

А. Н. КАГРАМАНЯН, М. М. МАРТИРОСЯН

ВЛИЯНИЕ УСКОРЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ (УКИ) НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА

Применение современных композиционных материалов в конструкциях, работающих в среде повышенной влажности, высоких и низких температур, вызывает большой интерес к исследованиям их механических свойств в различных условиях воздействия многочисленных факторов [1, 2, 3, 4 и др.].

Особый практический интерес, очевидно, будут представлять исследования, включающие и учитывающие влияние комплекса климатических или других факторов, действующих как в процессе испытаний, так и до испытаний.

Настоящая статья посвящена экспериментальному исследованию анизотропии механических свойств стеклотекстолита при кратковременном и длительном статическом растяжении (прочность и ползучесть) с учетом комплекса ускоренных климатических испытаний (УКИ). В качестве материала для исследования служил стеклотекстолит, изготовленный на основе ткани ТСУ 8/3-ВМ-78 и связующего ЭДТ-10Т.

1. Методика исследования

Все испытания, результаты которых обсуждаются в данной работе, были проведены на плоских образцах, вырезанных из листов стеклотекстолита толщиной 3,5—4,5 мм. Образцы имели форму двухсторонней лопатки с радиусом закругления галтелей $R = 75 \text{ мм}^2$. Ширина и длина рабочего участка образца составляли соответственно 15 мм и 50 мм. В рассматриваемых здесь опытах испытывались образцы, вырезанные вдоль основы ткани ($\varphi = 0^\circ$), в направлении под углом $\varphi = 45^\circ$ и вдоль утка ткани ($\varphi = 90^\circ$).

Кратковременное растяжение проводилось на испытательной машине марки ZDM-10 при температуре среды $22 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $67 \pm 3\%$. Деформации измерялись на базе 40 мм механическими тензометрами часового типа МК-3. Поперечные деформации измерялись тензометрическими датчиками сопротивления посредством электронного преобразователя АИД-1М. Испытания на длительную прочность проводились на установках рычажного типа с одновременным измерением деформации ползучести.

В комплекс ускоренных климатических испытаний¹ (УКИ), которым подвергались образцы-близнецы испытуемой серии, включены следующие этапы воздействия:

¹ См. ГОСТ 4649—55.

¹¹ УКИ были проведены предприятием-изготовителем образцов.

— тепловое воздействие при температуре $80 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 80% в течение 30 сут;

— выдержка при температуре $30 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности 96—98% в течение 15 сут;

— тепловое воздействие при температуре $40 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 83 час;

— циклическое суточное изменение температуры при температуре от $-15 \pm 2^\circ\text{C}$ до $+15 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности 96—98% при положительной температуре. Время выдержки при каждой температуре — 4 часа, количество циклов — 23;

— циклические сезонные изменения температуры от $-40 \pm 2^\circ\text{C}$ до $+80 \pm 20^\circ\text{C}$. Время выдержки при каждой температуре — 4 часа, количество циклов — 1.

2. Кратковременное растяжение

По экспериментальным данным кратковременного статического растяжения были определены пределы прочности, модули упругости и коэффициенты Пуассона контрольных и рабочих образцов*. Средне-арифметические опытные значения механических характеристик материала и их статистическая оценка приведены в табл. 1. Графические зависимости «напряжение-деформация» (σ — ϵ) показаны на фиг. 1.

Таблица 1

Сводные данные испытаний на кратковременное растяжение

№ п/п	Ориент. град.	Число образ- цов	Составные образцы	По прочности		По модулю упругости		По коэффициенту Пуассона	
				$\sigma_{\text{п}}, \text{ кг/см}^2$	$\nu, \%$	$E, \text{ кг/мм}^2$	$\nu, \%$	μ	$\nu, \%$
1	0	7	контр.	5270 5050 5620	3.6	2720 2620 2830	4.52	0.136	2.90
2	0	14	рабоч.	5560 5100 6170	6.8	2760 2600 2900	3.80	0.050	10.10
3	90	7	контр.	3740 3630 3880	2.2	2300* 2220 2360	2.62	0.071	7.04
4	90	9	рабоч.	3090 2500 3340	10.3	2260* 1990 2530	7.95	0.087	12.29
5	45	18	контр.	2085 1660 2700	18.5	1570** 1490 1710	6.60	0.642	6.67
6	45	9	рабоч.	2030 1580 2380	15.0	1490** 1300 1770	12.20	0.312	16.12

