Zumpn Tom 101						2001]	№ 4							
	<u>д о</u>	КЛ	[A	ДЫ						9	<u>१</u> Б	; ५ (<u>] </u>	-88	<u>3ι</u>	Ъ	ſ						R	E]	<u>P O</u>	R	<u>t s</u>	I
]	ΝΑ	ΤI	0]	NAL	Α	С	Α	D	ΕN	/I Y		0	F	S	С	II	ΞN	С	E S	S	0	F	Α	RN	ΛE	N	ΙA	
	ΗA	ЦИ	10	НАЛ	Б	H.	Α	Я		A]	К	АĮ	ĮΕ	Μ	И	Я		Η	Α	У	К		ΑF	M	Ε	ΗĮ	1И	
4	2U8	រប	JS	ԱՆԻ	C	<u></u> Ի	S	Ωŀ	ጉ በን	91	<u>I</u> I	ԻՆ	Նե	Γ	Þ		U٩	5 đ	U	3 I	ኮՆ		ԱԿ	IJ	ጉቲ	ប	ኩU	Ĺ

МЕХАНИКА

УДК 678.057:620.17:539.37

К. А. Карапетян

Деформативные свойства стеклопластиковых труб при повторно-статическом одноосном и комбинированном нагружениях

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 27/IV 2001)

Данные о механическом поведении полимерных композитов при повторно – статических нагружениях в основном были получены в условиях одноосного напряженного состояния [1-3 и др.]. Подобная информация для неодноосного нагружения-разгрузки может способствовать более верному представлению о работе композитов в реальных конструкциях.

В работе приводятся результаты экспериментального исследования деформационных свойств стеклопластика в условиях повторно-статического комбинированного простого нагружения растягивающим усилием и крутящим моментом. Приводятся также результаты аналогичных исследований, проведенных при одноосном растяжении и кручении.

В качестве опытных образцов использовались трубы со стеклотканевой основой следующих размеров: внутренний диаметр — 38 мм, толщина стенки — 2.25 мм, длина — 285 мм. Подробные сведения об изготовлении труб приведены в работе [4]. Отметим, что направление основы стеклоткани совпадало с направлением продольной оси образцов ($\varphi = 0^0$).

Стеклопластиковые трубы подвергали повторно-статическому нагружению со ступенчатообразным изменением нагрузки с шагом $0.1\sigma_B$ при осевом растяжении и $0.05\tau_B$ при кручении ($\sigma_B = 147.1$ МПа, $\tau_B = 47.1$ МПа – временное сопротивление труб при одноосном растяжении и кручении) и выдержкой на каждом уровне лишь на время, необходимое для взятия данных с индикаторов, измеряющих деформации. При испытании труб на циклическое растяжение со средней скоростью 0.27 МПа/с и на кручение со средней скоростью 0.1 МПа/с максимальное значение приложенного усилия составляло $0.6\sigma_B$ и $0.3\tau_B$, соответственно. В случае циклического комбинированного нагружения труб режимы испытания были приняты теми же. Число циклов при испытаниях принималось равным 12. Для каждого вида испытаний были использованы по 3 образца-близнеца; измерялись как продольные, так и сдвиговые деформации. При этом максимальный разброс амплитудных и остаточных значений деформаций по отношению к их средней арифметической величине в случае одноосного циклического растяжения составляет, соответственно, +2.5, -3.6 и +5.3, -4.2%; в случае кручения - + 2.6, -2.7 и +3.1, -4.5%, а в случае кручения с растяжением при простом нагружении - + 3.6, -4.8 и +3.8, -3.7%.

Анализ полученных опытных данных был проведен на основе зависимостей интенсивностей деформаций сдвига Г от интенсивностей касательных напряжений Т, выражения которых в цилиндрической координатной системе следующие [5]:

при осевом растяжении

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}} |\sigma_z|,\tag{1}$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2},\tag{2}$$

при кручении

$$T = \tau_{\theta Z},\tag{3}$$

$$\Gamma = \gamma_{\theta Z},\tag{4}$$

при растяжении с кручением

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_{\theta z}^2},\tag{5}$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_r)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_\theta - \varepsilon_z)^2 + \frac{3}{2}\gamma_{\theta z}^2}.$$
(6)

В выражениях (2) и (6) $\varepsilon_r = -v_1 \varepsilon_z$, $\varepsilon_{\theta} = -v_2 \varepsilon_z$, где v_1 и v_2 коэффициенты Пуассона в радиальном и окружном направлениях соответственно. Их значения, согласно проведенным испытаниям, для стеклотканевых пластиков с $\varphi = 0^0$ можно принять равными 0.2 и 0.16, соответственно.

