

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЮ И РАЗРУШЕНИЮ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ВОЛОКНИТА ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ

Л.И. Огородов, С.В. Красиков, А.А. Моисеев

*Вологодский государственный технический университет,
Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15*

Приводятся результаты кратковременных и длительных испытаний на одноосное сжатие состаренных при хранении в течение восемнадцати лет образцов композиционного материала (волокнита) на основе фенолформальдегидной смолы с армированием (степень наполнения 55%) короткими волокнами асбеста. Дается сопоставление с результатами испытаний образцов волокнита в состоянии поставки.

В [1] представлены экспериментальные данные по сопротивлению деформированию и разрушению композитных материалов на основе фенолформальдегидной смолы с дисперсным армированием (30%) частицами древесной муки (К-211-2) и частицами каолина (К-18-36). Оценка влияния армирующих частиц различной природы на механические характеристики этих композитов при одноосном сжатии и растяжении дается в работе [2]. В [3] обсуждались некоторые результаты испытаний композитного материала (волокнита ВЛ-1) на основе этой же смолы с армированием короткими волокнами асбеста (степень наполнения 55%). Все эти материалы проходили длительное естественное старение при хранении в течение 18 - 19 лет. В настоящей работе приводятся данные экспериментального исследования сопротивления деформированию и разрушению волокнита ВЛ-1 в условиях кратковременного и длительного нагружения одноосным сжатием.

Образцы волокнита ВЛ-1 цилиндрической формы диаметром 12 мм и высотой 21 мм закладывали между плитами прессов (машин) без смазки торцов. Опыты на кратковременное нагружение производились с различными скоростями смещения плит прессов (скоростями деформирования v). В условиях длительного статического нагружения поддерживались заданные значения условных напряжений (осевые деформации в момент разрушения не превышали 8%). Испытания проводились при температуре $T = 22 \pm 2^\circ\text{C}$. Результаты испытаний образцов волокнита ВЛ-1 в состоянии поставки представлены Ю.Я.Логиновым. Образцы для повторных испытаний хранились 18 - 19 лет в условиях отапливаемого складского помещения (температура колебалась в пределах $18 \dots 25^\circ\text{C}$ при влажности не более 50%).

Значения (средние по пяти попыткам) механических характеристик волокнита ВЛ-1 ($\sigma_{\text{ис}}$ – предел прочности при сжатии; $\epsilon_{\text{ис}}$ – деформация, соответствующая пределу прочности; ϵ_r – остаточная деформация при разрушении; E_c – модуль упругости) при одноосном сжатии с различными скоростями деформирования образцов представлены в таблице 1.

Отмечается относительно меньшая прочность образцов волокнита ВЛ-1 при нагружении с малыми ($v = 0.05$ мм/мин) и большими ($v = 100$ мм/мин) скоростями деформирования. Изменение предела прочности волокнита в исследованном диапазоне

скоростей v достигает 20%. В этом диапазоне скоростей деформирования значения максимальных отклонений от средних значений $\sigma_{ис}$, $\epsilon_{ис}$, ϵ_r и E_c составили 2% ... 9%, 9% ... 22%, 7% ... 45% и 2% ... 14% соответственно.

Т а б л и ц а 1. Механические характеристики при сжатии с различными скоростями деформирования волокнита ВЛ-1, прошедшего естественное старение при хранении в течение 18 лет.

Скорость деформирования v , мм/мин	Механические характеристики			
	$\sigma_{ис}$, МПа	$\epsilon_{ис}$	ϵ_r	E_c , МПа
0,05	126,0	0,053	0,014	3230
0,4	131,4	0,057	0,016	3400
2,0	145,9	0,053	0,014	3620
4,0	150,4	0,062	0,02	3580
20,0	156,6	0,077	0,025	3010
60,0	151,2	0,062	0,026	3430
100,0	133,6	0,058	0,004	2470

В таблице 2 сопоставлены механические характеристики волокнита ВЛ-1 до и после длительного естественного старения.

Т а б л и ц а 2. Изменение механических характеристик волокнита ВЛ-1 вследствие естественного старения в течение 18 лет по данным испытаний на сжатие в зависимости от скорости деформирования.

Скорость деформирования v , мм/мин	Механические характеристики и их изменение					
	$\sigma_{ис}$, МПа			$\epsilon_{ис}$		
	до старения	после старения	изменение в %	до старения	после старения	изменение в %
0,05	135,1	126,0	-6,7	0,045	0,053	+ 18
0,4	149,7	131,4	-12,2	0,01	0,057	+ 470
4,0	157,5	150,4	-4,5	0,011	0,062	+ 464
60,0	167,8	151,2	-9,9	0,013	0,062	+ 377

Изменение механических характеристик волокнита в зависимости от скорости деформирования можно оценить по данным таблицы 3, где за 100% приняты значения этих характеристик при скорости деформирования 0,05 мм/мин.

Т а б л и ц а 3. Относительное изменение механических характеристик (%), волокнита ВЛ-1 при сжатии в зависимости от скорости деформирования.

Скорость деформирования v , мм/мин	$\sigma_{ис}$		$\epsilon_{ис}$	
	до старения	после старения	до старения	после старения
0,4	111	104	22	107
4,0	116	119	24	117
60,0	124	120	29	117

В отличие от композитов К-211-2 и К-18-36 [1], старение волокнита ВЛ-1 вызывает снижение предела прочности при сжатии. Изменение механических характеристик

до и после старения волокнита при увеличении скорости деформирования, отмеченное в таблице 3, аналогично изменению этих же характеристик композита К-18-36, армированного частицами каолина [1].

