

Н.Е.Саркисян,
А.Н.Саркисян,
Н.Н.Саркисян

УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ОРИЕНТИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

В работе показано, что усталостная прочность композитов, в частности стеклопластиков, зависит от таких факторов, как тип связующего, асимметрия цикла нагружений. При этом показано, что при ортогональном армировании стеклопластика значительное увеличение количества волокон в одном направлении в отношении усталостной прочности может оказаться неэффективным и даже привести к ее существенному снижению.

Ключевые слова: композит, стеклопластик, прочность, усталость, армирование.

Одним из важных преимуществ композитных материалов является возможность усиления их механических свойств в направлении, в котором намечается воздействие расчетной нагрузки, что, в свою очередь, позволяет улучшить эксплуатационные свойства всей конструкции.

Регулирование механических, а, именно, прочностных свойств материала при сохранении неизменными других факторов, таких, как тип связующего, тип волокна и т.д., достигается выбором объемного содержания наполнителя до оптимальной величины и регулированием числа волокон в нужном направлении.

При этом необходимо отметить, что вопросы регулирования свойств полимерных композитов при статическом и циклическом нагружениях путём использования в одной матрице комбинаций из различных волокнистых наполнителей, изменения их объёмного содержания, взаимной ориентации и т.д., имеют также большое значение [1].

Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные по усталостной прочности полимерных композитных материалов в условиях низкочастотного нагружения крайне недостаточны для всестороннего анализа явления потери несущей способности материала в условиях малоциклового нагружения и разработки на его основе соответствующих методов расчёта и, как следствие, разработки методик по оптимизации усталостной прочности композитных материалов.

Актуальность подобных исследований очевидна в том аспекте, что параметры армирования, оптимальные для работы композита в условиях кратковременного нагружения, могут оказаться не совсем оптимальным и при циклическом воздействии нагрузки, т.е. как отмечается в [2], оптимизация предела прочности стеклопластиков еще не означает оптимизации их усталостной прочности.

В соответствии с полученными в работах [3,4,5] данными, стеклопластики, в которых все волокна уложены параллельно линии действия нагрузки, проявляют высокую прочность на

растяжение и сжатие при кратковременном нагружении или при нескольких циклах до разрушения, но их усталостная прочность быстро падает с увеличением числа циклов до разрушения. Вместе с тем, добавка небольшого процента волокон в направлении, перпендикулярном к приоритетному направлению армирования, или добавление чередующихся слоёв под небольшим углом к оси нагрузки приводит к заметному повышению усталостной прочности стеклопластиков.

Приняты во внимание различные технологические факторы, выявленные на основе экспериментальных данных, снижающие прочностные показатели стеклопластиков [6].

Нужно отметить, что для корректной оценки усталостных характеристик материала необходимо провести определение его статической прочности. Поэтому анализ усталостных кривых композитных материалов, таких как стеклопластики, углепластики и т.д. в координатах $K\text{-lg}N$ (где K – коэффициент усталостной прочности композитного материала, N – количество циклов нагружения) позволяет в неискаженном виде рассмотреть влияние степени ортогонального армирования на изменение усталостной прочности композита.

На рис.1 приведены зависимости напряжений разрушения при изгибе и растяжении, ударной вязкости стеклопластиков от объема содержания волокна по массе.

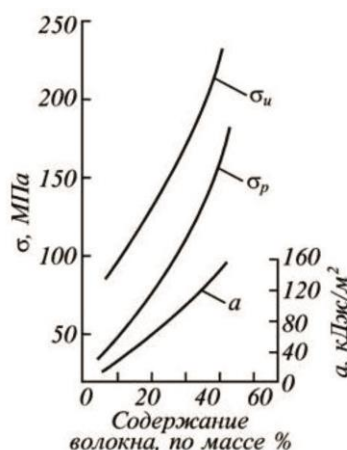


Рис.1. Влияние содержания волокна на разрушающее напряжение при растяжении (σ_p), изгибе (σ_u) и ударную вязкость (α)

На рис.2-4 приведены кривые Велера, иллюстрирующие влияние степени ортогонального армирования на абсолютное значение напряжений и коэффициента K для стеклопластиков типа СВМ на эпокси-фенольном и бутвар-фенольном связующих. В качестве данных для построения кривых были использованы результаты, приведенные в [7,8].