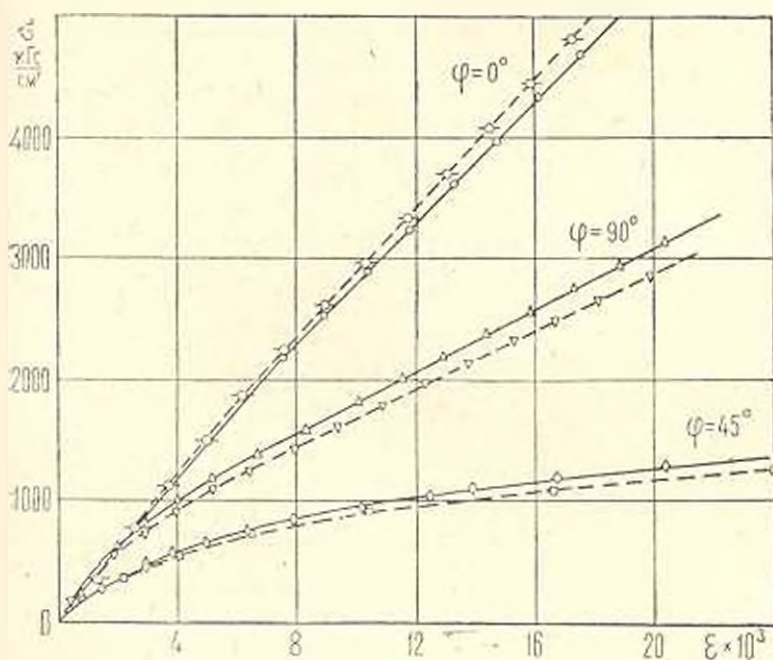
В числителе показано наименьшее значение, в знаменателе — наибольшее.

* Секундные модули упругости при $\nu=0.32$.

** Секундные модули упругости при $\nu=0.22$.

* Рабочими названы образцы, прошедшие УКИ.

Исследования показывают, что для ориентации $\varphi = 0^\circ$ на диаграмме растяжения можно выделить точку перегиба, которая делит кривую на два прямолинейных участка. Слом диаграммы соответствует нагрузкам около 40% от σ_* , а именно, находится в интервале напряжений, обычных для многих стеклопластиков ($0.3-0.5 \sigma_*$). После ускоренного климатического испытания образцов характер $\sigma-\varepsilon$ не меняется (пунктирная линия на фиг. 1), однако точка перегиба на кривой перемещается в сторону низких напряжений ($0.28 \sigma_*$). Наличие таких сломов свидетельствует о скачкообразном изменении повреждаемости материала по мере накопления повреждений в процессе нагружения. Положение точек перегибов («порогов трещинообразования») на диаграмме $\sigma-\varepsilon$ обусловлено рядом факторов [5, 6] (температура испытания, скорость нагружения и т. д.). К числу этих факторов, несомненно, следует также отнести и предисторию материала, в данном случае УКИ. Из диаграммы и табл. 1 видно также, что УКИ совершенно или почти совершенно не влияет на изменение предела прочности (σ_*) и модуля упругости материала, однако наблюдается чувствительное (примерно в 2.5 раза) понижение значения коэффициента Пуассона, что, по-видимому, можно объяснить охрупчиванием материала в процессе термических испытаний.



Фиг. 1. Диаграммы растяжения стеклотекстолита. Сплошные линии — контрольные образцы; пунктирные линии — рабочие образцы.

Диаграмма $\sigma-\varepsilon$ для образцов, вырезанных по утку ткани ($\varphi = 90^\circ$), также состоит из 2 частей: нелинейного и прямолинейного участков. Для нелинейного участка определен секущий модуль упругости (соответствующий

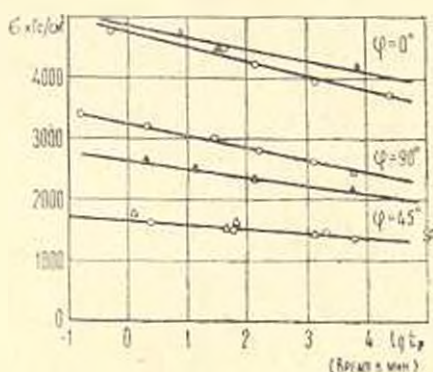
ший напряжению 1050 кг/см^2) и коэффициент Пуассона μ . Здесь наблюдается заметное снижение кратковременной прочности у рабочих образцов порядка 17,5%.