Перейдем к оценке механических характеристик волокнита ВЛ-1 при кратковременном нагружении после предварительного длительного нагружения образцов одноосным сжатием. Данные обработки результатов этих опытов представлены в таблицах 4 и 5.

Т а б л и ц а 4. Изменение механических характеристик при сжатии ($v = 2$ мм/мин) волокнита ВЛ-1, прошедшего естественное старение в течение 18 лет и последующее предварительное нагружение сжатием с релаксацией напряжений от $\sigma = 124,0$ МПа до $\sigma = 102,1$ МПа за 18700 мин

Состояние образцов	Механические характеристики			
	$\sigma_{ис}$, МПа	$\epsilon_{ис}$	ϵ_r	E_c , МПа
Без предварительного нагружения	145,9	0,053	0,014	3620
После предварительного нагружения	169,8	0,065	0,012	3030
Изменение в %	+16,4	+22,6	-14,3	-16,3

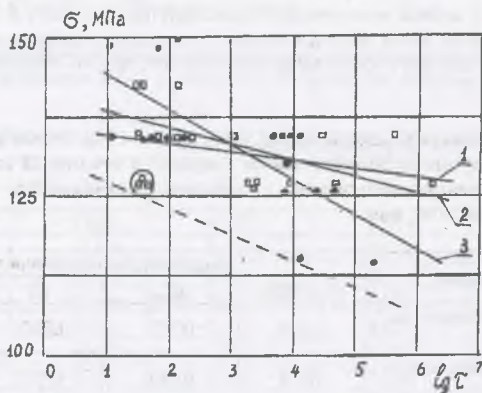
Т а б л и ц а 5. Изменение механических характеристик при сжатии волокнита ВЛ-1, прошедшего естественное старение в течение 18 лет и последующее предварительное длительное нагружение сжатием.

Параметры предварительного нагружения		Скорость смещения захватов v , мм/мин	Механические характеристики и их изменение			
σ , МПа	$\lg \tau$ (с)		$\sigma_{ис}$, МПа	$\epsilon_{ис}$	ϵ_r	E_c , МПа
Без нагружения		0,4	131,4	0,057	0,016	3400
122,4	7,054	0,4	171,9	0,057	0,002	3130
Изменение в %			+30,8	0,0	-87,5	-7,9
109,4	7,157	0,4	168,4	0,057	0,003	3130
Изменение в %			+28,2	0,0	-81,2	-7,9
Без нагружения		2,0	145,9	0,053	0,014	3620
112,0	7,005	2,0	176,3	0,057	0,005	3140
Изменение в %			+20,8	+7,5	-64,3	-13,2

Отмечается повышение предела прочности волокнита $\sigma_{ис}$ до 30% и, в несколько меньшей мере, деформаций, ему соответствующих $\epsilon_{ис}$, а также снижение значений модуля упругости и предельных остаточных деформаций сжатия, причем снижение этих деформаций достигает 87%.

На рисунке представлены результаты длительных испытаний на сжатие в условиях стационарного нагружения образцов волокнита ВЛ-1 до разрушения (введены обозначения $\square$ – до старения, $\bullet$ – после старения). Опытные данные аппроксимированы линейными корреляционными уравнениями вида $\sigma = A - B \cdot \lg t$, где σ – напряжение в МПа; t – время нагружения в секундах (при получении кривой 2 из выборки исключены три экспериментальные точки, отмеченные на рисунке кружком). Определена кри-

вая длительной прочности ($\sigma = 1312 - 4,17 \cdot \lg t$) малой вероятности разрушения, показанная на рисунке штриховой линией.



Результаты длительных испытаний на сжатие в условиях стационарного нагружения образцов волокнита ВЛ-1 до разрушения ($\square$ — до старения, $\bullet$ — после старения).

Для оценки долговечности элементов конструкций из волокнита ВЛ-1 при нестационарных режимах статического нагружения (включая и малоцикловое нагружение), можно предложить кинетическое уравнение вида :

$$P = \int_0^{\tau} f[\sigma(\theta)] K(\tau - \theta) d\theta.$$

Учитывая значительную дисперсию экспериментальных данных при экспериментальном получении кривой длительной прочности волокнита ВЛ-1, ядро $K(\tau - \theta)$ следует связывать с уравнением ($\sigma = 1312 - 4,17 \cdot \lg t$) кривой малой вероятности разрушения.

Список литературы

1. Павлов П.А., Огородов Л.И. Длительное сопротивление полимерных и композитных материалов с учетом времени многолетнего естественного старения // Механика композитных материалов. 1991. №4. С.692-696.
2. Огородов Л.И. Результаты исследования сопротивления деформированию и разрушению ряда полимерных композитных материалов // Механика композитных материалов. 1994. №4. С.771-780.
3. Павлов П.А., Огородов Л.И., Логинов Ю.Я. Кратковременное и длительное сопротивление деформированию и разрушению волокнита с учетом естественного старения // Тезисы докл. науч.-техн. конф. "Композиционные материалы в конструкциях глубоководных технических средств". Николаев: НКИ, 1991. С.118-120.
4. Павлов П.А., Огородов Л.И. Процесс повреждений и разрушение стохастически армированных полимерных композитов. I. Анализ моделей и экспериментальных данных при нестационарном пропорциональном нагружении // Механика композитных материалов. 1993. №6. С.755-764.