

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ КОРПУСА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН И ТЕПЛОЗАЩИТОЙ

А.С. Иванова, Е.А. Кривенко, Е.А. Головина

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Необходимость в полетах на дальние расстояния и технический прогресс привели к самолето- и ракетостроению. Составные части самолетов и ракет, выполненные из традиционных материалов, имели определенные недостатки: большая масса, коррозия, трудности в изготовлении. Масса металлических деталей является самым существенным недостатком в рассматриваемых отраслях, так как масса груза, дальность и скорость полета были незначительными. Поэтому возникла необходимость в создании частей ракет из таких композиционных материалов, которые бы имели минимальную массу в сочетании с механическими свойствами металлов.

Одними наиболее распространенными и сложными конструкциями являются силовые оболочки корпусов ракетных двигателей твердого топлива, форма которых представляет собой оболочку вращения. К силовой оболочке предъявляются следующие требования [1]:

- допускаемая из условий сохранения прочности силовой оболочки корпуса температура на внутренней поверхности силовой оболочки – 373 К;
- температура продуктов сгорания – 3415 К;
- время работы корпуса – 42,4 с;
- начальная температура – 293 К;
- коэффициент запаса – 1,4;
- коэффициент, учитывающий влияние инерционных перегрузок, – 1,2;
- максимальное эксплуатационное давление 5,6 МПа.

Силовые оболочки корпусов изготавливают из стекло-, органо- или углепластиков [1, 2, 5]. Из перечисленных материалов для изготовления силовой оболочки корпуса ракетного двигателя наиболее подходят органопластики, так как они имеют наименьшую плотность (300 кг/м^3), что важно при задаче снижения массы, а также у них высокие удельные характеристики [2, 4]. Органопластики на основе высокопрочных арамидных волокон обладают высокими удельными прочностными и упругими характеристиками,

ударной вязкостью, электрическим сопротивлением, химической стойкостью, высокими теплоизоляционными свойствами [2]. Арамидные волокна при текстильной и других видах переработки незначительно снижают свои механические свойства, что послужило причиной широкого применения метода намотки при изготовлении изделий из органо-пластика [4].

Арамидные волокна характеризуются неплавкостью, огнезащищенностью, устойчивостью к действию повышенных температур, высокими механическими показателями, в особенности в направлении оси волокна, и сохранением этих показателей при воздействии различных факторов (химических реагентов, тепла, радиационного облучения) [4]. По сравнению с другими видами высокопрочных наполнителей – углеродными, стеклянными, керамическими волокнами – они обладают хорошими текстильными свойствами. Для арамидных волокон найдены технологические пути сочетания их с различными связующими и созданы высококачественные композиционные материалы как конструкционного, так и резинотехнического применения.

В качестве матрицы используют эпоксидные, полиэфирные и другие терморезистивные смолы. К основным преимуществам композитов с полимерной матрицей относятся высокая удельная прочность и жесткость, стойкость к химическим агрессивным средам, низкая тепло- и электропроводность [6]. Кроме того, при изготовлении этих материалов относительно легко при умеренных температурах и давлениях удается соединить армирующие элементы с матрицей.

Физико-механические характеристики эпоксидных смол превышают соответствующие параметры полиэфирных смол. Выбор эпоксидных смол объясняется следующими причинами [6]:

- эпоксидные смолы обладают хорошей адгезией к большому числу наполнителей, армирующих компонентов и подложек;
- разнообразие доступных эпоксидных

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ КОРПУСА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН

смола и отверждающих агентов позволяет получить после отверждения материалы с широким сочетанием свойств, удовлетворяя различным требованиям технологии;

– в ходе химической реакции между эпоксидными смолами и отверждающими агентами не выделяются вода или какие-нибудь летучие вещества, а усадочные явления при отверждении в этом случае ниже, чем для фенольных или полиэфирных смол;

– отвержденные эпоксидные смолы обладают превосходными механическими свойствами, выносливостью, химической стойкостью и хорошими электроизоляционными свойствами.

Длинный перечень удовлетворительных эксплуатационных качеств и связанная с этим надежность материала, и главное стойкость к агрессивным средам оказались решающими факторами, благодаря которым в течение длительного времени в аэрокосмической промышленности отдается предпочтение эпоксидным смолам.