Следует особо отметить значительный разброс данных, относящихся к пределу прочности (σ_B) образцов, вырезанных в направлении $\varphi = 45^\circ$. По-видимому, следует заметить, что многочисленные экспериментальные исследования, проведенные ранее на других стеклопластиках, показывали совершенно иную картину. Во всех случаях большой разброс данных наблюдался при испытаниях образцов, вырезанных по направлению волокон или ближе к этому направлению, и наоборот, в данных, полученных при испытании образцов $\varphi = 45^\circ$, разброс был незначителен. Трудно дать объяснение такому рассеванию, однако заметим, что увеличение числа испытанных образцов в 2 раза не внесло никаких изменений. Как видно из табл. 1, ускоренные климатические испытания практически не вызывают изменения механических характеристик при кратковременных испытаниях.

3. Длительная прочность и ползучесть

В рассматриваемой работе испытания проводились до разрушения образцов под данной статической нагрузкой. База испытаний была принята равной $2 \cdot 10^6$ мин. На фиг. 2 приведены кривые длительной прочности стеклотекстолита для упомянутых выше трех ориентаций, построенные по экспериментальным данным. Для построения каждой кривой были испытаны 11—27 образцов. Многими авторами показано, что зависимость между действующим напряжением и логарифмом долговечности хорошо аппроксимируется линейной корреляцией, которая имеет общий вид

$$\sigma = A - B \lg t,$$



Фиг. 2. Кривые длительной прочности. $\circ$ — контрольные образцы, $\triangle$ — рабочие образцы.

Параметр B показывает наклон графика $\sigma - \lg t$, по отношению к оси долговечности. Очевидно, чем слабее сопротивляется данный материал при воздействию статического нагружения, тем больше значение B . Параметры корреляционного уравнения со статистическими характеристиками приводятся в табл. 2.

Таблица 2

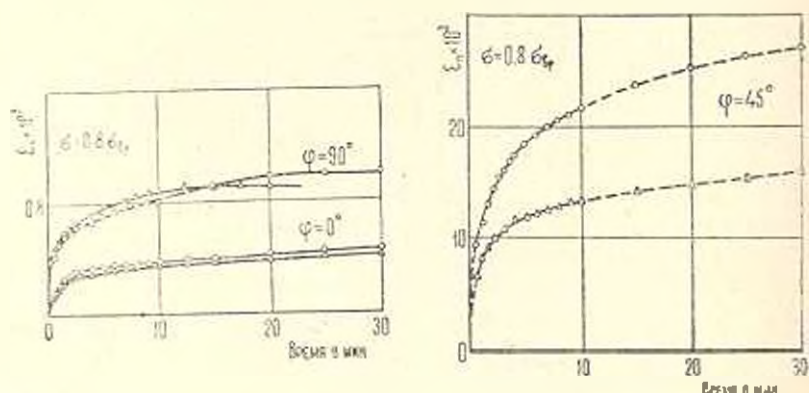
№ п/п	Ориент. град.	Состоя- ние образца	Параметры корреляционного уравнения $\sigma = A - B \lg t_p$						Данная прочность на базе $t = 10^4$ мин	
			А	В	коэф. корр. реляции $r_{1/2}$	Критерий линей- ности	довер. интервал			
							по σ кгс/см ²	по $\lg t_p$	абсолютное значение $\pm$ кгс/см ²	относитель- ное значе- ние σ/σ_n
1	0	контр.	4746.0	237.7	-0.9463	1.290	189.0	0.8419	3795	0.72
2	0	рабоч.	4848.5	194.2	-0.9190	1.306	148.4	0.8314	4070	0.73
3	45	контр.	1666.4	74.6	-0.8298	1.850	64.8	1.0461	1370	0.66
4	45	рабоч.	—	—	—	—	—	—	—	—
5	90	контр.	3238.6	200.8	-0.9558	1.527	121.2	0.6310	2435	0.65
6	90	рабоч.	2643.7	135.7	-0.9350	1.228	109.7	0.8652	2100	0.68

Как показывают экспериментальные данные, независимо от анизотропии материала, УКИ практически не влияет на длительную прочность. Как было показано выше, влияние УКИ может сказываться лишь на предел прочности материала.

Для наглядности в табл. 2 приводятся абсолютные и относительные значения разрушающего напряжения на базе времени $t = 10^5$ мин. Как это видно, относительные значения длительной прочности контрольных и рабочих образцов практически не отличаются.

Следует отметить, что для рабочих образцов, имеющих ориентацию продольной оси $\varphi = 45^\circ$, разброс экспериментальных данных по долговечности t оказался настолько большим, что практически невозможно было отыскать какую-либо корреляционную связь между σ и t . Но с учетом их разброса из экспериментальных точек на фиг. 2 видно, что долговечность остается неизменной.