Анализ обработанных данных по образцам на эпокси-фенольном связующем показал, что для ориентированных стеклопластиков характерно снижение циклической прочности в направлении укладки большего числа волокон по сравнению с ортогонально равнопрочно армированным стеклопластиком. При этом результаты анализа показали, что на это явление качественно влияет также и вид деформации. При симметричном растяжении-сжатии значения усталостной прочности

СВАМ 1:1 СВАМ 5:1 мало отличаются (рис.1), в то время как в случае пульсирующего растяжения прочность СВАМ 5:1 продолжает оставаться выше, чем прочность стеклопластика типа СВАМ 1:1.

С точки зрения влияния типа связующего представляют интерес кривые Велера, приведенные на рис.3. Из этих кривых видно, что при таком же симметричном цикле осевой деформации прочность СВАМ 5:1 на бутвар-фенольном связующем неизменно выше, чем усталостная прочность стеклопластика на основе того же связующего, но при ортогонально равнопрочной укладке волокон. Такое поведение композитов можно объяснить различиями в адгезивной прочности между эпокси- и бутвар-фенольными связующими и стекловолокном и механическими характеристиками самих связующих.

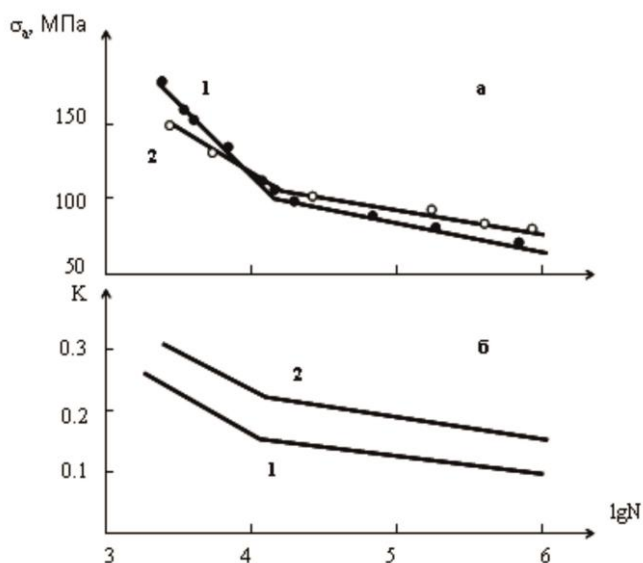


Рис.2. Усталостная диаграмма стеклопластика на эпокси-фенольном связующем при симметричном растяжении-сжатии. а-СВАМ 5:1, б-СВАМ 1:1

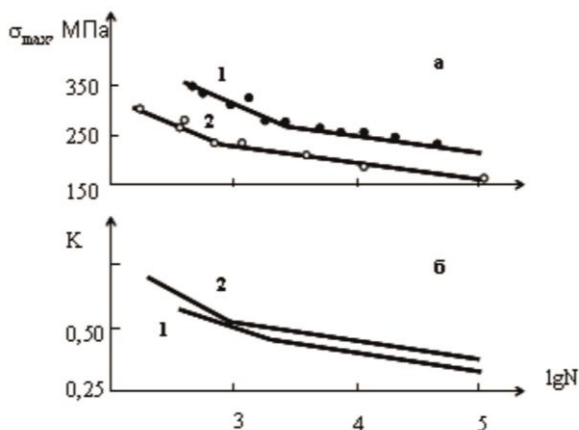


Рис.3. Усталостная диаграмма стеклопластика на эпокси-фенольном связующем при пульсирующем растяжении. а-СВАМ 5:1, б-СВАМ 1:1

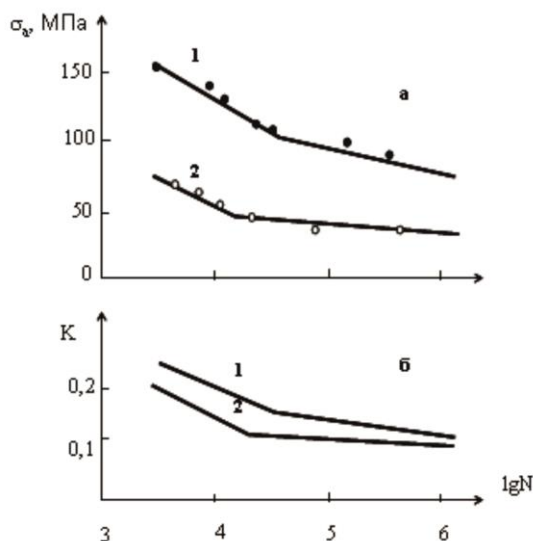


Рис.4. Усталостная диаграмма стеклопластика на бутвар-фенольном связующем при симметричном растяжении-сжатии. а-СВАМ 5:1, б-СВАМ 1:1