Модификация волокон Терлон Арамидные волокна марки Терлон имеют существенный недостаток: поверхность волокон инертна, поэтому они термодинамически несовместимы с эпоксидным связующим ЭД-22. Для решения этой проблемы необходимо при изготовлении силовой оболочки корпуса ракеты модифицировать волокна Терлон для обеспечения прочной адгезионной связи наполнителя с матрицей [4].

Модификация поверхности волокон Терлон состоит в улучшении адгезии к эпоксидной матрице с помощью непосредственного введения в поверхность волокон функциональных групп. Наиболее эффективным и перспективным в настоящее время является метод физической обработки, включающей в себя радиационно-химический способ обработки поверхности волокна [11].

В работе исследовалось влияние величины поглощенной дозы, состава и концентрации растворителя на свойства волокон Терлон и органопластиков на их основе, в частности, на прочность при растяжении и сдвиге, проводилось сравнение свойств модифицированных образцов с немодифицированными с целью выбора оптимальных параметров модификации.

Для определения прочностных характеристик волокна и микропластики на их основе исследовали на разрыв и сдвиг. Испытания проводились на разрывной машине типа РМ-250, со скоростью 25 мм/мин.

Радиационно-химическая модификация арамидных волокон проводится на гамма-облучательной установке "Исследователь" Х-30.

Арамидные волокна Терлон помещали в пропиточную систему и подвергали воздействию γ -излучения. При облучении варьировали:

1. поглощенную дозу, которая составила 9 кГр, 16 кГр, 45 кГр, 96 кГр, 242 кГр, 288 кГр;
2. пропиточный раствор:
 - 0,5 % ЭД-22 в ацетоне;
 - 1 % ЭД-22 в ацетоне;
 - 2 % ЭД-22 в ацетоне;
 - 5 % фурфуролового спирта в ацетоне;
 - 10 % фурфуролового спирта в ацетоне;
 - 15 % фурфуролового спирта в ацетоне.

Намотка модифицированных волокон на оправку. Одними наиболее распространенными и сложными конструкциями, для изготовления которых используется метод непрерывной намотки, являются силовые оболочки корпусов ракетных двигателей твердого топлива, форма которых представляет собой оболочку вращения [1, 8].

Конфигурация силовой оболочки и схема ее армирования должны быть такими, чтобы при действии эксплуатационных нагрузок корпус деформировался в пределах допустимых значений. Классической конфигурацией силовой оболочки корпуса двигателя является конструкция типа "кокон", выполненная в виде цилиндрической оболочки, с оваллоидными осесимметричными днищами.

Оболочка имеет габаритные размеры, представленные на рисунке 1:

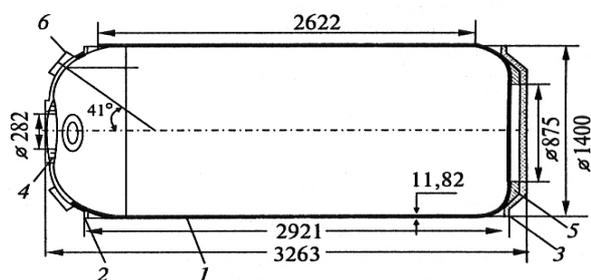


Рисунок 1 – Основные габаритные размеры корпуса, где 1 – силовая оболочка; 2 – узел соединения передний и 3 – задний; 4 – фланец передний и 5 – задний; 6 – отверстие для управления тягой

В зависимости от способа нанесения связующего на волокнистый армирующий

материал и обеспечения необходимого содержания его в материале конструкции различают несколько технологических способов формования изделий намоткой [2, 3, 5]. Различают способы "сухой" и "мокрой" намотки. Первый заключается в том, что волокнистый наполнитель перед формованием предварительно пропитывают связующим на пропиточных машинах [5, 7]. Второй способ намотки отличается тем, что пропитка волокнистого армирующего наполнителя связующим и намотка на оправку совмещены.

Для создания изделия типа кокон целесообразно использовать совмещенную спирально-кольцевую намотку.

