

ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Межвузовский сборник, 1980

УДК 539.4:678.5.06

Г. П. Зайцев, В. А. Пашков,
Г. П. Машинская, А. В. Зинин

ПРОЧНОСТЬ, УПРУГОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО
ОРГАНОПЛАСТИКА ТИПА СВМ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Композиционные материалы, созданные на основе органических волокон, имеют меньшую по сравнению с пластиками, армированными стеклянными, углеродными и борными волокнами, плотность. Это свойство обуславливает перспективу использования их в авиационной технике. Наиболее интересным представляется применение органо-пластиков в сверхзвуковой авиации, где из них могут быть выполнены панели обшивки, обтекатели, органы управления. В гражданской авиации этот материал может быть использован для отделки внутренних помещений и салонов самолетов. По предварительным данным использование органопластика в конструкции самолета обеспечит снижение его веса на 25-50%, в конструкции вертолета на 15-20% [1]. Такой выигрыш в весе обусловлен высокими значениями удельных характеристик прочности и жесткости.

Таблица 1^ж

Материал	Удельный вес γ , гс/см ³	Временное сопротивление σ_g , кгс/мм ²	Удельная прочность $\frac{\sigma_g}{\gamma}$, км	Модуль упругости E , кгс/мм ²	Удельная жесткость $\frac{E}{\gamma}$, км	Коэффициент Пуассона ν
Органопластик	2,05	110	53,7	5000	2440	0,300
Гликопластик	1,40	70	50,0	11000	7860	0,323
Боропластик	1,96	130	66,3	18000	9180	-
Углероднопластик	1,15	120	104,3	6200	5390	0,345

* Значения даны для однонаправленно армированных материалов при растяжении в направлении армирования.

Характерной особенностью композиционного материала на основе органоволокна СВМ является высокая степень анизотропии прочностных свойств. Коэффициент анизотропии прочности $\frac{G_{11}}{G_{22}} = \frac{120,0}{2,2} = 54,5$. Анизотропия жесткости выражена не столь ярко ($\frac{E_{11}}{E_{22}} = \frac{6500}{440} = 14,1$). В первом приближении органопластик можно считать ортотропным. Тогда изменение модуля упругости связано с изменением угла армирования формулой [2]:

$$\frac{1}{E_{\varphi}} = \frac{1}{E_{11}} \cos^4 \varphi + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2\nu_{12}}{E_{11}} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{1}{E_{22}} \sin^4 \varphi,$$

где $E_{11} = 6500 \text{ кгс/мм}^2$; $E_{22} = 440 \text{ кгс/мм}^2$; $G_{12} = 196 \text{ кгс/мм}^2$; $\nu_{12} = 0,345$.

График зависимости временного сопротивления σ_{θ} для композиционного материала на основе органоволокна СВМ от угла армирования φ приведен на рис. 1. На рис. 2 дана зависимость от угла φ модуля упругости E и коэффициента поперечного сужения ν .

Анализ процесса разрушения образцов из органопластика типа СВМ, проведенный в работе [3], позволил сделать следующий важный вывод: при растяжении однонаправленного материала в направлении армирования потеря несущей способности сопровождается разделением волокон на отдельные структурные единицы - фибриллы. Авторы [3] объясняют это неоднородностью связующего, вследствие чего в процессе нагружения напряженное состояние отдельных частей органического волокна неравнозначно, и на границе этих частей возникает напряжения сдвига. Это приводит к прорастанию межфибриллярных трещин в направлении действия нагрузки и расщеплению композита. Расщепление сопровождается обрывом наиболее напряженных волокон и увеличением истинных напряжений в материале.

Такой механизм разрушения материала определяет образование большой поверхности разрушения и высокую работу разрушения пластика. Это обуславливает высокие значения характеристик трещиностойкости, что и подтвердилось экспериментально.

При определении характеристик трещиностойкости испытанию подвергались образцы с центральным надрезом $\frac{2\ell}{b} = 0,25$, где $2\ell = 10 \text{ мм}$ - длина трещины; $b = 40 \text{ мм}$ - ширина образца. Для каждого образца строилась диаграмма разрушения в координатах P - Δ (нагрузка-раскрытие трещины). Величина раскрытия трещины опреде-