Экспериментально полученные соотношения между T и Γ на участках восходящей (\rightarrow) и нисходящей (\leftarrow) ветвей петли гистерезиса цикла при указанных выше случаях испытаний труб описаны дробнолинейной функцией следующего вида:

$$\vec{\overline{T}} = \frac{T_B}{\vec{\overline{a}}} \frac{\Gamma - \Gamma_{\text{OCT}}}{1 \pm \frac{\overline{b}}{\vec{\overline{a}}} (\Gamma - \Gamma_{\text{OCT}})},\tag{7}$$

где T_B — предельное значение T, соответственное разрушению, Γ_{OCT} — величина интенсивностей остаточных деформаций сдвига цикла, a и b параметры аппроксимации (7).

Значения параметров, входящих в (7), для I, II, III и XII циклов испытаний труб приведены в таблице, где Г_{амп} - амплитудная величина интенсивностей деформации сдвига цикла. Отметим, что указанные параметры были определены и для остальных циклов испытаний.



Кривые петли гистерезиса, построенные согласно зависимости (7), с использованием данных таблицы, для указанных выше циклов испытаний труб приведены на рис.1, где точками показаны соответствующие экспериментальные данные. Из рисунка можно заключить, что аналитическая зависимость (7) приемлема для описания экспериментальных данных.

На рис.2 приведены кривые изменений интенсивностей амплитудных и остаточных деформаций сдвига в зависимости от номера цикла (п) испытаний труб. Согласно данным рис.2,а, после I цикла наблюдается уменьшение $\Gamma_{aмn}$, которое в случае совместного действия растяжения с кручением составляет более чем 13% в IV цикле, а в остальных случаях оно менее существенно. В дальнейшем, с увеличением числа циклов, во всех случаях испытаний имеет место некоторое монотонное увеличение значений $\Gamma_{aмn}$. Отметим, что отношения Γ_{amn} , полученные при совместном действии растяжения с кручением сденосного растяжения или кручения труб для одного и того же номера цикла практически не зависят от количества циклов испытаний и составляют 1.5 – 1.6.



Количество циклов испытаний

Рис. 2. Кривые изменения интенсивностей амплитудных (а) и остаточных (б) деформаций сдвига в зависимости от номера цикла испытаний стеклопластиковых труб на повторно-статическое одноосное растяжение (1), кручение (2) и кручение с растяжением при простом нагружении (3).



Рис. 3. Кривые изменения коэффициента рассеяния энергии Ψ стеклопластиковых труб, подвергнутых повторно-статическому одноосному растяжению (1), кручению (2) и кручению с растяжением при простом нагружении (3), в зависимости от номера цикла испытаний п.

Из рис.2,б следует, что с увеличением числа циклов, независимо от вида испытаний труб, величины Г_{ОСТ} цикла уменьшаются с убывающей скоростью.

Согласно данным, полученным при одном и том же номере цикла идентичных испытаний (рис.2,a,б), значения Γ_{OCT} через 5 – 6 циклов не превосходят 3% от величин $\Gamma_{амп}$. В связи с этим можно заключить, что в рассматриваемых случаях испытаний стеклопластиковых труб образование замкнутой петли гистерезиса для полного цикла нагружение-разгрузка практически происходит уже через 5 – 6 циклов.

Известно, что характеристикой рассеяния энергии, наблюдаемой при циклическом нагружении конструкционных материалов [1, 2, 6-10 и др.], считается его относительное значение, выражаемое зависимостью [6]:

$$\psi = \frac{\Delta W}{W},\tag{8}$$

где ΔW — величина рассеянной за цикл энергии, W - величина энергии деформирования. Известно также, что величиной, определяющей рассеяние энергии в материале, деформируемом в режиме нагружение-разгрузка, является зависимость между T и Γ [11].

