяется физико-механическими характеристиками составляющих ее элементов и их внешним видом. К наиболее распространенным дефектам конструктивных элементов относят: изменение и потерю цвета, эрозию поверхности, снижение молекулярного веса, изменение плотности и массовой доли армирующего волокна.

Изменение цвета, как правило, происходит в результате протекания фотохимических реакций в структуре полимера, из-за которых он желтеет или темнеет. Еще одним отрицательным климатическим воздействием на полимер является синергетическое сочетание влажности и УФ-излучения, которое может вызвать выцветание и эрозию поверхности. Под воздействием УФ-излучения полимер разрушается, а дождь и другие источники влаги в свою очередь смывают с поверхности пигменты и наполнители –

она принимает меловой оттенок. С течением времени эти изменения прогрессируют, разрушая глубинные слои полимера и вызывая необратимые изменения во внешнем виде и физических характеристиках композитных материалов [2].

В исследовании [3] было изучено влияние УФ-излучения на механические свойства композитов на основе полиэфирной смолы и стеклянного волокна. Авторы статьи утверждают, что воздействию УФ в большей степени подвергается полимерная матрица, поэтому в работе были исследованы исключительно ее характеристики. Экспериментальные образцы были изготовлены из полиэфирной смолы и протестированы в ускоренном режиме в УФ-камере. Образцы, находившиеся в течение 100 часов в УФ-камере, при испытании на растяжение, показали снижение значения разрушающей деформации на 15 %, конечная прочность образцов снизилась на 30 %, а модуль упругости на 18 %. Кроме того, значительные изменения были зафиксированы в значении модуля сдвига.

Согласно [4], длительное воздействие ультрафиолета может вызвать растрескивание матрицы и допустить проникновение УФ-лучей и влаги в толщу материала, перенося негативное воздействие на волокно и вызывая тем самым ухудшение термомеханических характеристик КМ.

Сопоставление результатов изменения механических свойств конструктивных КМ свидетельствует, что углепластики обладают большей климатической стойкостью, чем стеклопластики как по сохранности свойств, так и по стойкости поверхностного слоя к воздействию УФ-составляющей солнечного излучения [5]. Наиболее сильное воздействие ультрафиолетовые лучи оказывают на арамидные волокна. Так, тонкое арамидное волокно кевлар-29, находившееся на открытом солнце в штате Флорида в течение 5 недель, потеряло 49 % прочности [6]. При этом снижение прочности и жесткости под воздействием ультрафиолета у толстых элементов менее заметно, чем у тонких. Так, толстая веревка (12,7 мм) из арамидного волокна потеряла только 31 % прочности после 2 лет на солнце, т. к. разориентация органических волокон в

результате деструкции происходит лишь в тонком, не превышающем 50–100 мкм, поверхностном слое [7].

В исследованиях, проводимых во Всероссийском институте авиационных материалов [8], напротив, после выдерживания исследуемых образцов композитных материалов в течение 1,5 лет в натуральных условиях промышленной зоны умеренного климата отмечается повышение прочности при изгибе для углепластика и стеклопластика в свободном состоянии на 16–20 % и 12–18 % соответственно, а под нагрузкой на 8 %. Прочность при сдвиге повысилась на 9–12 и 14–17 % соответственно. Одной из причин такого эффекта может являться релаксация внутренних напряжений. Температура стеклования углепластика в свободном и нагруженном состоянии практически не изменилась по сравнению с исходным значением.

При этом совместное воздействие повышенной температуры, влажности и нагрузки в натуральных условиях (на атмосферном стенде) привело к поверхностной эрозии и разрушению образцов стеклопластика, а в лабораторных условиях оно не вызвало трещинообразования образцов.

В целом, негативное влияние климатических условий на полимерные материалы можно исключить, если обеспечить качественную защиту добавками или покрытиями. Для предотвращения негативного влияния УФ на материал, при производстве фиброармированных пластиков в состав матрицы добавляют специальные УФ-ингибиторы (ultraviolet absorbers или UVA). Внешнее армирование бетонных балок защищает от воздействия ультрафиолета с помощью ингибирующих составов [9].

Следует понимать, что полимерные композитные материалы, которые используются в конструкциях,

расположенных во внутренних помещениях, не подвержены этому влиянию. А композитная арматура, выступая армирующим элементом бетонных конструкций, подвергается непосредственному климатическому воздействию только в процессе строительно-монтажных работ, а в процессе эксплуатации защищена от него слоем бетона.

В России в открытом доступе очень мало информации о способности композитов противостоять воздействию естественных климатических условий, что мешает потребителям принять обоснованное решение. С целью получения достоверных данных специалистами ООО «НИИ «Стройлаб» (г. Ижевск) были проведены натурные испытания зависимости коррозионного разрушения стеклопластиковой композитной арматуры (далее – АСК) от воздействия естественных климатических условий (Климатическая зона № 2).

В качестве образцов были использованы композитные стержни производства ООО «КомАР» длиной 6 м, которые находились на «открытом воздухе» с 15 февраля 2014 г. Для проведения испытаний из данных стержней нарезались образцы необходимой длины. Дата проведения испытаний – 15 марта 2016 г. Были поставлены следующие задачи:

1. Выявить изменение массы образца АСК после испытаний.
2. Выявить изменение массовой доли стекловолокна в АСК после испытаний.
3. Выявить изменения плотности АСК после испытаний.
4. Выявить изменения водопоглощения АСК после испытаний.
5. Выявить образование микротрещин на поверхности полимера.

