

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Э. БАУМАНА

П.А. Зиновьев, А.А. Смердов

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия по курсу «Проектирование
композитных конструкций. Часть II» для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки 652600 «Ракетостроение и космонавтика»,
специальностям 130600 «Ракетостроение» и 130700
«Космические летательные аппараты и разгонные блоки»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2006

УДК 620.22-419.8(075.8)
ББК 34.42:30.36
3-63

Рецензенты: *Б.Г. Попов, В.А. Бунаков*

Зиновьев П.А., Смердов А.А.

3-63 Оптимальное проектирование композитных материалов: Учебное пособие по курсу «Проектирование композитных конструкций. Ч. II». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 103 с.: ил.

ISBN 5-7038-2840-6

Изложены основные принципы оптимального проектирования композитных материалов. Рассмотрены задачи создания однонаправленных волокнистых композитов и многослойных материалов с оптимальным набором характеристик. Приведены примеры управления свойствами типичных углепластиков, стеклопластиков и органопластиков.

Для студентов старших курсов высших технических учебных заведений, изучающих механику композитных материалов, методы проектирования конструкций из композитных материалов.

Ил. 34. Табл. 3. Библиогр. 21 назв.

УДК 620.22-419.(075.8)
ББК 34.42:30.36

ВВЕДЕНИЕ

Возможность проектирования *материалов* с оптимальными характеристиками — одна из отличительных особенностей проектирования композитных конструкций.

Свойства любого традиционного материала можно определить набором констант, а проектируемый композитный материал (композит) представляет собой материал с варьируемой внутренней структурой. Целенаправленно изменяя структурные параметры композита, можно управлять его свойствами.

Как отмечалось в начале курса [1], при проектировании композитных объектов возникают задачи различных типов:

- прямой расчет характеристик;
- параметрический анализ;
- скалярная оптимизация;
- исследование предельных возможностей.

В данной книге рассматриваются эти задачи применительно к композитным материалам с варьируемой структурой.

Для разных классов композитных материалов задача управления свойствами ставится и решается по-разному. Ниже рассмотрены такие задачи для двух наиболее широко применяемых классов композитов: однонаправленных волокнистых материалов и многослойных пакетов.

При оптимизации любого типа композитной структуры должна быть составлена модель макрооднородного материала с приведенными характеристиками. Эти характеристики зависят как от свойств компонентов композитного материала, так и от его структурных параметров, определяющих соотношения между этими

компонентами, их взаимное расположение и т. п. При этом характеристики компонентов композита считаются неизменными, а структурные параметры могут варьироваться при поиске оптимального проекта, обеспечивая требуемое изменение его свойств.

Изложение вопросов оптимального проектирования композитов будет следовать общей схеме постановки и решения задач оптимизации композитных материалов и конструкций, рассмотренной в [1]. Согласно этой схеме, для корректной формулировки задачи оптимального проектирования необходимо последовательно выбрать:

- объект проектирования;
- варьируемые параметры;
- критерии качества.

Возможные варианты выбора зависят от типа проектируемого материала.

Расчетные модели, используемые для описания отдельных характеристик проектируемого материала, большей частью соответствуют работам [2 – 4], в иных случаях каждый расчетный алгоритм имеет соответствующую ссылку.

В рассматриваемых примерах, как правило, описаны волокнистые армированные композиты с полимерной матрицей. Многие положения сохраняют свой смысл и для более широкого класса композитных материалов.

1. ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

1.1. Постановки задач оптимизации

Объект проектирования — однонаправленный волокнистый композит, представляющий собой совокупность волокон, ориентированных в одном направлении и расположенных в связывающей их матрице (рис. 1.1, *а*). Основное назначение волокон — обеспечение требуемых высоких характеристик материала, основное назначение матрицы — обеспечение совместной работы волокон. Свойства матрицы также влияют на характеристики композита, особенно в поперечном направлении и при сдвиге.

Будем рассматривать плоский слой однонаправленного материала и исследовать только его характеристики в плоскости армирования. Такой объект принято называть *монослоем*. Оси системы координат монослоя показаны на рис. 1.1, *а*. Ось 1 направлена вдоль армирующих волокон, ось 2 — по нормали к ним в плоскости армирования. Такая система координат называется *естественной* для однонаправленного волокнистого композита.

