

Н. Е. САРКИСЯН

О ВЛИЯНИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Определенный интерес представляет исследование влияния предварительного циклического нагружения на изменение механических свойств стекловолоконистого материала при его последующем статическом нагружении. Для более полного освещения вопроса необходимо изучить степень воздействия целого ряда важных эксплуатационных и технологических факторов (частота и длительность нагружения, вид деформации и тип связующего, анизотропия механических свойств и т. д.).

К настоящему времени получены результаты, отражающие влияние предварительного утомления стеклопластиков на изменение показателей прочности и деформативности этих материалов при их последующем *кратковременном* статическом нагружении [1—4], причем в основном экспериментальные данные соответствуют плоскому изгибу образцов.

Данная работа посвящена исследованию влияния предварительного пульсирующего растяжения (частота нагружения 1200 *цикл/мин*) на ползучесть при растяжении, а также на характер зависимости напряжение—деформация ($\sigma - \varepsilon$) и предел прочности стеклопластика при кратковременном статическом растяжении. Сделана также попытка выяснить, как в отдельности влияет предварительное нахождение композитного материала под постоянной и переменной нагрузкой на изменение прочностных и деформативных свойств при кратковременном растяжении, с доведением опыта до разрушения образца.

Испытаниям подвергались плоские образцы в форме двухсторонней лопатки, вырезанные из листов слоистого пластика типа СВАН на эпокси-фенольном связующем и имеющие ортогонально равнопрочную укладку стекловолокон в композите [5].

Нагрузка на материал прикладывалась в направлении волокон.

Все образцы для испытаний предварительно подвергались термической обработке по режиму, близкому, примененному в работе [6], но с повышением верхнего предела температуры нагрева до 160°С.

Общая методика усталостных испытаний и испытаний на кратковременное растяжение соответствует описанной ранее [5]. Для исследования ползучести были использованы двухрычажные установки, разработанные в работе [7].

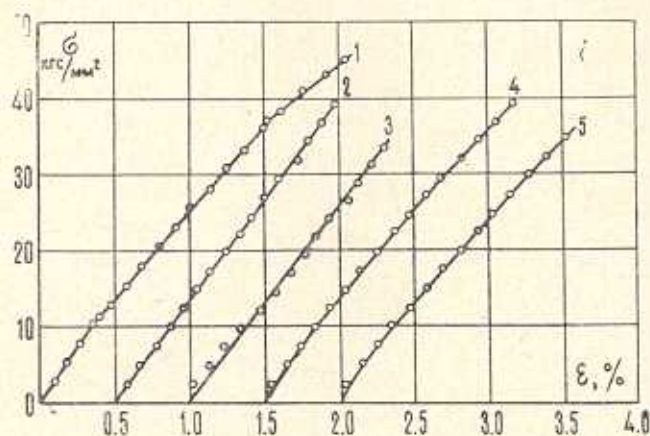
Нагружение образцов в испытаниях на ползучесть и на кратковременное статическое растяжение производилось спустя 15—20 мин после разгрузки образца в предшествующем во времени испытании.

Продольные деформации в испытаниях на ползучесть и на статическое растяжение измерялись с помощью механического тензометра марки МК-3. При циклическом нагружении измерялась только температура разогрева на поверхности образцов, которая в момент разгрузки образца достигала 40—60°C*.

На каждую экспериментальную точку испытывалось по три образца.

Количество циклов предварительного нагружения определялось по усталостной диаграмме Веллера, полученной для испытываемого материала. При этом в общем случае рассматривались три уровня предварительного циклического нагружения, составляющие соответственно 0,25, 0,50 и 0,75 части от выносливости композита при заданной величине циклического напряжения.

Продолжительность нахождения образца под постоянной нагрузкой (длительность испытания на ползучесть) составляла 7 суток.