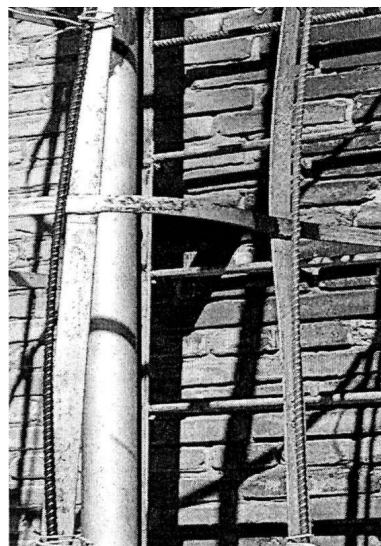


Рис. 1. Установка для проведения натурных испытаний

Для проведения оценки степени коррозионного разрушения АСК «КомАР» выбраны следующие показатели:

1. Изменение массы – уменьшение этого показателя говорит о разрушении пропиточного компаунда,

увеличение – о набухании полимерной матрицы вследствие сорбции.

2. Массовая доля стекловолокна – увеличение данного параметра свидетельствует о разрушении пропиточного компаунда, уменьшение – о протекании процесса сорбции.

3. Плотность – характеризует соотношение стекловолокна и пропиточного компаунда в АСК.

4. Водопоглощение – характеризует наличие пустот и дефектов в структуре АСК, а также сорбционную способность пропиточного компаунда. Определение значения водопоглощения проводилось в соответствии с ГОСТ 4650–80 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения», метод А.

Результаты исследования представлены в таблице. В числителе показано значение параметров на 15.02.2014 г., в знаменателе – на 15.03.2016 г.

Поверхность образцов до и после испытания, снятая с помощью микроскопа, представлена на рис. 2.



Результаты натуральных испытаний АСК «КомАР»

Наименование параметра	Диаметр арматуры		Изменение параметра для арматуры диаметром	
	10 мм	12 мм	10 мм	12 мм
Масса m 1 п. м., г	$\frac{169,592}{169,617}$	$\frac{236,278}{236,269}$	+0,025	-0,009
Массовая доля стекловолокна ω , %	$\frac{85,68}{85,68}$	$\frac{85,72}{85,72}$	0	0
Плотность ρ , г/см ³	$\frac{2,109}{2,109}$	$\frac{2,109}{2,109}$	0	0
Водопоглощение X , %	$\frac{0,11}{0,11}$	$\frac{0,11}{0,11}$	0	0



Рис. 2. Поверхность образцов (слева – исходное состояние, справа – после испытаний)

Таким образом, климатическое воздействие на АСК в течение 2 лет (солнечная радиация, перепады температур от минус 35 °С до плюс 40 °С), которое в первую очередь должно было привести к деструктивным процессам в пропиточном компаунде, в результате проведенных испытаний не привело к коррозионным разрушениям АСК «КомАР» в условиях климатической зоны № 2. Несомненно, при проектировании конструкций с применением ПКМ необходимо учитывать не только влияние отдельных агрессивных факторов, но и их совместное ускоряющее воздействие на старение материала. Однако в случае композитной арматуры нахождение в естественных климатических условиях не является реальной угрозой и не должно вызывать у строителей опасения.

Библиографические ссылки

1. Rinaldi G., Maura G. Durable Glass-Epoxy Composites Cured at Low Temperatures – Effects of Thermal Cycling, UV Irradiation and Wet Environment // Polymer International, 1993, pp. 339–345.
 2. Jones M. S. Effects of UV Radiation on Building Materials / Building Research Association of New Zealand (BRANZ), Judgeford, 2002.
 3. Shokrieh, Mahmood M. Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/Polyester Composites // Journal of Composite Materials, vol. 41 no. 20. – 2007. – Pp. 43–55.

4. GangaRao H.V.S., Vijay P. V. Aging of structural composites under varying environmental conditions // Proc. 3rd Intl. Symposium Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Vol. 2, Japan Concrete Institute. – 1997.

5. Климатическая стойкость новых композиционных материалов [Электронный ресурс] / В. Н. Кириллов, В. А. Ефимов, Т. Е. Матвеевкова, В. В. Кривонос, Т. В. Гребнева, Е. В. Болберова // Авиационная промышленность. – 2004. – № 4. – URL: <http://viam.ru/public/files/2003/2003-203955.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

6. DuPont de Nemours & Co., Kevlar Data Sheet, Wilmington, DE, 1992.

7. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III Значимые факторы старения [Электронный ресурс] / Е. Н. Каблов, О. В. Старцев, А. С. Кротов, В. Н. Кириллов // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 1. – URL: viam.ru/public/files/2010/2010-205616.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

8. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях [Электронный ресурс] / В. А. Ефимов, А. К. Шведкова, Т. Г. Коренькова, В. Н. Кириллов // Труды ВИАМ : электронный научный журнал. – 2013. – № 1. – URL: viam-works.ru/articles?art_id=5, свободный. – Загл. с экрана.

9. Reinforced Concrete Design with FRP Composites / V. S. Hota, H. V. S. GangaRao, P. V. Narendra Taly // CRC Press. – 2006. – P. 91.

V. P. Grakhov, Doctor of Economics, Professor, Kalashnikov ISTU
 A. I. Zakharov, Kalashnikov ISTU
 Z. S. Saidova, Student, Kalashnikov ISTU

Analysis of Environmental Conditions Impact on Composite Materials Characteristics

This article pertains to the climate ageing of composite polymer materials. Using the example of fiberglass reinforcement produced at KomAR Ltd. The changes running in the structure of composites under natural climatic exposure were examined. Environmental tests of specimens in the climate zone №2 were carried out. The change in mass, density and water absorption, as well as fiberglass mass fraction, were determined.

Keywords: composite materials, fiberglass composite rebar, corrosion failure, ageing, ultraviolet radiation.