В таблице приведены значения усталостной прочности и коэффициента K стеклопластиков на базе 10^6 циклов нагружения. При этом в таблице для значений прочности стеклопластика на кратковременное растяжение и сжатие ($\sigma_{вр}$ и $\sigma_{вс}$) указано среднеквадратическое отклонение, а для усталостной прочности - отклонение от среднего значения, соответствующее доверительному интервалу при вероятности 95%, рассчитанное по распределению Стьюдента. В случае пульсирующего растяжения взято значение максимального напряжения цикла (σ_{max}) и отношения $\sigma_{max}/\sigma_{вр}$. Полученные данные свидетельствуют о том, что повышение степени ортогонального армирования композита в каком-либо направлении путем укладки в этом направлении большего числа волокон, являющееся одним из способов повышения кратковременной прочности, в отношении усталостной прочности может явиться не только неэффективным, но и в определенных случаях может стать причиной ее существенного снижения. Для стеклопластика на эпокси-фенольном связующем укладка волокон 5:1 по сравнению с вариантом 1:1 увеличивает статическую кратковременную прочность на растяжение и сжатие почти в 1,5 раза, в то время как при $N=10^6$ циклов усталостная прочность в отнулевом растяжении увеличивается лишь на 25%, а на симметричное растяжение-сжатие даже уменьшается на 20%. При этом коэффициент усталостной прочности в обоих случаях уменьшается соответственно на 18 и 41%.

Проведенные исследования показали, что усталостное поведение стеклопластиков на бутвар-фенольном связующем имеет совершенно другую природу. Такая же укладка волокон как и при эпокси-фенольном связующем приводит к повышению не только статической прочности, но и усталостной прочности композита на симметричный цикл растяжения-сжатия. Причем повышение усталостной прочности оказывается даже относительно больше, чем увеличение предела прочности, соответственно в 2,2 и 1,8 раза.

Таблица

Значения усталостной прочности и коэффициента K стеклопластиков на базе 10^6 циклов нагружения

Тип связующего	Тип укладки волокон	Кратковременный предел прочности, МПа		Коэффициент асимметрии цикла напряжений	Усталостная прочность на базе 10^6 циклов, МПа	Коэффициент усталостной прочности базе 10^6 циклов	
		$\sigma_{вр}$	$\sigma_{вс}$			$\sigma_a/\sigma_{вр}$	$\sigma_a/\sigma_{вс}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Эпоксифенольное	1:1	470,4±5,4	353,3±7,8	-1	79,9±4,9	0,17±0,01	0,23±0,01
	5:1	662,0±8,8	485,1±24,5	-1	68,1±8,3	0,10±0,01	0,14±0,02
Бутварфенольное	1:1	350,8±9,8	283,2±4,9	-1	31,9±2,9	0,09±0,01	0,11±0,01
	5:1	644,4±17,6	-	-1	74,0±5,9	0,11±0,01	-

Изучение такого поведения стеклопластиков привело к заключению, что на такое поведение композитов с разным связующим и ортогональным армированием может влиять ряд факторов. Из них отметим плотную укладку волокон в одном направлении, что приводит к возникновению концентрации деформаций и напряжений. Уменьшение объемного содержания связующего в направлении действия нагрузки может приводить и к снижению межслоевой сдвиговой прочности композита в этом направлении.

Таким образом, усиление степени ортогонального армирования стеклопластика в каком-либо направлении путем укладки в одном направлении большего числа волокон, являющегося одним из способов повышения статического предела прочности, в отношении усталостной прочности может оказаться неэффективным и даже привести к ее существенному снижению.

**Ն.Ե.Սարգսյան,
Ա.Ն.Սարգսյան,
Ն.Ն.Սարգսյան**

ԿՈՂՄԼՈՐՈՇՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՏՆԵՐԻ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆ

Աշխատանքում ցույց է տրված, որ կախված մի շարք գործոններից, ինչպիսիք են խճի տեսակը, բեռնավորման ցիկլի առիմետրիան և այլն, ապակեպլաստների օրթոգոնալ ամրանավորման ավելացումը մի ուղղությամբ կարող է լինել ոչ միայն նյութի հոգնածային ամրության բարձրացման ոչ արդյունավետ եղանակ, այլև դառնալ նրա թուլացման պատճառ:

Առանցքային բառեր. կոմպոզիտ, ապակեպլաստ, ամրություն, հոգնածություն, ամրանավորում:

FATIGUE STRENGTH OF ORTHOGONAL REINFORCED FIBER-GLASS

Depending on some factors, such as type of binding material, asymmetry of loading cycle and etc., the intensification of fiber-glass reinforcement quantity in any direction may not be effective means of material fatigue strength increase. It has been shown that it may be the reason of essential decrease of material fatigue strength.