В ряде случаев представляют интерес свойства однонаправленного монослоя в иной системе координат, повернутой на угол φ относительно оси 1 естественной системы (рис. 1.1, *б*). Вообще говоря, проектирование материалов, состоящих из произвольно ориентированных слоев, рассматривается в следующей главе данной книги, однако этот простейший случай будем относить к проектированию однонаправленных материалов.

В общем случае объект оптимизации может содержать одновременно n различных типов волокон (углеродных, стеклянных и др.);

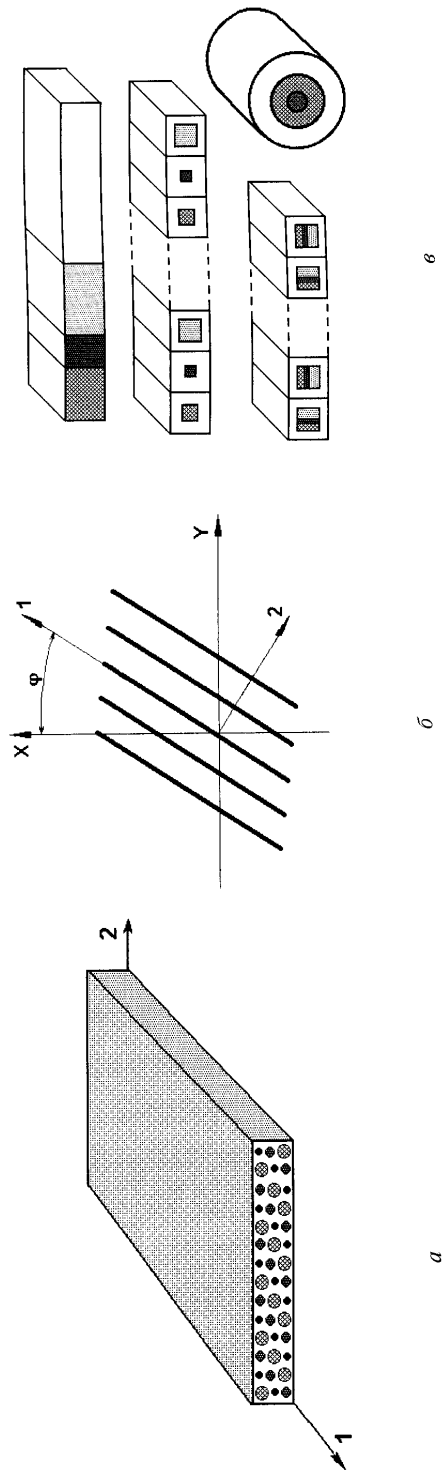


Рис. 1.1.1. Однонаправленный волокнистый композит в естественной (*а*) и повернутой (*б*) системах координат; различные модели однонаправленного монослоя (*в*)

такой материал называется *гибридным*. Важным частным случаем является *двухкомпонентный материал*, для которого $n = 1$. Именно такие материалы находят применение в подавляющем большинстве реальных конструкций.

Существуют различные математические модели для описания характеристик монослоя в зависимости от характеристик волокон и матрицы [5]. В основном эти модели можно разделить на три группы:

- модели «осреднения», исходящие из регулярного расположения волокон в матрице и их идеальной связи;
- модели, учитывающие свойства границы раздела сред;
- модели, учитывающие статистическое распределение свойств армирующих волокон, а также нерегулярность их расположения в слое.

Разные модели обеспечивают расчет разных свойств монослоя с различной точностью. Так, на основе алгоритмов осреднения могут быть с большей или меньшей точностью описаны такие интегральные характеристики слоя, как его плотность, теплоемкость, жесткостные свойства, термо- и гигроупругие характеристики, коэффициенты диссипации, отчасти — коэффициенты теплопроводности и некоторые другие величины. Вместе с тем, для описания характеристик прочности недостаточно знать только свойства волокон и матрицы в идеальном модельном материале; необходим учет и остальных перечисленных факторов [6, 7].

Следует иметь в виду, что на стадии проектирования материала, как правило, отсутствует достоверная информация о свойствах границы раздела сред, распределении дефектов в слое и т. п. Кроме того, характеристики армирующих волокон, особенно в поперечном направлении, обычно известны с невысокой точностью. Как правило, эти величины не определяются непосредственно, а рассчитываются на основании экспериментальных данных, полученных для однонаправленного слоя. Результат такого пересчета зависит от выбранной расчетной модели [8].