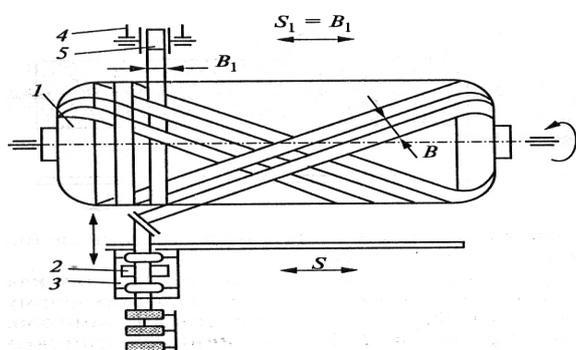


Рисунок 2 – Схема совмещенной спирально-кольцевой намотки, где 1 – оправка; 2 – лентопропитывающий тракт спиральных слоев; 3 – суппорт для спиральной намотки; 4 – суппорт тангенсальной намотки; 5 – катушка для кольцевых слоев

Метод заключается в одновременной укладке армирующего материала, сформированного в ленте, на оправку с двух раскладывающих устройств, движение которых задается программой вращения оправки. Схема совмещенной спирально-кольцевой намотки представлена на рисунке 2. Непременным условием данного способа является то, что начало намотки спирально-винтовым и спирально-перекрестным методами и их окончание должны быть осуществлены в одно и то же время. Метод применяют для изготовления намоткой изделий цилиндрической и конической форм с углом конусности не более 20°

Для равномерного распределения кольцевой и спиральной арматуры по толщине

оболочки следует исходить из условия одновременности завершения намотки спирального и кольцевого армирующего материала в пределах одного спирально-кольцевого пакета [1, 2]. В реальных конструкциях соотношение спиральных и кольцевых слоев зависит от действующих на изделие нагрузок, т. е. на один спиральный слой может приходиться несколько кольцевых слоев.

Расчет силовой оболочки ведется исходя из специфики выбранного метода "мокрой" намотки по спирально-кольцевой схеме.

Экспериментальная часть. Эффективность модификации поверхности волокон Терлон оценивалась по прочностным характеристикам облученных волокон и микропластиков на их основе при разрушающих испытаниях. Наиболее объективным критерием эффективности модификации является изменение качественных показателей арамидных волокон и микропластиков на их основе по сравнению с волокнами и микропластиковыми на основе немодифицированных волокон. При экспериментальном прогнозировании свойств материалов этому показателю более всего соответствует долговременная адгезионная прочность.

Графическая зависимость механических характеристик облученных в растворах фурфуролилового спирта и ЭД-22 в ацетоне волокон Терлон и микропластиков на их основе представлены на рисунках 3 – 7, где

- 1– 0,5 % ЭД-22 в ацетоне;
- 2– 1 % ЭД-22 в ацетоне;
- 3– 2 % ЭД-22 в ацетоне;
- 4– 5 % фурфуролилового спирта в ацетоне;
- 5– 10 % фурфуролилового спирта в ацетоне;
- 6– 15 % фурфуролилового спирта в ацетоне.

Анализируя графики 1 – 4, можно сделать вывод, что наибольшие значения относительной прочности и относительного модуля упругости наблюдаются при поглощенной дозе 9 кГр в пропиточном растворе 2 % ЭД-22 в ацетоне. Радиационно-химическая обработка позволила повысить разрывную прочность пластика в 1,3 раза, модуль упругости в 1,23 раза и сдвиговую прочность микропластиков на основе модифицированных волокон на 87 %.

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ КОРПУСА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН

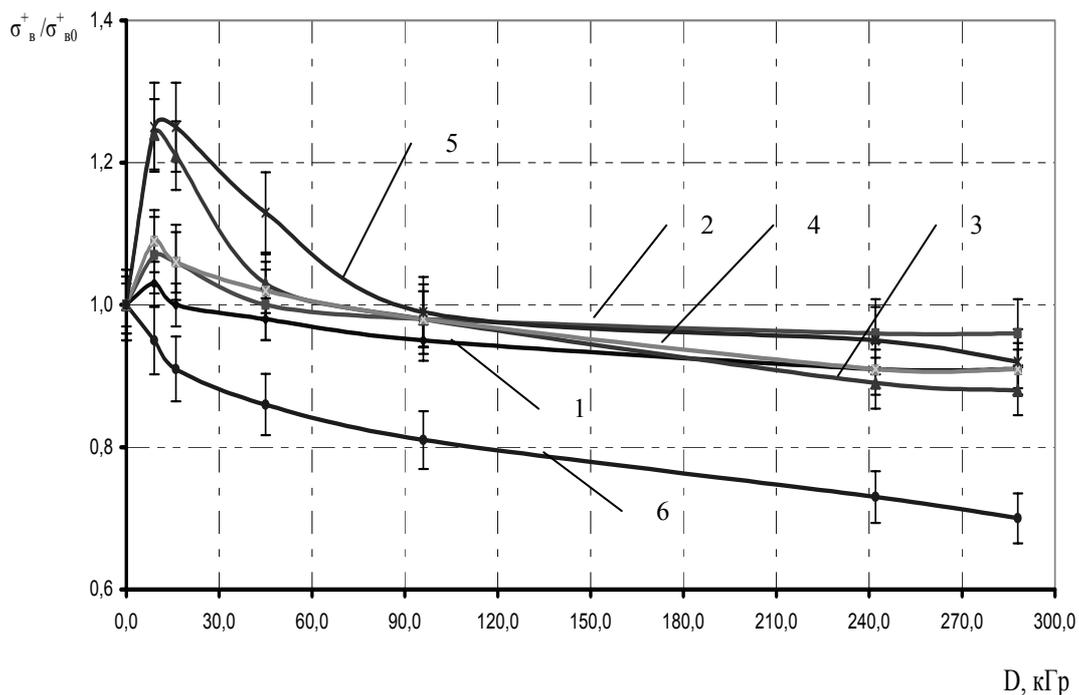


Рисунок 3 – Относительная разрывная прочность волокон Терлон, облученных в растворе фурфурилового спирта и смоляной части эпоксидного связующего ЭД-22 в ацетоне

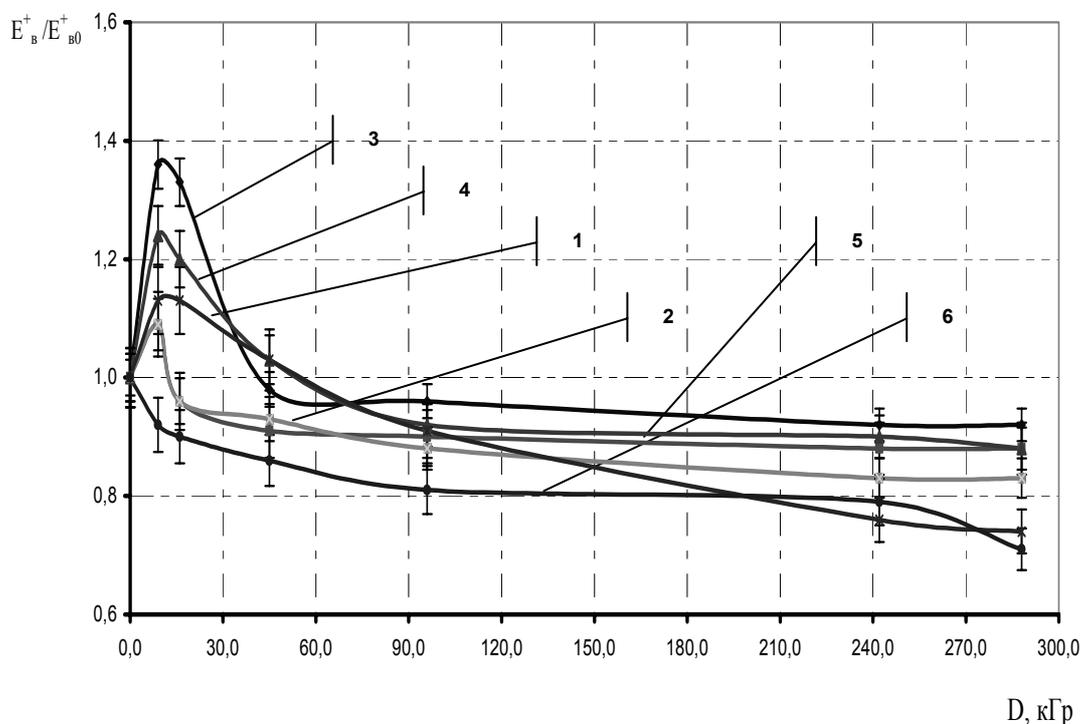


Рисунок 4 – Относительный модуль упругости волокон Терлон, облученных в растворе фурфурилового спирта и смоляной части эпоксидного связующего ЭД-22 в ацетоне