Keywords: composite, fiber-glass, strength, fatigue, reinforcement.

Литература

1. **Гуняев Г.М.** Поликомпонентные высокомодульные композиты// Механика полимеров. 1977. №5. С.119-126.
2. **Браутман Л.** Армированные волокнами пластики// Современные композиционные материалы. М.: Мир, 1976. С.414-505
3. **Boller K.H.** Resume of fatigue characteristics of reinforced plastics laminates subjected to axial loading// Fatigue an interdisciplinary approach: Proc. of the 10th Sagamore Army Mater. Res. Conf. Suracuse University Press, 1964. P.325-341.
4. **Beardmore P.** Fatigue Response of Structural Composites// Proc. 2nd Int. Conf. on Fatigue Thresholds/ ed. Beevers C.J. Birmingham, 1984. P.109.
5. **High Cycle Fatigue of Glass Fibre Reinforced Epoxy Materials for Wind Turbines: DLR Final Report/ Kensch Ch.W.** - EC-contract EN3W-0041-D. - 1992.
6. **Саркисян Н.Е.** Анизотропия усталостной прочности стеклопластиков типа СВМ// Изв.АН Арм.ССР, Механика. 1971. Т.24, №2. С.59-70.
7. **Савин В.Ф., Блазнов А.Н., Петров М.Г., Русских Г.И.** Прогнозирование прочности конструкций из однонаправленно армированных стеклопластиковых стержней// Механика композиционных материалов и конструкций. 2007. Т. 13, № 1. С. 97-112.
8. **Саркисян Н.Е.** Прочность и деформативность стеклопластиков типа СВМ при циклическом осевом нагружении// Изв.АН Арм.ССР, Механика. 1969. Т.22, №6. С.54-63.

Работа осуществлена в рамках программы "Выявление, уточнение, разработка предложений и рекомендаций по внедрению путей устойчивого развития архитектурного и строительного комплексов РА с применением постоянного мониторинга", по базовому финансированию из госбюджета РА научной и научно-технической деятельности.

Մարգարյան Նիկոլայ Եղիշի, տեխ. գիտ. դ-ր, պրոֆ, (ՀՀ, ք. Երևան): Մարգարյան Արտաշես Նիկոլայի, տ.գ.թ. (ՀՀ, ք. Երևան) - Երկաթգծի, կամուրջների և թունելների ամրիոն, ասիստ., հեռ. բջջ. (091) 414238, էլ. փոստ ansargsyan@yahoo.com: Մարգարյան Նունե Նիկոլայի, տ.գ.թ. (ՀՀ, ք. Երևան) - "Save the children", գործառնական և անվտանգության հարցերի համակարգող, հեռ. բջջ. (093) 438478, էլ. փոստ nsargsyan@yahoo.com

Саркисян Николай Егисевич, док.тех.н-к, проф. (РА,г.Ереван); **Саркисян Арташес Николаевич**, к.т.н. (РА, г.Ереван) – ЕГУАС, Кафедра железнодорожных путей, мостов и тоннелей, ассистент, тел. моб. (091) 414238, e-mail: ansargsyan@yahoo.com; **Саркисян Нуне Николаевна**, к.т.н. (РА, г.Ереван) – "Save the children", координатор, тел. моб. (093) 438478, e-mail: nsargsyan@yahoo.com

Sargsyan Nikolay Yeghish, Doctor of Sciences (Engineering), professor (RA, Yerevan); **Sargsyan Artashes Nikolay, doctor of Philosophy (Ph.D) in Engineering** (RA Yerevan) – YSUAC, chair of Railway, bridges and tunnels, assistant professor, cell phone. (091) 414238, e-mail: ansargsyan@yahoo.com; **Sargsyan Nune Nikolay, doctor of Philosophy (Ph.D) in Engineering** (RA Yerevan), "Save the children", operation and security coordinator, cell phone. (093) 438478, e-mail: nsargsyan@yahoo.com

Ներկայացվել է՝ 25.02.2013թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 21.03.2013թ.

