

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Кафедра «Технология композиционных материалов, конструкций и микросистем»

«Разработка моделей и исследование напряженного состояния
дискретно- армированного стеклопластика на основе
термопластичной матрицы»

Студент: Гапоненко И.В.
Руководитель: Салиенко Н. В.

Москва, 2018

Актуальность работы

Применение стеклопластика в авиационной технике

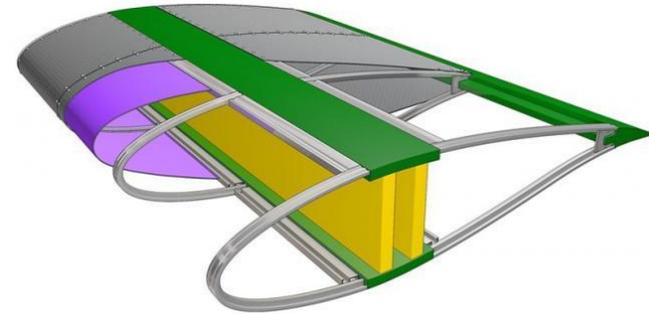
Более 30 % от общего количества применяемых материалов.



Фюзеляж самолета



Лопаст
вертолета



Лопаст
вертолета



Носовая
часть



Приборная
панель

Проблема: Использование стеклопластиков в авиационных конструкциях требует проведения большого количества дорогостоящих испытаний.



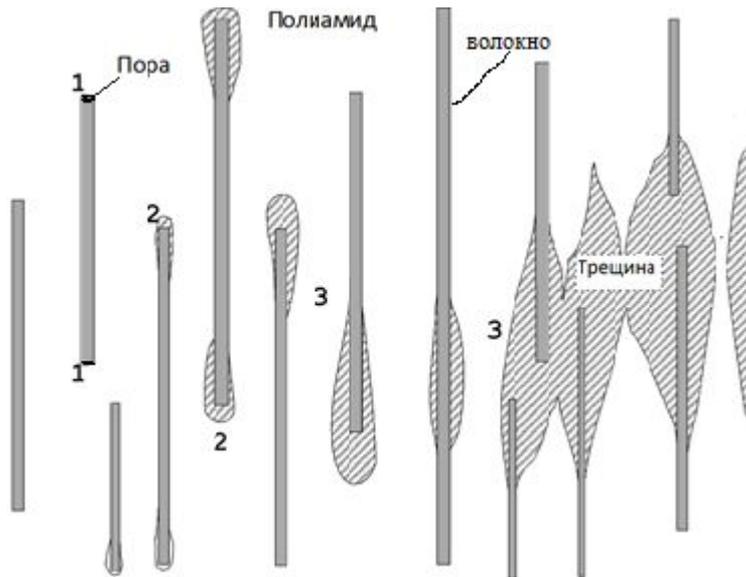
Решение : Сократить количество и стоимость реальных испытаний, путем использования компьютерного моделирования.

Цель работы: Разработка модели и исследование деформационно-прочностных свойств стеклопластика на основе термопластичной матрицы, армированной короткими стеклянными волокнами.

Задачи работы:

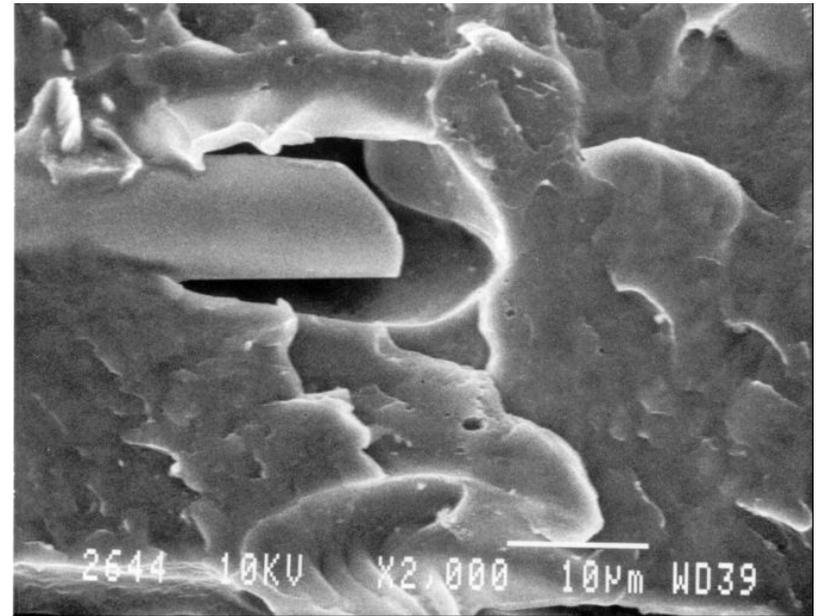
- 1) Провести анализ литературных данных по дефектам и их влиянию на физико-механические свойства ПКМ, армированных короткими волокнами.
- 2) Разработать физическую модель структуры ПКМ с дефектом на торцах армирующих волокон.
- 3) Разработать КЭ-модель такого ПКМ и методик построения этой модели в программном комплексе ANSYS.
- 4) Изготовить образцы стеклопластика на основе поликапроамидной матрицы и коротких стеклянных волокон.
- 5) Провести испытания на растяжение по ГОСТ 25.601-80 и сдвиг.
- 6) Провести анализ результатов численного моделирования и эксперимента.

Механизм разрушения ПКМ, армированного короткими волокнами



Процесс образования и
роста дефекта

1. Материал без приложения нагрузки.
2. Инициирование роста дефекта на торцах волокон в начальный момент приложения нагрузки.
3. Рост дефекта по мере роста нагрузки, увеличение размеров торцевых дефектов и слияние их в поперечные трещины.

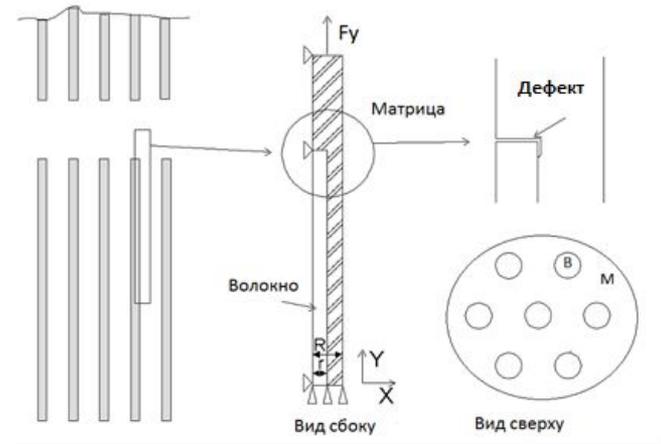


Микрофотография роста краевого дефекта
(этап2)
для поликапроамидного стеклопластика [1]

Физическая модель ПКМ на основе дискретных волокон и полимерной матрицы

Свойства компонентов ПКМ.

Параметр	Волокно	Матрица
Модуль упругости E_x^* , ГПа	50	6
Модуль упругости E_y^* , ГПа	80	6
Коэффициент Пуассона μ	0,2	0,27
Объемное содержание %	20	80
Разрушающее перемещение, мкм		2,5
Диаметр волокна, мкм	6	



Допущения:

- 1) Все волокна расположены в направлении распределения нагрузки регулярно и равномерно.
- 2) Краевой эффект моделируется отсутствием взаимодействия между волокном и матрицы на торцах волокон.
- 3) Напряжение распределяется в волокне и матрице равномерно.
- 4) Разрушение происходит при достижении волокнами предела прочности.
- 5) Модель осесимметрична.

