

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. академика С. П. КОРОЛЕВА

# ИСПЫТАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Методические указания к лабораторной работе  
и индивидуальным занятиям*

САМАРА 1994

Составители: В.В.У в а р о в, Е.А.А н и к и н

УДК 620.17+539.3

Испытания полимерных композиционных материалов:  
Метод. указания к лаб. работе и индивидуальным  
занятиям /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. В.В.  
У в а р о в, Е.А.А н и к и н. Самара, 1994. II с.

Предусматривается изучение наиболее распространенного в практике заводских и исследовательских лабораторий статического испытания на растяжение полимерных композиционных материалов. Для данного испытания приводятся основные теоретические сведения, методика проведения эксперимента, конкретный порядок выполнения работы и необходимых расчетов.

Предназначены для студентов самолето- и двигателестроительных специальностей, а также для специальности по эксплуатации самолетов и двигателей. Кроме того, могут быть использованы в области технологической подготовки инженеров по обработке металлов давлением. Выполнены на кафедре "Технология металлов и авиаматериаловедение".

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева

Рецензенты: В.М.Г о р и н, В.Д.М а с л о в

## 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

В отечественном и зарубежном авиастроении широкое применение находят материалы на основе полимерных веществ под собирательным названием "армированные материалы". Они имеют разные наименования – слоистые, армированные, полимерные композиционные материалы и т.п. Полимерные композиционные материалы представляют собой группу искусственных авиаматериалов, получаемых на основе различных синтетических смол, выполняющих роль связующего элемента, и различных типов наполнителей, являющихся арматурой. К последним относят волокна, нити, жгуты, изготовляемые из стеклянных, борных, углеродных, органических волокон и других материалов. Наполнитель выполняет упрочняющую функцию в материале и воспринимает основные нагрузки при силовом воздействии на весь композиционный материал. Смолы же обеспечивают связь отдельных волокон упрочняющего элемента между собой и способствуют равномерному распределению нагрузки. Поэтому комплекс свойств наполнителя и связующего элемента определяют свойства всего композиционного материала и изделий, полученных из него [1].

Из традиционных материалов, применяемых в авиации уже достаточно продолжительное время, следует отметить армированные полимерные материалы на основе бумаги, хлопковых, синтетических и асбестовых волокон, пропитанных полимерными связующими. Вместе с тем в последнее время применяют материалы с более высокими механическими показателями и более стабильными эксплуатационными свойствами. Этот класс материалов получил название стеклопластиков [2]. Они по механическим и особенно электротехническим параметрам превосходят ранее применявшиеся полимерные композиционные материалы.

В зависимости от типа наполнителя и технологических особенностей

композиции все полимерные композиционные материалы разделяют на четыре основные группы:

- литыевые волокниты;
- прессовочные волокниты;
- ориентированные композиции;
- пластики на основе предварительной пропитки связующим волокна.

В качестве перспективных волокон в настоящее время используют: из органических материалов – полиамидное волокно (капрон), полиэфирное волокно (лавсан); из неорганических волокон – борное, углеродное и др. В табл. I приведены свойства наиболее распространенных в авиационном двигателестроении армированных пластиков.

Т а б л и ц а I

Свойства армированных пластиков

Название пластика	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Термический коэф. линейного расширения, $1 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$	Диэлектрическая проницаемость
Волокнит	1450	38	10	0,56	2,8	6,0
Текстолит	1350	100	8	0,28	2,5	5,0
Асботекстолит	1600	200	17	0,35	2,1	-
Гетинакс	1400	76	10	0,40	3,0	6,0
Стеклопластик однонаправленный	2000	1600	56	0,40	1,0	4,2
Углепластик однонаправленный	1500	750	170	0,70	-	10,0
Боропластик однонаправленный	2200	1200	240	0,50	0,4	13,0

Анализ приведенных в табл. I данных показывает, что полимерные композиционные материалы обладают весьма удачным сочетанием физико-механических, теплофизических, химических и диэлектрических свойств. Изделия из них по сравнению с другими конструкционными материалами обладают рядом преимуществ: малым удельным весом; высокой механической

кой прочностью; хорошей эрозионной стойкостью, "прозрачностью" для высокочастотных электромагнитных волн, высокой электроизоляционной способностью и др. [3]. В общем случае свойства полимерных композиционных материалов зависят от целого ряда факторов и, в частности, от адгезии связующего к наполнителю, а также от методов и технологии изготовления самого материала и изделия из него. Это дает возможность создавать материалы с весьма разнообразными характеристиками и в определенных пределах регулировать свойства в соответствии с теми или иными требованиями. Область применения полимерных композиционных материалов достаточно широка и разнообразна (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Область применения полимерных композиционных материалов