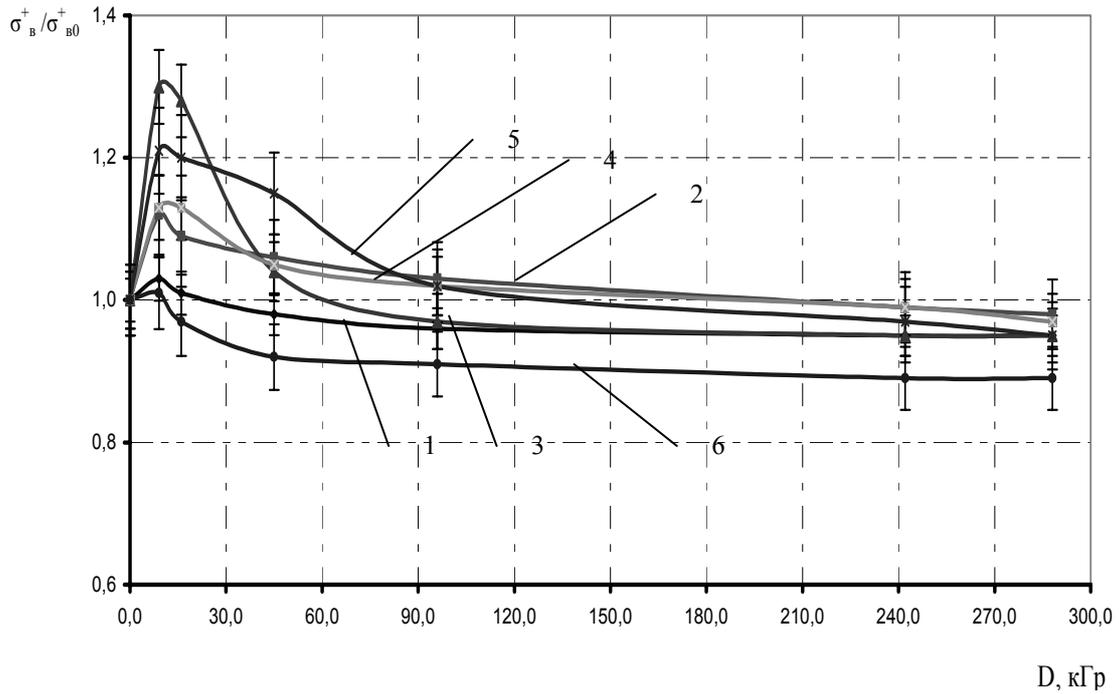


Рисунок 5 – Относительная разрывная прочность микропластиков на основе волокон Терлон, облученных в растворе фурфурилового спирта и смоляной части эпоксидного связующего ЭД-22 в ацетоне

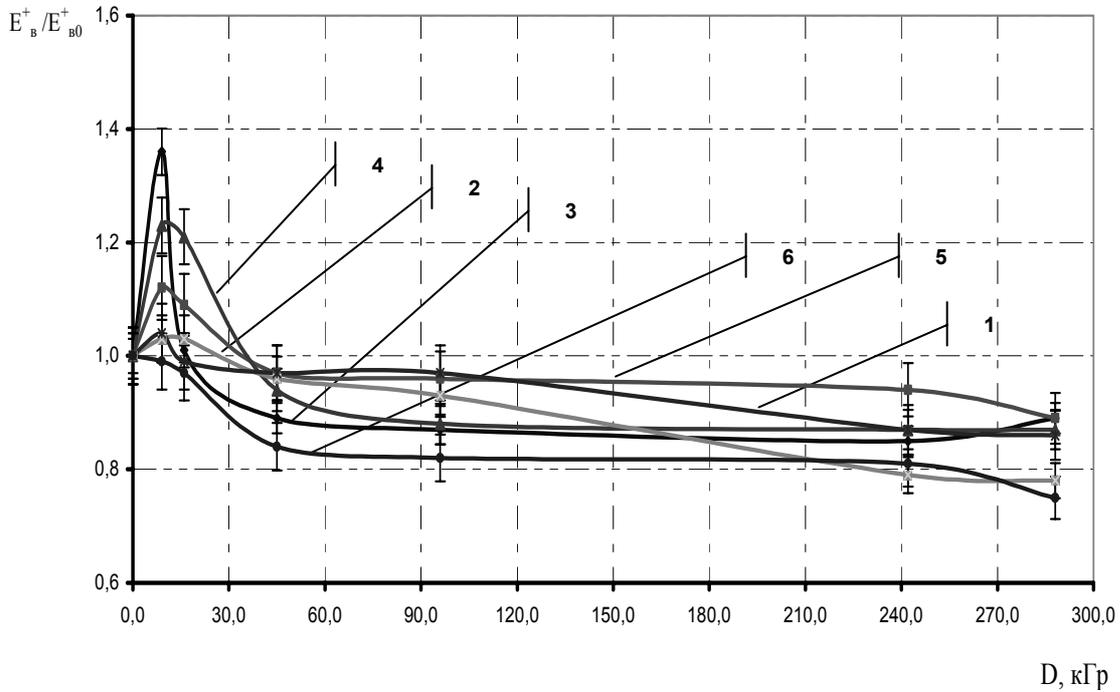


Рисунок 6 – Относительный модуль упругости микропластиков на основе волокон Терлон, облученных в растворе фурфурилового спирта и смоляной части эпоксидного связующего ЭД-22 в ацетоне