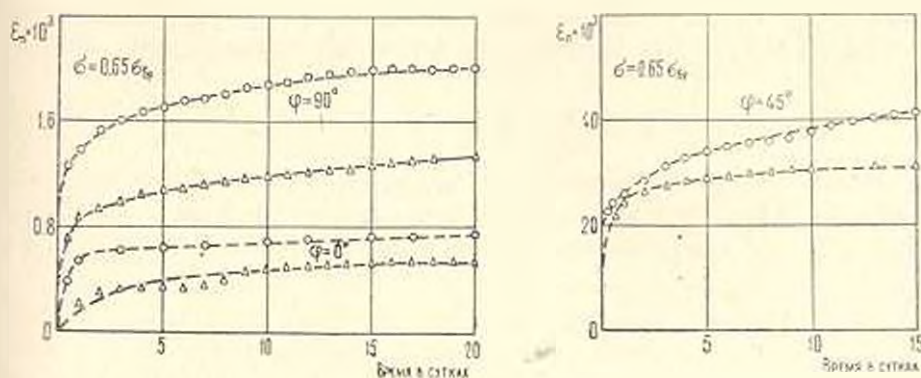
Известен ряд работ, посвященных экспериментальному исследованию влияния влажности и температуры среды на ползучесть полимерных материалов [1, 3 и др.]. Довольно глубоко изучена [4] температурно-влажностно-временная аналогия при исследованиях ползучести полимерных материалов, которая позволяет прогнозировать длительную ползучесть по данным экспресс-испытаний. Показано, что, вследствие воздействия указанных выше факторов окружающей среды на материал, ползучесть существенно увеличивается. В связи с этим представляет определенный интерес вопрос экспериментального исследования влияния ускоренных климатических испытаний (УКИ) на ползучесть стеклотекстолита при испытаниях длительной прочности. На фиг. 3 и 4 приведены кривые ползучести данного мате-



Фиг. 3. Кривые ползучести стеклотекстолита под $\sigma = 0.8 \sigma_B$: а) при $\varphi = 0^\circ$ и 90° ; б) при $\varphi = 45^\circ$. $\circ$ — контрольные образцы; Δ — рабочие образцы.

риала с ориентациями $\varphi = 0^\circ$; 45° и 90° при одноосном растяжении. Величины напряжений и длительности нагружения, при которых исследовалась ползучесть, соответствовали условиям исследования длительной прочности материала. Этим объясняется то, что с увеличением уровня напряжения сокращается длительность нахождения образцов под нагрузкой. Наблюда-

ния показывают, что во всех случаях кривые ползучести рабочих образцов, независимо от уровня напряжения, длительности нагружения и ориентации, проходят ниже контрольных кривых. Уменьшение величины деформации ползучести при значении напряжения 0.8 от кратковременной прочности у рабочих образцов с ориентациями $\varphi = 0^\circ$ и 90° составляет соответственно 9 и 6%, тогда как у образцов, вырезанных в направлении 45° , оно достигает 41%. Как известно, в композиционных материалах с ориентациями $\varphi = 45^\circ$ действующие напряжения, главным образом, приходятся на долю связующего и частично монолитности системы волокно-связующее. Следовательно, в процессе ускоренных климатических испытаний (УКИ) термический режим, по-видимому, приводит к дальнейшему отверждению связующего ЭДТ-10Т (увеличивается число пространственно сшитых полимерных цепей, что приводит к уменьшению подвижности этих цепей при растяжении). Вследствие этого снижаются деформации материала [7].



Фиг. 4. Кривые ползучести стеклотекстолита под $\sigma = 0.65 \sigma_b$: а) при $\varphi = 0$ и 90° ; б) при $\varphi = 45^\circ$. $\circ$ — контрольные образцы; $\triangle$ — рабочие образцы.

Однако, снижения деформации ползучести при более длительном воздействии напряжения ($0.65 \sigma_b$), независимо от ориентации образца, выражаются примерно одинаковыми процентными соотношениями по сравнению с контрольными (27, 34 и 25%). Но, как показывают испытания на кратковременную и длительную прочность, повышение жесткости связующего еще не означает упрочнение самого стеклопластика в целом, так как при разрушении образцов определяющими являются, главным образом, армирующие волокна и частично монолитность системы волокно-связующее. Полученные данные подтверждают, что УКИ не оказывает влияния на механические свойства волокна, а действует на связующее и на систему волокно-связующее.