Полимерный материал на основе	Прочность при изгибе, МПа	Область применения	Примечание
Кремнеорганические смолы: ВКМ-1	100 100	Радиоэлектротехника	Длительно работают при температурах до 300°C
КМС-9	50	Изделия технического назначения	При 300°C прочность снижается до 50%
СКМ-1	140	Электротехнического назначения	Длительно работают при 200°C
Ненасыщенных полиэфирных смол: ВР-1	134	Детали конструкционного и электротехнического назначения	Изделия горючи, неводостойки, с плохой адгезией к стекловолокну
ДСК-1	-	Материал для замены металла и дерева	
СР-911-32-10	160	Изготовление нагруженных деталей	Работа в условиях высокой частоты
На фенольных смолах: АР-4	120	Высоконагруженные детали	Детали конструкционного назначения, работающие при температурах от -60 до +250°C

Полимерный материал на основе	Прочность при изгибе, МПа	Область применения	Примечание
ВГТ	283	С повышенными прочностными свойствами	Длительно работающие до 200°C
КАСТ	-	Детали конструкционного назначения	Тропикостойчивы до 120-140°C
СВАМ-ЭР	700	"	С высоким модулем упругости
На эпоксидных смолах: СК-99	332	Детали конструкционного назначения	Работает при 250-300°C
33-18В	150	"	Стоек к кислотам и щелочам

## 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Прочность при растяжении полимерного композиционного материала определяется величиной предела прочности  $\sigma_b$ , МПа:

$$\sigma_b = \frac{P_{раз}}{F_0}, \quad (1)$$

где  $P_{раз}$  - разрушающая нагрузка, если материал разрушается без значительных пластических деформаций и образования шейки, или же максимальная нагрузка в момент образования шейки пластического материала, МН;

$F_0$  - начальная площадь сечения испытуемого образца, м<sup>2</sup>.

Характеристикой пластичности служит относительное удлинение при разрыве

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $l_k - l_0$  - абсолютное удлинение рабочей части образца в момент разрыва;

$l_0$  - начальная расчетная длина рабочей части образца.

## 2.1. Образцы для испытаний и их изготовление

Форма и размеры образцов регламентируются ГОСТ II262-86. Основные их виды приведены на рисунке. Для листовых материалов толщиной 10 мм и более рекомендуется использовать тип, представленный на рисунке (а), для толщин менее 10 мм - тип, приведенный на рисунке (б). При испытании образцов из отливок, стержней, труб образцы изготавливаются в соответствии с рисунком (в).

При испытании листовых и слоистых материалов, имеющих различные механические свойства вдоль и поперек листа или плиты, образцы необходимо вырезать в двух направлениях - по длине и по ширине листа или плиты. На каждом образце указывают стрелкой направление, соответствующее длине листа или плиты.

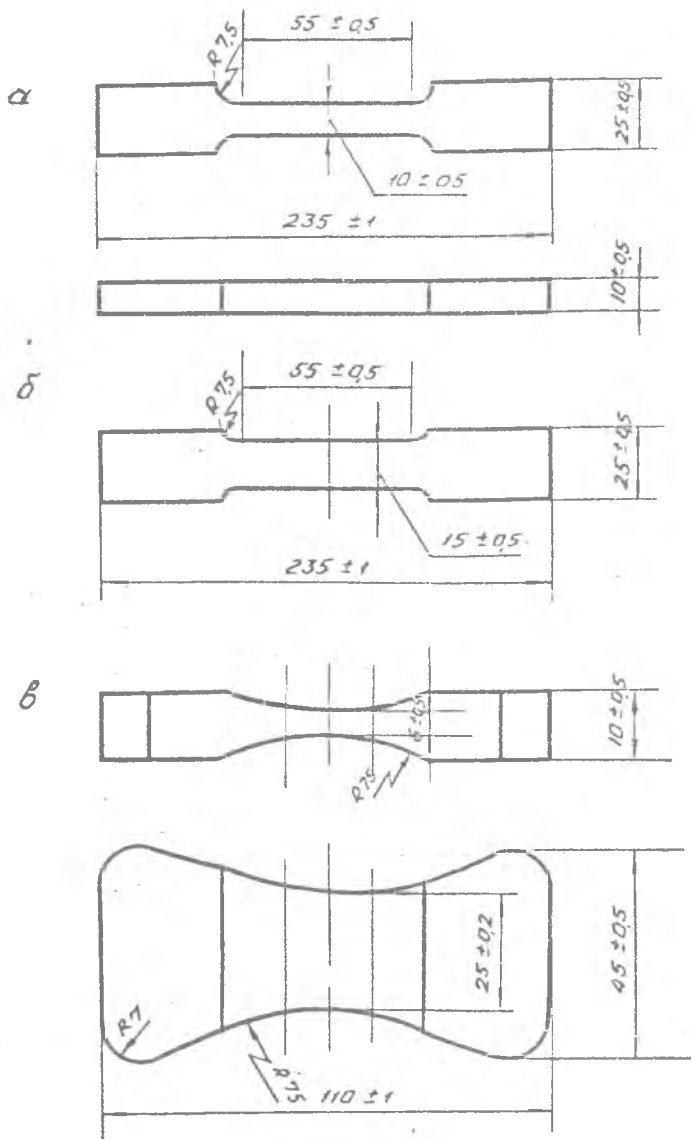
Образцы для испытаний, изготовленные методами механической обработки и, в частности, штамповкой или прессованием, должны иметь ровную гладкую поверхность без трещин, вздутий, сколов и раковин. Число образцов для испытания в одном направлении от каждого испытуемого листа, стержня или плиты должно быть не менее трех, а при испытании прессовочных материалов - не менее трех от каждой пробы.