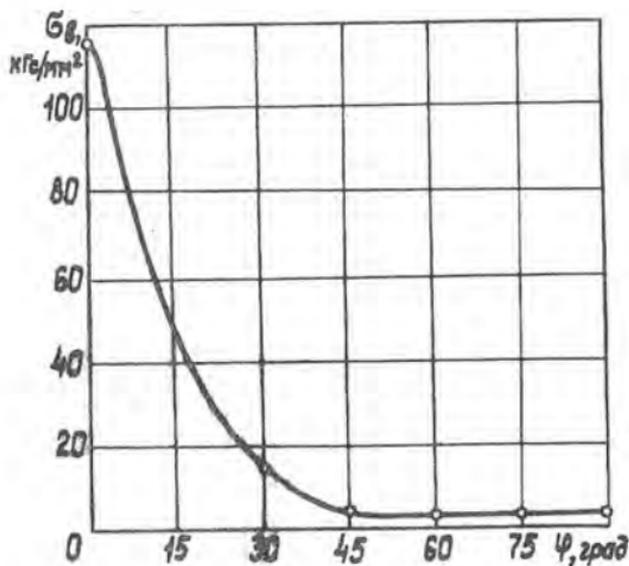


Рис. 1

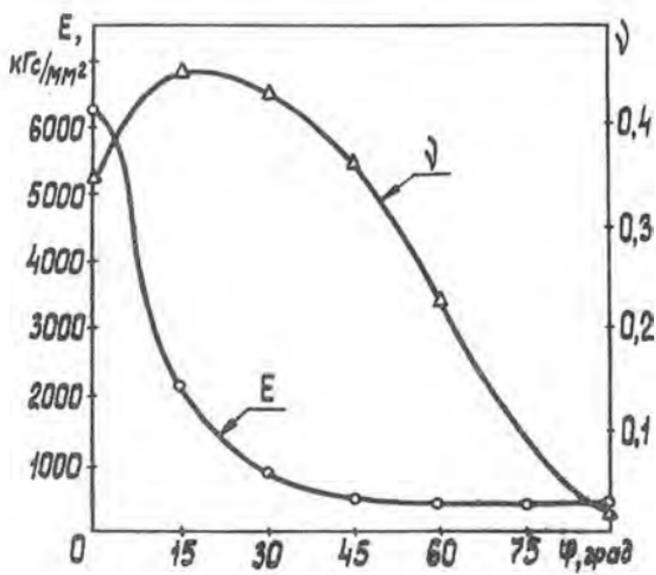


Рис. 2

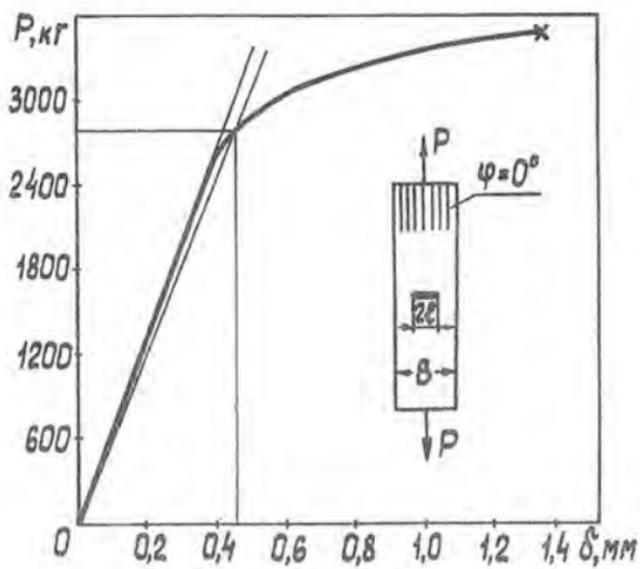


Рис. 3

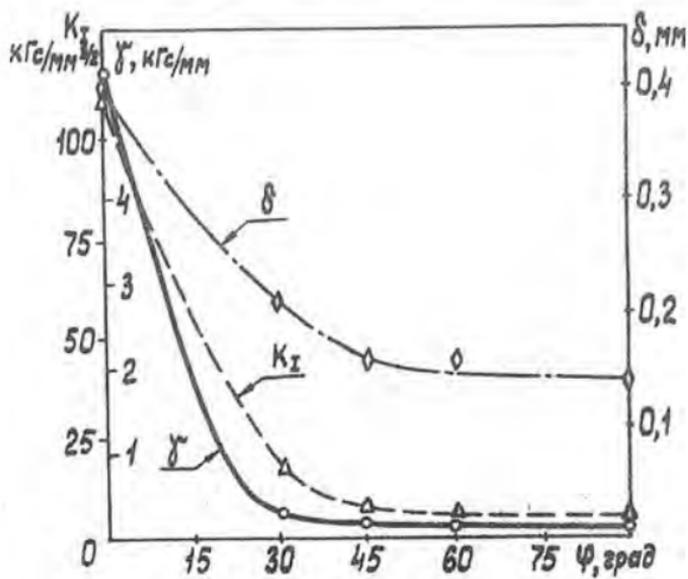


Рис. 4

получена с помощью микроскопа с точностью до 0,002 мм. Полученные диаграммы разрушения (рис. 3) свидетельствуют о возможности применения к материалам типа органических полимеров линейной теории разрушения. При растяжении однонаправленного органического полимера в направлении армирования отмечалось исключительно большое значение критического раскрытия трещины, которое в отдельных экспериментах достигало 2-3 мм. Значения плотности поверхностной энергии разрушения γ_1 и предельного коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} также оказались очень высокими (таблица 2).

Таблица 2^ж

Материал	Плотность поверхностной энергии разрушения, γ_1 , кгс/мм	Предельный коэффициент интенсивности напряжений, кгс/мм ^{3/2}
Уфолопластик	2,08	110
Углеродпластик	1,35	100
Органополимер	5,43	118

^ж Значения даны для однонаправленно армированных материалов при растяжении в направлении армирования.

Изменение характеристик трещиностойкости в зависимости от угла армирования ψ представлено на рис. 4.

Л и т е р а т у р а

1. Абибов А.Л. и др. Применение конструкционных пластмасс в производстве летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1971. - 100 с.
2. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. - М.: Наука, 1977. - 415 с.
3. Петров Б.В., Скудра Л.М., Машинская Г.П., Булавс Ф.Я. Особенности разрушения органических полимеров и их влияние на прочность. - Механика композитных материалов, 1979, № 2, с. 317-321.