Фиг. 1

Как показывают экспериментальные данные, более заметное снижение предела прочности композитного материала по мере увеличения числа циклов утомления наблюдается при меньших циклических напряжениях и начиная от сравнительно больших значений N . Например, при максимальном напряжении цикла 18,4 кгс/мм² (40% от предела прочности при растяжении) и числе циклов утомления $N = 400000$ предел кратковременной прочности стеклопластика уменьшается на 22%, при $N = 170000$ — на 5%, а для продолжительности нагружения

* В данных испытаниях температура циклического разогрева перед разгрузкой образца во всех случаях была заметно ниже критической температуры разогрева материала.

$N = 130000$ циклов прочность снижается всего лишь на 2%. Эти данные могут служить мерой накопленной механической повреждаемости материала в процессе нахождения его под циклической нагрузкой.

На фиг. 1 приведены экспериментальные данные, показывающие влияние предварительного циклического нагружения на изменение характера зависимости напряжение—деформация при последующем кратковременном растяжении. Кривая 1 отражает зависимость $\sigma - \varepsilon$ в случае, когда слоистый пластик предварительно не подвергался воздействию переменных нагрузок, кривые 2 и 3 соответствуют числам циклов утомления $N = 170000$ и $N = 400000$. Влияние на характер зависимости $\sigma - \varepsilon$ заключается в том, что длительное циклическое нагружение „стирает“ переломы в графике зависимости напряжение—деформация, определяющие сопротивляемость композитного материала развитию повреждаемости при кратковременном статическом растяжении. Примечательно, что 7-суточное нахождение пластика под постоянной растягивающей нагрузкой не вызывает каких-либо качественных изменений в зависимости $\sigma - \varepsilon$ при последующем кратковременном растяжении (см. кривую 4 на фиг. 1, иллюстрирующую влияние ползучести с напряжением $\sigma_{полз} = 13.75 \text{ кгс/мм}^2$ на статическую деформативность композита при последующем однократном растяжении). Также мало заметно влияние кратковременного циклического нагружения ($N < 2 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4$ циклов) на характер статической деформативности (фиг. 1, кривая 5, $\sigma_{max} = 21.92 \text{ кгс/мм}^2$, $N = 22000$ циклов).

При сравнительно малом количестве циклов утомления*, особенно при малых значениях циклического напряжения, величина модуля упругости при последующем кратковременном растяжении практически не меняется, а на втором и третьем участках диаграммы $\sigma - \varepsilon$ оказывается даже несколько большим (фиг. 1, кривая 2). Для случая, соответствующего, например, кривой 2 на фиг. 1, осредненное по всей диаграмме значение модуля упругости (2700 кгс/мм^2) не изменилось из-за предварительного циклического деформирования, в то время как величина E для начального участка графика $\sigma - \varepsilon$ уменьшилась на 9%, а для второго и третьего участков—несколько повысилась. Это может явиться результатом конкурирующего воздействия двух одновременно происходящих процессов: механического разупрочнения композита из-за развития повреждаемости и повышения сопротивляемости материала внешней растягивающей нагрузке вследствие „натренированности“ его восприятию такой же нагрузки при ее циклическом приложении.

При сравнительно более длительном циклическом нагружении в общем процессе сопротивляемости материала преобладают факторы разупрочнения и поэтому с увеличением числа циклов утомления наблюдается заметное уменьшение модуля упругости (при $N = 400000$

* По отношению к выносливости материала.

циклов значение E снижается на 16% по сравнению с величиной модуля упругости начального участка). Вместе с тем следует отметить, что снижение модуля упругости от изменения числа циклов предварительного нагружения в большом диапазоне циклов (в данных опытах в пределах трех порядков) в количественном отношении незначительно. Минимальное среднее значение E может приблизиться к величине модуля упругости второго участка графика зависимости $\sigma - \epsilon$, соответствующего статическому растяжению стеклопластика, не подвергавшегося предварительному циклическому деформированию.