Поскольку величины ΔW и W - представляют собой, соответственно, площадь петли и гистерезиса, площадь, ограниченную восходящей ветвью гистерезиса и осью Г, используя (7), (8) и обозначая $\frac{d}{d} / \frac{d}{b} = \frac{d}{x}$, для ψ получим

$$\psi = \frac{\int_{0}^{\Gamma_{\mathbf{a}\mathbf{M}\mathbf{II}}} \frac{T_B}{\vec{a}} \frac{\Gamma}{1 + \frac{1}{\vec{X}}\Gamma} d\Gamma - \int_{\Gamma_{\mathbf{OCT}}}^{\Gamma_{\mathbf{a}\mathbf{M}\mathbf{II}}} \frac{T_B}{\vec{a}} \frac{\Gamma - \Gamma_{\mathbf{OCT}}}{1 - \frac{1}{\vec{X}}(\Gamma - \Gamma_{\mathbf{OCT}})} d\Gamma}{\int_{0}^{\Gamma_{\mathbf{a}\mathbf{M}\mathbf{II}}} \frac{T_B}{\vec{a}} \frac{\Gamma}{1 + \frac{1}{\vec{X}}\Gamma} d\Gamma}$$
(9)

Формула (9) может быть переписана так:

$$\Phi = 1 - \frac{\vec{b} \left[-(\Gamma_{\text{амп}} - \Gamma_{\text{ОСТ}}) - \tilde{x} \ln |1 - \frac{1}{\tilde{X}} (\Gamma - \Gamma_{\text{ОСT}})| \right]}{\tilde{b} \left[\Gamma_{\text{амп}} - \vec{x} \ln \left(1 + \frac{1}{\tilde{X}} \Gamma_{\text{амп}} \right) \right]$$
(10)

Кривые изменения коэффициента ψ в зависимости от номера цикла испытаний, построенные согласно зависимости (10), приведены на рис.3. Из него следует, что с увеличением п значения ψ в рассматриваемых случаях испытаний монотонно уменьшаются с убывающей скоростью. Отношение ве.шчин коэффициента ψ , полученных при I и XII циклах испытаний, составляет приблизительно 2.4 в условиях совместного действия растяжения и кручения, 2.3 при осевом растяжении и 1.5 при кручении.

Вид цикли-	N⁰	Параметры										
ческого	цикла	т	Г	Г	По восхо	дящей	По нисходящей					
нагружения	испы-		I _{амп.}	$1_{\text{OCT.}}$	ветви гис	терезиса	ветви гистерезиса					
образцов	таний	Ivii la	×10	×10	$\vec{a} \times 10^3$	\vec{b}	ā×10 ³	þ				
Осевое	Ι		13.85	1.48	16.40	0.624	25.00	0.213				
растяжение	II	84.93	12,87	0.25	19.00	0.332	25.00	0.173				
	III		13.02	0.18	19.00	0.349	25.50	0,177				
	XII		13.58	0.12	19.64	0.359	26.98	0.156				
Кручение	1	47.10	13.45	1.13	33.50	0.842	57,00	1.293				
	II		13.07	0.53	34.60	0.686	57.80	1.275				
	III		13.02	0.47	34.60	0.676	57.80	1.272				
	XII		13.14	0.37	34.64	0.682	59.99	1.238				
Растяжение	Ι		22.70	4.21	22.30	1.003	51.49	0.766				
с кручением	II	77.20	19.70	1.91	30,50	0.435	45.00	0.544				
	III	//.30	19.64	1.17	33.80	0.259	54.50	0.971				
	XII		21.60	0.34	32.88	0.456	56.98	0.645				

Таким образом: 1) при циклическом простом нагр ужении стекло пластиковых труб, в условиях совместного действия растяжения и кручения, величины интенсивностей ампли-

тудных деформаций сдвига для одного и того же номера цикла оказываются более чем на 50% больше, чем в случае циклического осевого растяжения или кручения; 2) После стабилизации процесса деформирования (через 5 – 6 циклов нагружения – разгрузки) величины интенсивностей остаточных деформаций сдвига стеклопластико- вых труб, подвергнутых повторно – статическому кручению с растяжением или простому кручению, практически не отличаются друг от друга. Они превосходят величины интенсивностей остаточных деформаций сдвига величины интенсивностей остаточных деформаций сдвига при одноосном циклическом растяжении более чем в 3 раза. Аналогичная закономерность имеет место для коэффициента рассеяния энергии, при этом отмеченное выше отношение составляет 1.5.