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ КОРПУСА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН

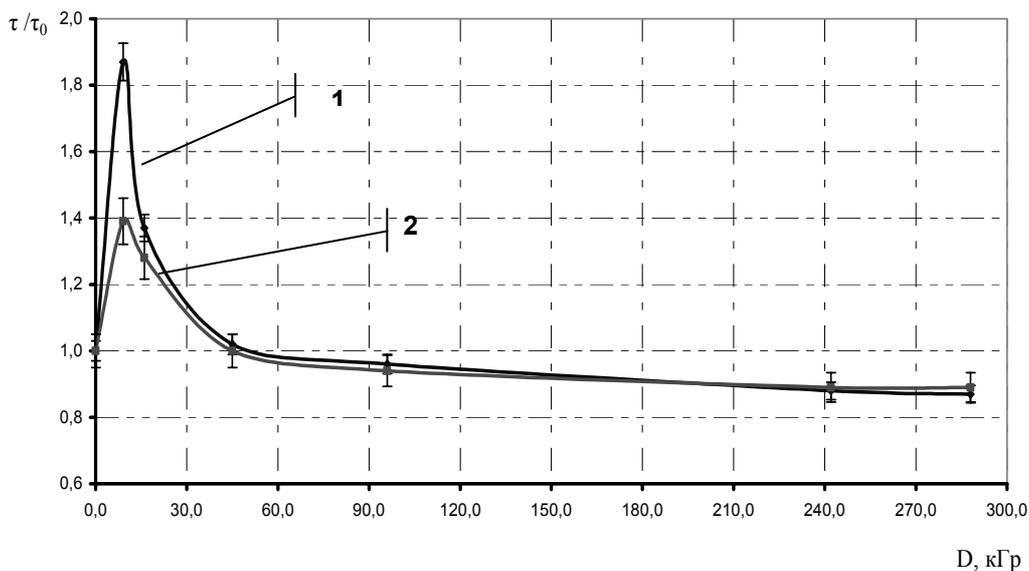


Рисунок 7 – Сдвиговые характеристики микропластиков на основе волокон Терлон, облученных в растворе фурфуролового спирта и смоляной части эпоксидного связующего ЭД-22 в ацетоне, где: 1 – 2 % ЭД-22 в ацетоне; 2 – 10 % фурфуролового спирта в ацетоне

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Берлин А.А., Пахомова Л.К. Полимерные матрицы для высокопрочных армированных композитов (обзор) // высокомолекулярные соединения. – 1990. – Т. (А) 32, № 7. – С. 101-107.
2. Андреевская Г.Д., Ширяева Г.В., Ильинский А. М. – Методика определения адгезионной прочности наполнитель – полимер // Стандартизация. – 1974.
3. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.
4. Головина Е.А., Тананушко В.С., Аникеева Л.М., Маркин В.Б. Изучение процессов радиационного старения в пластиках, армированных непрерывными волокнами различной природы // Сборник трудов научно-технической конференции "Композиты – в народное хозяйство России" ("Композит-02") / Под ред. Маркина В.Б. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002. – С. 56-66.
5. Аникеева Л.М., Маркин В.Б., Головина Е.А., Кметь В.А. Влияние модификаций поверхности армирующих волокон на прочностные характеристики органоластиков // Тезисы докладов 50 Юбилейной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Алтайского политехнического института. Барнаул, 1992.
6. Анискин Л.И. Композиционные материалы, получаемые методом пропитки. – М.: Металлургия, 1986. – 206 с.
7. Трофимов Н.Н., Канович М.З. Основные принципы создания высокопрочных композиционных материалов // Пласт. массы. – 1992. – № 5. – С.16-21.
8. Такада Т. Тенденции развития технологии обработки поверхности волокон / Кобунси Како, 1987. – С. 390-397.
9. Плескачевский Ю.М., Смирнов В.В., Макаренко В.М. Введение в радиационное материаловедение полимерных композитов //АН БССР, Ин-т механики металлополимер. систем / Минск.: Наука и техника, 1991. – 190 с.