В приподимой таблице помещены некоторые данные, отражающие суммарное влияние предварительного пульсирующего растяжения и 7-суточного нахождения под постоянной растягивающей нагрузкой (ползучесть) на изменение кратковременного предела прочности и модуля упругости при статическом растяжении стеклопластика типа СВММ. Эти экспериментальные данные получены при варьировании в опытах количества циклов предварительного утомления и величины напряжения ползучести*.

Для оценки влияния отдельно предварительного циклического нагружения специальными опытами устанавливалась степень изменяемости прочностных и деформативных свойств только от ползучести. Согласно полученным данным уровень напряжения ($0.3\sigma_{вр}$ и $0.6\sigma_{вр}$), при котором происходит процесс ползучести, мало влияет на изменение прочности пластика (в пределах 10–12%). Несколько более заметно влияние ползучести на изменение модуля упругости, который при напряжении ползучести $\sigma_{полз} = 13.75 \text{ кгс/мм}^2$ снижается на 18%, а при $\sigma_{полз} = 27.50 \text{ кгс/мм}^2$ — лишь на 11%. Относительно большая доля сохранившейся части модуля упругости при $\sigma_{полз} = 0.6\sigma_{вр}$, по-видимому, является следствием усиления ориентации структуры полимерного материала по отношению к направлению внешней нагрузки. Разумеется, в этом процессе существенную роль играет и величина прилагаемого напряжения в том смысле, что его превышение над некоторым определенным для данного полимерного материала значением снова вызовет ослабление сопротивляемости материала последующему статическому однозначному деформированию.

Из данных таблицы видно, что снижение модуля упругости слоистого пластика (\sim на 20%) определяется самым эффектом предварительного циклического нагружения и нагружения постоянной нагрузкой и в конечном итоге, в определенных пределах длительности нагружения, практически не зависит от числа циклов N и напряжения ползучести.

Относительно больше, на 20–30% по отношению к первоначальному значению, снижается предел кратковременной прочности. Здесь

* Последняя в настоящей работе составляла 30 и 60% от предела прочности композита при статическом растяжении образцов, не подвергшихся ранее каким-либо силовым воздействиям.

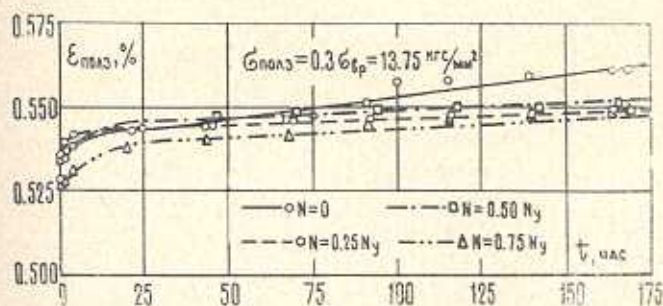
наблюдается также некоторое нарушение монотонности в зависимости снижения прочности от числа циклов нагружения N и напряжения ползучести $\sigma_{полз}$. Подобная картина наблюдалась и ранее [2, 3, 7] при исследовании влияния предварительного нагружения на прочностные и деформативные свойства стеклопластиков. Можно полагать, что это нарушение монотонности является следствием неизбежного отличия в степени приобретаемой повреждаемости образцов при их испытании даже в одинаковых условиях силового воздействия.

Таблица

Относит. предел выносливости N/N_0	Число циклов нагружения $N \times 10^3$ цикла	Предел прочности $\sigma_{пр}$, кгс/мм ²	Относит. снижение предела прочности $\sigma_{пр}/\sigma_{пр0}$	Средний модуль упругости $E_{ср}$, кгс/мм ²	Относит. снижение модуля упругости $E_{ср}/E_1$
0,25	7500	36,39	0,79	2300	0,82
		36,30	0,79	2430	0,86
0,50	15000	33,48	0,73	2300	0,82
		36,40	0,79	2250	0,80
0,75	22000	34,84	0,76	2260	0,80
		32,69	0,71	2190	0,78

Примечание: Данные первой строки соответствуют испытаниям на ползучесть при напряжении $\sigma_{полз} = 0,3 \sigma_{пр} = 13,75$ кгс/мм², а второй строки — при $\sigma_{полз} = 0,6 \sigma_{пр} = 27,50$ кгс/мм². E_1 есть модуль упругости начального участка зависимости $\sigma-\epsilon$; $\sigma_{пр}^*$ — предел прочности пластика, подвергнутого предварительному нагружению.