Выводы. Исследовано влияние комплекса ускоренных климатических испытаний (УКИ) на прочностные и деформативные свойства стеклотекстолита при кратковременном и длительном воздействии растягивающей нагрузки. Установлено, что заданный комплекс УКИ:

1. Практически не влияет на кратковременную прочность стеклотекстолита при ориентациях $\varphi = 0^\circ$ и 45° , однако приводит к значительному его уменьшению при $\varphi = 90^\circ$.

2. Независимо от анизотропии материала, не влияет на длительную прочность (относительные значения длительной прочности контрольных и рабочих образцов практически не отличаются).

3. Приводит к изменению деформативных свойств, в частности, коэффициента Пуассона и деформации ползучести (в зависимости от уровня напряжения и ориентации образца).

Институт механики
АН Армянской ССР

Поступила 18 VII 1977

Ա. Ն. ԿԱԶՐԱՄԱՆՅԱՆ, Մ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ԱՐԱԳԱՅՎԱՆ ԿԼԻՄԱՅԱԿԱՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ (ՄԿՄ) ԱԶԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԱՊԱԿԵՏԵԲՍՈՒՄԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԴԵՖՈՐՄԱՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ԿՐԱ

Ա մ փ ո լ ի ո ս մ

Ուսումնասիրված է արագացված կլիմայական փորձարկումների (ՄԿՄ) կոմպլեքսի ազդեցությունը ապակետեքստիլիտի ամրության և դեֆորմատիվության վրա՝ հաշվի առնելով նրա մեխանիկական հատկությունների անիզոտրոպիան (անհամասեռությունը)։

Փորձնականորեն հաստատված է, որ կիրառված ՄԿՄ կոմպլեքսը, որն ընդգրկում է խնչպես չնրմային, այնպես էլ միջավայրի խոնավության ազդեցությունը նյութի վրա, գործնականորեն չի ազդում նրա ամրության վրա խնչպես բնական պայմաններում, այնպես էլ երկարատև ազդեցության դեպքում։ Մյուս կողմից, ՄԿՄ-ն բերում է դեֆորմացիոն հատկությունների մասնավորապես՝ Պուասոնի գործակցի և սողքի դեֆորմացիաների (կախված նմուշների անիզոտրոպության կողմնորոշումից և լարումների մակարդակից) նշանակալի փոփոխության։

THE INFLUENCE OF ACCELERATED CLIMATIC TESTS ON THE STRENGTH AND DEFORMATION OF FIBRE-GLASS REINFORCED PLASTIC

A. N. KAGRAMANIAN, M. M. MARTIROSIAN

S u m m a r y

The effect of the accelerated climatic tests complex (ACT) on the properties of strength and deformation of fibre-glass reinforced plastic, taking account of the anisotropy of its mechanical properties, is investigated.

It is established experimentally that the given ACT complex, including both temperature and damping influences of the environment on the material, has practically no effect on its strength properties either under momentary or prolonged load. ACT gives rise to changes in deformation properties, in Poisson's coefficient and creep deformation in particular (depending on the specimen's orientation and the level of stress).

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова М. К., Соколов Б. П., Сидорин Я. С., Иванов А. П. Прочность корпуса судна из стеклопластика. Л., изд. «Судостроение», 1965, с. 332.
2. Смирнов В. И., Междеряков В. В., Иванов Н. С. Изменение физико-механических характеристик полиэфирного стеклопластика после четырехлетнего пребывания в морской воде, топливе, масле и атмосферных условиях. В сб. «Свойства полиэфирных стеклопластиков и методы их контроля», вып. 2. Л., изд. «Судостроение», 1970, с. 15—29.
3. Перлин С. М., Борисенко Л. А., Обищенко Л. Н., Ломакин А. Т. Влияние среды и температуры на остаточные напряжения в стеклопластиках. ФХММ, 1969, № 5, с. 638—639.
4. Уржумиса Ю. С., Максимов Р. Д. Прогностика деформативности полимерных материалов. Рига, изд. «Зинатне», 1975, с. 416.
5. Каргин В. А., Малинский Ю. М., Рабинович А. А., Трифель Б. Ю. О прочности модельных образцов однонаправленных структур. Докл. АН СССР, 1964, т. 157, № 6.
6. Шлица Р. П. Особенности деформирования стеклопластиков при растяжении. Механика полимеров, 1966, № 2.
7. Мартиросян М. М. Влияние старения на ползучесть стеклопластика СВАН при растяжении с учетом ориентации волокон. Механика полимеров, 1965, № 6.