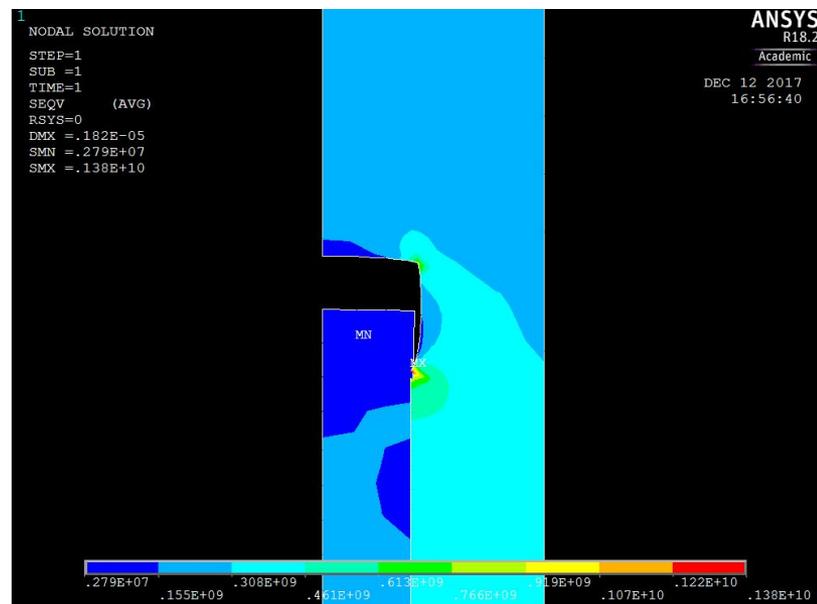
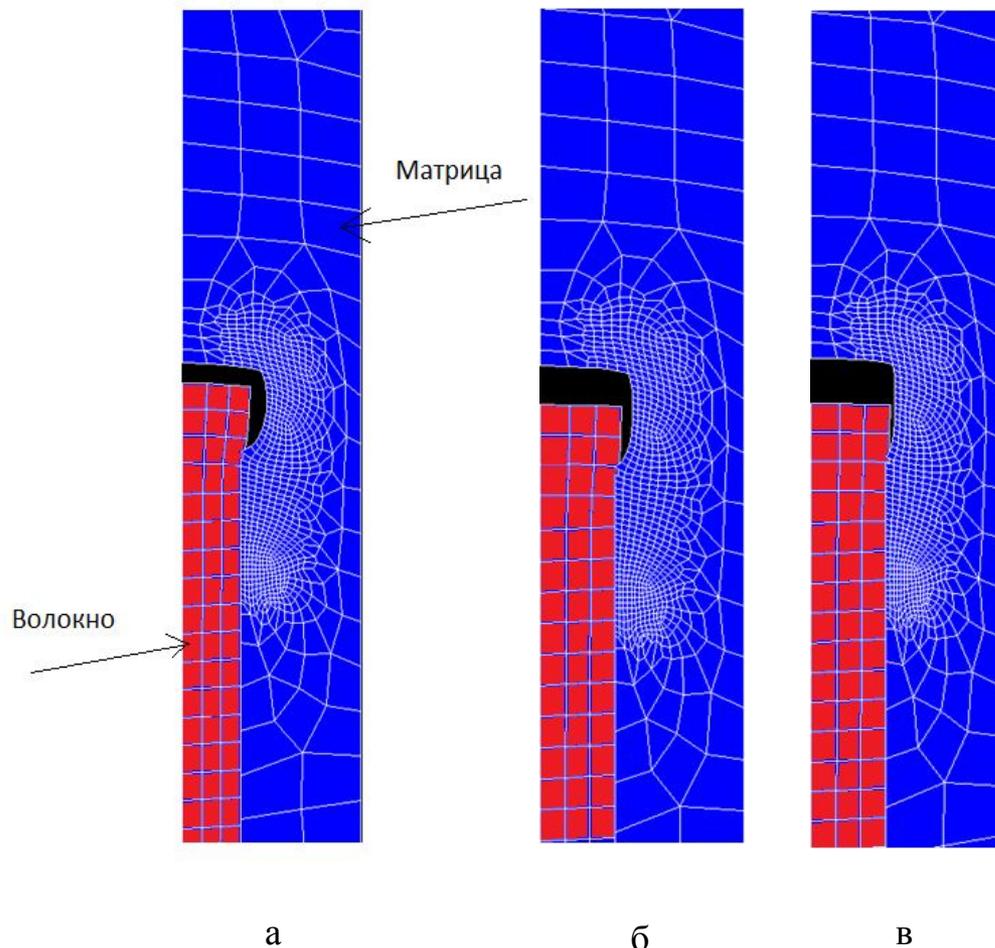
Граничные условия:

- 1) Модель нагружается вдоль оси Y усилием, соответствующим предельному значению относительного удлинения стеклянных волокон.
- 2) Нижняя часть модели закреплена консольно.
- 3) Левая граница модели ограничена перемещениями по оси X.
- 4) Правая граница перемещается свободно.

Методика построения конечно-элементной модели (КЭ) в программном комплексе ANSYS

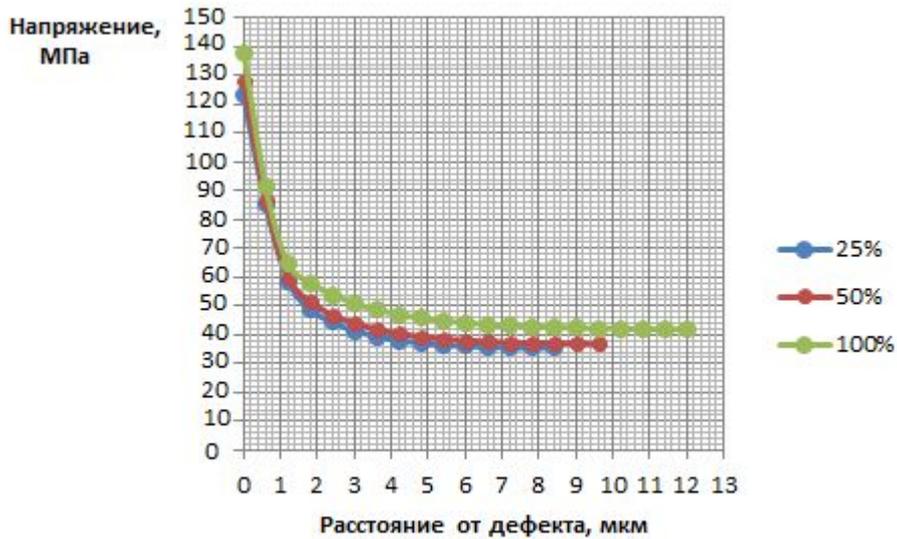
- 1) Постановка задачи
- 2) Назначение типов конечных элементов и их особенности
- 3) Определение свойств материала модели
- 4) Задание упругих констант для стеклянного волокна
- 5) Создание геометрической модели
- 6) Присвоение свойств блокам волокна и матрицы
- 7) Разбиение модели на конечные элементы (КЭ)
- 8) Задание граничных условий
- 9) Расчет
- 10) Отображение деформированного и недеформированного состояния модели

Влияние наличия дефекта на границе раздела на деформационно - прочностные свойства стеклопластика с использованием КЭ модели.