На фиг. 2 и 3 приведены кривые, иллюстрирующие влияние предварительного пульсирующего растяжения на последующий процесс ползучести слоистого пластика типа СВМ при растяжении.



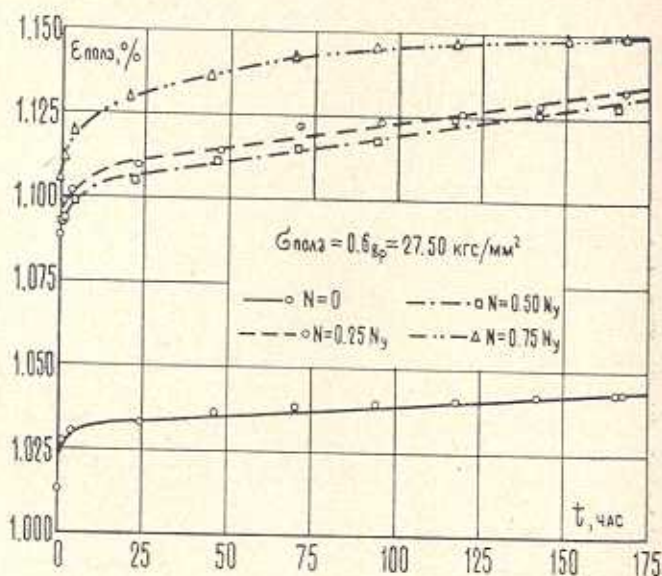
Фиг. 2

При меньшем значении напряжения $\sigma_{полз}$ (фиг. 2) предварительное утомление материала приводит к некоторому уменьшению как величины полной деформации, так и скорости ползучести на устано-

вившейся стадии процесса. При сравнительно большем значении циклического напряжения может заметно снизиться также доля условно мгновенной упругой деформации ползучести.

В случае же, когда процесс ползучести протекает при сравнительно большем значении напряжения (фиг. 3), наблюдается обратная картина. Полная деформация ползучести (в том числе и мгновенная) получается больше у образцов, подвергшихся предварительному циклическому нагружению. В этом случае сказывается также влияние числа циклов N , увеличение которого, при прочих равных условиях, вызывает рост полной деформации ползучести. Кроме этого, сравнительно более протяженным оказывается и начальный нелинейный участок кривой ползучести стеклопластика.

Однако, как это показывают экспериментальные результаты, влияние предварительного пульсирующего растяжения на развитие деформаций ползучести в условиях растяжения в количественном отношении незначительно (менее 10–15 %).



Фиг. 3

Выводы. 1. Влияние предварительного пульсирующего растяжения слоистого пластика типа СВМ на характер зависимости напряжение—деформация выражается в том, что длительное циклическое нагружение „стирает“ переломы в графике зависимости $\sigma - \varepsilon$, определяющие сопротивляемость развитию повреждаемости в композитном материале при его кратковременном статическом растяжении. Вместе с тем, сближение модуля упругости от изменения числа циклов предварительного утомления в большом диапазоне циклов (в пределах до трех порядков) в количественном отношении незначительно. Минимальное среднее значение E может снизиться до величины модуля упругости второго

участка графика зависимости $\sigma - \varepsilon$, соответствующего статическому растяжению стеклопластика, не подвергнутого предварительному циклическому деформированию. Что касается снижения предела кратковременной статической прочности стеклопластика, то оно более заметно при большем количестве циклов предварительного нагружения ($N > 2 \cdot 10^3$ циклов).