Перед испытанием измеряют ширину и толщину рабочей части образца по краям и в середине. Образец толщиной менее 10 мм измеряют с точностью до 0,01 мм. За расчетное принимается среднее арифметическое из трех измерений.

## 2.2. Оборудование и условия проведения испытаний на растяжение

Для испытания образцов на предел прочности при растяжении и относительное удлинение рекомендуется использовать разрывную машину, обеспечивающую точность измерения не менее 1% от величины измеряемой нагрузки. На испытательной машине устанавливают специальные зажимы, предохраняющие образцы от скольжения и перекоса в процессе испытания.

Испытания следует проводить при температуре 18-22°C. В случае отклонения температуры помещения от указанной образцы для испытаний предварительно выдерживают в термостате при указанной температуре в течение 1 ч. Испытания ведут с постепенным наращиванием нагрузки до разрушения образца. Скорость движения зажима машины при холостом ходе должна быть в пределах 10-20 мм/мин.



Р и с. Форма и размеры образцов для определения предела прочности и относительного удлинения при растяжении: а - для слоистых материалов толщиной более 10 мм; б - то же, менее 10 мм; в - для остальных видов пластмасс



При испытании материалов, растяжение которых сопровождается пластической деформацией (образование шейки), за величину разрушающей нагрузки для расчета принимают максимальную нагрузку, при которой происходит разрушение образца.

Удлинение, соответствующее разрушающей нагрузке, при невозможности замера его в момент разрыва определяется на основании индикаторной диаграммы "нагрузка-удлинение (деформация)" путем линейной экстраполяции.

### 2.3. Порядок выполнения работы и обработка результатов испытаний

Практическая часть работы включает:

изучение внешнего вида и строения испытуемого полимерного композиционного материала;

краткое описание предполагаемых свойств данной марки материала;

знакомство с устройством испытательной разрывной машины;

подготовку образцов к испытанию, замер начальной расчетной длины  $l_0$ , замер размеров поперечного сечения и начальной площади  $F_0$ ;

проведение испытаний с фиксацией разрушающего усилия  $P_{раз}$  и величины абсолютного удлинения  $l_k - l_0$ ;

проведение расчетов по определению предела прочности  $\sigma_B$  и относительного удлинения;

подготовку письменного отчета о выполненной лабораторной работе.

Результаты всех испытаний на растяжение подвергаются статистической обработке и определению величины среднего квадратичного отклонения величины прочности и среднего арифметического  $\bar{X}$  результатов параллельных определений по следующей формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n},$$

где  $\bar{X}$  - величина показателя каждого образца;

$n$  - число испытаний образцов.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем основное отличие полимерных композиционных материалов от других видов композиционных материалов?
2. Как влияет на величину прочности при разрыве вид наполнителя?
3. Почему необходимо испытывать слоистые материалы вдоль и поперек листа?
4. Какое влияние оказывает скорость растяжения на величину разрушающей нагрузки?
5. В каких случаях необходимо пользоваться индикаторной машинной диаграммой при определении относительного удлинения?
6. Для каких материалов расчет  $\sigma$  производится не по разрушающей нагрузке  $P_{раз}$ , а по величине максимального усилия  $P_{max}$ ?
7. Какие дополнительные меры необходимо принять, если температура в помещении при испытании равна  $24^{\circ}\text{C}$ ?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Композиционные материалы: Справочник /Под ред. Д.К.Карпинса. Киев: Наукова думка, 1985. 403 с.
2. Киселев Б.А. Стеклопластики. М.: Госхимиздат, 1980. 281 с.
3. Композиционные и порошковые материалы, покрытия (введение в технологию, материаловедение и применение): Учеб.пособие /А.П.Амосов; Самар. политехн. ин-т; Самара, 1992. 102 с.

## ИСПЫТАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Составители: У в а р о в Вячеслав Васильевич  
А н и к и н Евгений Александрович

Редактор Л.Я.Ч е г о л а е в а  
Техн.редактор Г.А.У с а ч е в а  
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать 27.12.94. Формат 60x84<sup>I</sup>/16  
Бумага офсетная, Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 0,5. Усл.кр.-отт. 0,6. Уч.-изд.л. 0,4.  
Тираж 250 экз. Заказ 543. Арт. С-64мр/94.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П.Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

ИПО Самарского государственного аэрокосмического  
университета имени академика С.П.Королева.  
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.