Следовательно, характеристики деформационных свойств тонкостенных стеклотканевых труб при повторно-статическом кручении с растяжением в условиях простого нагружения или кручения могут быть определены из экспериментов на циклическое растяжение.

Автор выражает благодарность А. М. Симоняну за консультации при проведении исследований.

Институт механики НАН РА

Կ. Ա. Կարապետյան

Ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմատիվ հատկությունները կրկնվող-ստատիկ միառանցք և կոմբինացված բեռնավորման դեպքում

Բերվում են ապակեպլաստե բարակապատ խողովակների դեֆորմատիվ հատկությունների ուսումնասիրման արդյունքները կրկնվող-ստատիկ առանցքային ձգման, ոլորման և նշված ուժային գործոնների կոմբինացիայով իրականացվող պարզ բեռնավորման դեպքերում։ Պարզվել է, որ անկախ բեռնավորման ցիկլերի քանակից, խողովակների սահքի դեֆորմացիաների ինտենսիվությունների ամպլիտուդային մեծությունները կրկնվող-ստատիկ կոմբինացված բեռնավորման դեպքում ստացվում են 50%-ով ավել, քան ցիկլիկ բեռնավորման մյուս դեպքում։

Ստացված է, որ սահքի դեֆորմացիաների ինտենսիվությունների մնացորդային, ինչպես նաև դեֆորմացման էներգիայի ցրման գործակցի մեծությունները խողովակների կոմբինացված կամ միայն ոլորող մոմենտով բեռնավորման դեպքում փորձարկման միննույն ցիկլի ժամանակ ստացվում են էապես մեծ, քան խողովակները միայն առանցքային ձգող ուժով բեռնավորում-բեռնաթափելիս։

Ցույց է տրված, որ հաստատուն առնցքային ձգող ուժի առկայությամբ կրկնվողստատիկ ոլորման կամ պարզ ոլորման ենթարկվող ապակեպլաստե խողովակների բնութագրիչները կարելի է որոշել խողովակների ցիկլիկ առանցքային ձգման փորձերի արդյունքներից։

Литература

1. Портнов Г. Г., Баринов Н. Н. - Механика композитных материалов. 1992. №5. С. 639-643.

2. Мошев В. В., Ковров В. Н. - Механика композитных материалов. 1995. №5. С. 579-583

3. Саркисян Н. Е. - Механика композитных материалов. 1976. №6 С 991-994.

4. *Карапетян К. А., Саркисян Н. Е., Хачикян А. Г.* - Изв. НАН и ГИУ Армении. Сер. техн. наук. 1998. Т. 51. №2. С.127-132.

5. Качанов Л. М. Основы теории пластичности. М. Наука. 1969. 420 с.

6. Давиденков Н. Н. - ЖТФ. 1938. Т.8. Вып.6. С. 13-25.

7. Пановко Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. М. Гос. Изд, физ.мат. лит. 1960. 193 с.

8. Гурьев А. В., Мирошников Э. В. В сб.: Труды рассеяния энергии при колебаниях механических систем. Киев. Наукова думка. 1974. С. 203-208

9. *Карапетян Б. К., Арутюнян С. М.* - Тр. АРМ. НИИС-а. Ереван. Айастан. 1980. Вып. 15. С. 24-31.

10. *Месчян С. Р., Петросян Т. Л.* - Изв. АН Арм. ССР. Науки о Земле. 1989. Т. 42., №5. С. 69-74.

11. Ильюшин А. А. Пластичность. М.-Л. Гостехиздат. 1948. 376 с.