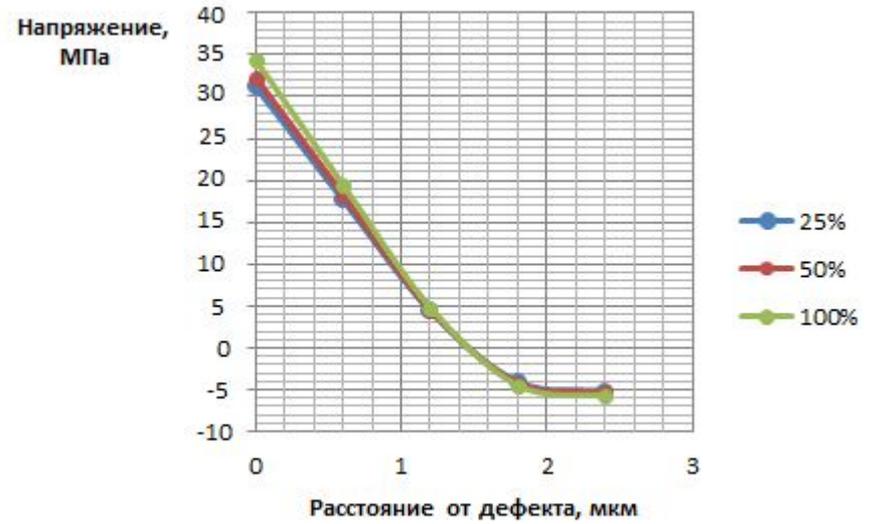


Напряжённое состояние модели

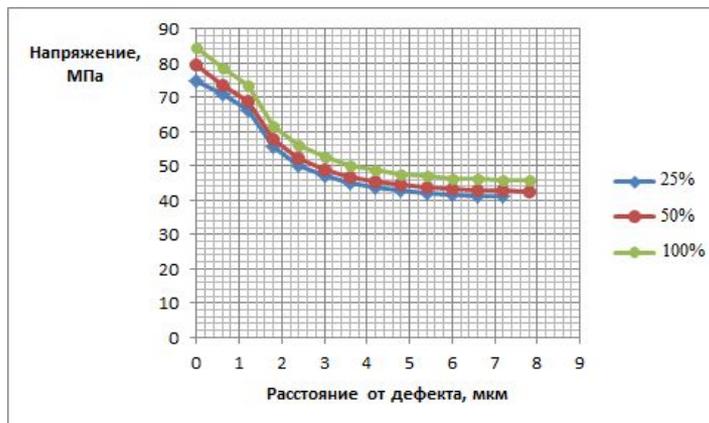
Деформированное состояние стеклопластика а— 25%, б – 50%, в- 100% от разрушающей деформации волокна



Напряжения σ_y на границе раздела волокно - матрица при деформациях 25%, 50% , 100% от разрушающей деформации волокна в зависимости от расстояния от дефекта.



Сдвиговые напряжения τ_{xy} на границе волокно – матрица при деформации 25%, 50%, 100% от разрушающей деформации волокна в зависимости от расстояния от дефекта.



Нормальные напряжения σ_x на границе раздела волокно - матрица при деформациях 25%, 50%, 100% от разрушающей деформации волокна в зависимости от расстояния от дефекта.

Объекты исследований

Объект исследования: Дискретно армированный стеклопластик, на основе поликапроамидного связующего.

Характеристики стеклянного волокна ВМС
6-7,2x1x2-80

Параметр	Значение
Линейная плотность μ	14,5
Разрывная нагрузка, Н	10,0
Предел прочности σ_x , ГПа	4,2
Предел прочности σ_y , ГПа	2,1
Модуль упругости E_x , ГПа	80
Модуль упругости E_y , ГПа	40
Плотность $\rho_{\text{в}}$, кг/м ³	2560

Характеристики поликапроамида (Полиамид 6)

Наименование показателя	Величина
Плотность, кг/м ³	1150-1160
Температура плавления, °С	220-250
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	65-85
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	100-110
Относительное удлинение при разрыве, %	15-30
Изгибающее напряжение при величине прогиба равной 1.5 толщины образца, МПа, не менее	80
Сопrotивление ударной нагрузке (ударная вязкость), без надреза, кДж/м ²	не разрушаются
Модуль упругости, ГПа	2,3-2,4