2. Уменьшение модуля упругости слоистого пластика (~на 20%) определяется эффектом предварительного циклического нагружения и нагружения постоянной нагрузкой и, в определенных пределах длительности нагружения, практически не зависит от числа циклов N и напряжения ползучести. Относительно больше, на 20—30% по отношению к первоначальному значению, снижается предел кратковременной прочности. Уровень напряжения, при котором происходит процесс ползучести, сам по себе мало влияет на изменение прочности пластика.

3. Влияние предварительного пульсирующего растяжения на рост деформаций при последующем процессе ползучести в условиях растяжения в количественном отношении незначительно (менее 10—15%). При меньшем значении напряжения ползучести предварительное утомление материала приводит к некоторому уменьшению полной деформации на установившейся стадии процесса, а при сравнительно большем его значении, наоборот, к увеличению деформации ползучести. В последнем случае сказывается также влияние числа циклов нагружения N , увеличение которого, как правило, вызывает рост деформаций ползучести.

Институт механики
АН Армянской ССР

Поступила 17 I 1972

Կ. Ե. ԱՐԳՅԱՆ

ԱՊԱԿԵՊԼԱՍԻ ՄՍՍՏԻՎԱԿԱՆ ԳԵՅՈՐՄԱՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ
ՎՐԱ ԵՑԵՆԱԿԱՆ ՑԻԿԼԻԿ ԲԵՌՆԱՎՈՐՄԱՆ ԱԶԳԵՏՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Ուսումնասիրվում է նախնական բարախող ձգման ազդեցությունը (բեռնավորման համաժամանակությունը 1200 ցիկլ/րոպե) ՇՅԱՄ 1:1 տիպի ապակեպատի սողքի վրա, խնչպես նաև կարճատև ստատիկական ձգման լարում—դեֆորմացիա ամնչություն և ամրություն սահմանի փոփոխության վրա: Գիտարկվում են այն դեպքերը, երբ ձգումը կատարվում է ֆիկիկների սողությունների:

EFFECT OF PRELIMINARY CYCLIC LOADING ON
STATIC STRENGTH AND DEFORMATION OF FIBREGLASS
REINFORCED PLASTIC

N. E. SARKISIAN

S u m m a r y

The effect of preliminary pulsation strain (loading frequency 1200 cycle/min) on the subsequent process of creep of fibreglass reinforced plastic of the type СВAM 1:1 as well as its influence on the nature of strain-deformation dependence and on the change in strength limit under transitory static strain are investigated. Some cases are examined where the load on the material is applied in the direction of fibreglass.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Freas A. D.* Effect of preloading and fatigue on mechanical properties of glass-cloth plastic laminates. Trans. ASME, May, 1953.
2. *Matting A. und Haferkamp H.* Zum Alterungsverhalten glassfaserverstärkter Kunststoffe. Kunststoffe, Bd. 52, № 12, 1962.
3. *Гальперин М. Я.* Сопротивление усталости и рассеяние циклической долговечности некоторых стеклопластиков при изгибе. Машиноведение, № 3, 1966.
4. *Сборовский А. К., Никольский Ю. А., Попов В. Д.* Вибрация судов с корпусами из стеклопластиков. Изд-во Судостроение, Л., 1967.
5. *Саркисян Н. Е.* Прочность и деформативность стеклопластиков типа СВAM при циклическом осевом нагружении. Изв. АН АрмССР, Механика, т. XXII, № 6, 1969.
6. *Рабинович А. А., Штарков М. Г., Дмитриева Е. И.* Методика определения величины упругих постоянных стеклотекстолита при повышенной температуре. Тр. Моск. физ.-техн. ин-та, вып. 1, 1958.
7. *Мартиросян М. М.* О ползучести стеклопластика СВAM в ранний период после изготовления материала. Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, т. XVII, № 5, 1964.