Схема изготовления образца стеклопластика

1



2



3-4



5

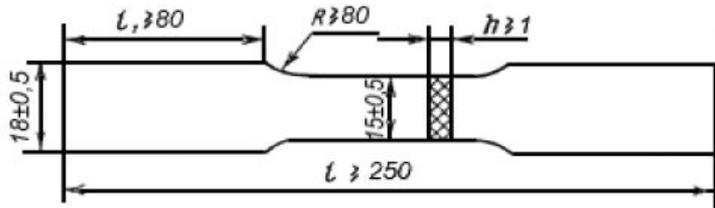


6

1. Раскрой тканого полуфабриката ТОПАС и полиамидной плёнки на заготовки.
2. Подготовка формы и сборка пакета из 11 слоёв (Размер пресс-формы= 200 x 100 мм)
3. Прессование при $T = 240^{\circ}\text{C}$, $P = 2,5 \text{ мПа}$, $t = 15 \text{ мин.}$
4. Охлаждение под давлением до $T = 25^{\circ}\text{C}$
5. Механическая обработка листового ПКМ.
6. Вырубка образцов в виде лопаток для испытаний

Методика испытаний.

Определение физико-механических характеристик стеклопластика при растяжении по ГОСТ 25.601-80



Эскиз образца в виде двусторонней лопатки для испытаний на одноосное растяжение с размерами, выполненными по ГОСТ



Образцы для испытаний на растяжение

1. Предел прочности при растяжении определяется из уравнения:

$$\sigma^+ = R^{\max} / A$$

где

σ^+ - предельная прочность на растяжение, МПа

R^{\max} - максимальная нагрузка до разрушения, Н

A – средняя площадь поперечного сечения, мм²

2. Модуль упругости при растяжении по данным кривой напряжения-деформации рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

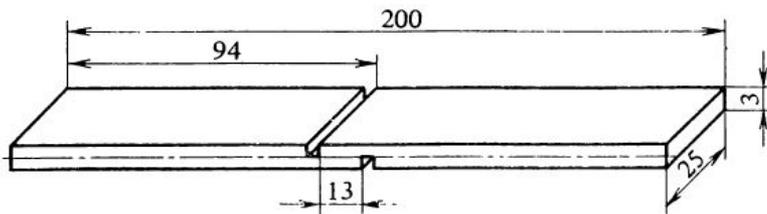
где E – модуль упругости при растяжении, ГПа

$\Delta\sigma$ - различие в растягивающих напряжениях между двумя деформируемыми точками

$\Delta\varepsilon$ - различие между двумя точками деформации (номинально 0,002)

Методика испытаний.

Определение физико-механических характеристик стеклопластика при межслоевом сдвиге



Образец для определения
прочности
при межслоевом сдвиге.

Прочность при межслоевом сдвиге
определяется

по формуле:

$$\tau = P_{\text{разр}}/F$$

где

τ – прочность при межслоевом сдвиге,
МПа

$P_{\text{разр}}$ - разрушающее усилие, Н

F - площадь среза, мм²

Сравнение результатов экспериментов и численного моделирования.

Параметр	Моделирование	Экспериментальные данные	Отклонение, %
Нормальное напряжение σ_x , МПа	85	80,2±4,1	5,5
Напряжение σ_y , МПа	138	130,6±13,65	5,3
Сдвиговое напряжение τ_{xy} , МПа	34,4	32,8±2,42	5,6

Выводы

- 1) Проведены экспериментальные исследования на физико-механические свойства стеклопластика при растяжении и сдвиге.
- 2) Рассмотрены различные методы построения КЭ модели ПКМ с учётом развития дефекта в виде краевого эффекта торцов волокон на границе раздела волокно-матрица. Проанализированы современные подходы механики разрушения для аналитического моделирования деформационно-прочностных свойств полимерной композиционной матрицы.
- 3) Исследовано с помощью КЭ моделирования влияние дефекта на границе раздела фаз на деформационно-прочностные свойств стеклопластика и установлено, что предложенная в работе конечно-элементная модель стеклопластика содержащая дефект в виде краевого эффекта торцов волокон на границе волокно-матрица показала хорошую корреляцию с экспериментальными данными. Отклонения данных численного моделирования от экспериментальных соответственно равны: $\sigma_x = 5,5\%$, $\sigma_y = 5,3\%$, $\tau_{xy} = 5,6\%$.
- 4) Полученные в результате анализа данные позволяют прогнозировать дальнейшее развитие дефектов в элементах авиационных конструкций.

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**