

ТЕХНОЛОГИИ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ

М.А. Комков, В.А. Тарасов

Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по машиностроительным направлениям*

2-е издание



Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана
2 0 1 5

УДК 621.744: 621.07: 29.7.03: 678.067 (075.8)
ББК 34.432
К63

Рецензенты:

кафедра «Технология производства летательных аппаратов»
ГОУ ВПО «МАТИ» – Российского государственного
технологического университета им. К. Э. Циолковского
(зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *А. С. Чумадин*);
д-р техн. наук, проф., генеральный директор
ЗАО «Компомаш ТЭК» *В. А. Мусеев*

Комков, М. А.

К63 Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения : учеб. пособие / М. А. Комков, В. А. Тарасов. — 2-е изд. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 431, [1] с. : ил. — (Технологии ракетно-космического машиностроения).

ISBN 978-5-7038-4223-2

Изложены сведения о композитных и металлокомпозитных конструкциях ракет и средств поражения различных форм, изготавливаемых методом намотки. Приведены характеристики волокнистых однонаправленных полимерных композиционных материалов, принципы проектирования равно- и неравнонапряженных оболочек сосудов давления из композиционных и комбинированных материалов. Рассмотрены теоретические основы кинематики намотки изделий, реализуемых на станках токарного и торoidalного типов.

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, которые авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для преподавателей, студентов и аспирантов технических вузов, обучающихся по направлению «Ракетостроение и космонавтика», а также для инженеров, работающих в области проектирования и технологии изготовления композитных конструкций различного назначения методом намотки.

УДК 621.744: 621.642.07: 29.7.03: 678.067 (075.8)
ББК 34.432

ISBN 978-5-7038-4223-2

© Комков М.А., Тарасов В.А., 2011
© Комков М.А., Тарасов В.А., 2015
© Оформление. Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	8
Часть I. Конструктивно-технологическая характеристика намотанных композитных конструкций ракет и средств поражения	12
Глава 1. Намоточные волокнистые композиционные материалы	12
1.1. Композиционные материалы и их преимущества	12
1.2. Непрерывные волокнистые наполнители для полимерных композиционных материалов	20
1.3. Полимерные матрицы и термореактивные связующие для намоточных композиционных материалов	44
1.4. Структура и свойства однонаправленных композиционных материалов	56
1.5. Методы определения механических характеристик однонаправленных волокнистых композиционных материалов	72
Глава 2. Анализ намотанных композитных конструкций ракет и средств поражения	80
2.1. Характеристика технологических методов создания композитных конструкций из однонаправленных композиционных материалов	80
2.2. Типовое применение намотанных композитных конструкций в ракетно-космической технике и средствах поражения	96
2.3. Особенности концевых соединений композитных конструкций	105
Часть II. Проектирование композитных оболочек конструкций ракет и средств поражения	119
Глава 3. Проектирование равнонапряженных комбинированных и композитных оболочек конструкций ракет и средств поражения	119
3.1. Принципы проектирования равнонапряженных композитных оболочек, образованных намоткой нитей	119
3.2. Комбинированные тороидальные оболочки общего вида	132
3.3. Композитные тороидальные оболочки с расчетным меридианом	149
3.4. Комбинированные тороидальные оболочки кругового сечения с поперечной намоткой	159

3.5. Анализ комбинированных и композитных цилиндрических оболочек	172
3.6. Анализ комбинированных и композитных оболочек днищ цилиндрических баллонов	182
3.7. Композитные сферические оболочки, изготовленные методом зональной намотки однонаправленных композиционных материалов	195
Глава 4. Особенности проектирования неравнонапряженных композитных тороидальных оболочек и криволинейных труб	205
4.1. Рациональные схемы армирования тороидальных оболочек кругового сечения, изготовленных методом спиральной намотки нитей	205
4.2. Анализ ограничений, связанных с намоткой тороидальных оболочек кругового сечения и криволинейных труб	213
4.3. Композитные тороидальные оболочки с продольно-поперечной схемой армирования	224
4.4. Композитные криволинейные трубопроводы, изготовленные методом спиральной намотки нитей	238
Часть III. Технологические основы метода намотки композитных конструкций ракет и средств поражения	255
Глава 5. Метод намотки в производстве конструкций из композиционных материалов	255
5.1. Технология формирования и пропитки полимерно-волоконистой намоточной ленты	255
5.2. Технологические способы намотки композитных конструкций	272
5.3. Станки для открытой и для орбитальной намотки композитных конструкций	283
5.4. Технологические оправки для намотки композитных конструкций ракет и средств поражения	299
Глава 6. Кинематические параметры намотки композитных конструкций ракет и средств поражения	318
6.1. Кинематика орбитальной намотки комбинированных тороидальных оболочек общего вида	318
6.2. Кинематические параметры намотки цилиндрических и конических оболочек	335
6.3. Кинематика намотки композитных цилиндрических оболочек с днищами	346
6.4. Определение технологических параметров зональной намотки сферических оболочек	352

Глава 7. Типовые технологические процессы намотки композитных конструкций	360
7.1. Технология изготовления методом намотки композитных коробчатых и двутавровых шпангоутов	360
7.2. Технология изготовления торových баков из комбинированных материалов	384
7.3. Технология изготовления композитных тороидальных сосудов давления методом намотки	392
7.4. Методика совместного проектирования конструкции и технологии изготовления методом намотки композитных тороидальных оболочек	403
7.5. Типовое технологическое оснащение процессов намотки конструкций ракет и средств поражения	409
Вопросы для самоконтроля	425
Литература	430

*Посвящается
180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана
и 70-летию кафедры СМ-12
«Технологии ракетно-космического
машиностроения»*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Один из распространенных конструктивных элементов летательных аппаратов (ЛА) – сосуды давления, которые применяют в качестве баллонов, газовых аккумуляторов, топливных баков или прямо- и криволинейных трубопроводов в системах пневмоавтоматики, наддува, терморегулирования, управления и жизнеобеспечения ЛА. Сосуды давления нашли применение на наземном транспорте, в частности в газобаллонных автомобилях, а также в дыхательных аппаратах, переносимых на спине человека.

Среди наиболее важных требований, предъявляемых к конструкциям сосудов давления, можно назвать минимальную массу, высокую надежность, максимальный ресурс работы в условиях эксплуатации. Этих требований невозможно достичь без разработки современных прогрессивных технологий и применения высокопрочных волокнистых полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Одним из основных методов создания композитных конструкций является намотка, которая обеспечивает получение высококачественных изделий. В настоящее время этот метод хорошо отработан для производства большого класса выпуклых оболочек на намоточных станках токарного типа. В связи с тем что вопросы намотки тороидальных оболочек, криволинейных труб и профильных шпангоутов исследованы мало, в книге особое внимание уделено вопросам проектирования композитных конструкций и технологии изготовления методом орбитальной намотки тороидальных баллонов и криволинейных трубопроводов, а также коробчатых и двутавровых шпангоутов, сведения о которых неполно отражены в технической литературе.

При написании учебного пособия использованы опыт преподавания авторов на кафедре «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана и работы, выполненные в «Лаборатории композитных технологий» кафедры, обобщены достижения отечественных и зарубежных исследователей.

Издание полезно студентам, аспирантам и преподавателям вузов, а также инженерам, работающим в области проектирования и технологии изготовления композитных конструкций методом намотки.

В формировании изложенных в книге методологических основ намотки конструкций из ПКМ важную роль сыграли годы совместной работы авторов с руководителем «Лаборатории композитных технологий» А.К. Добровольским, с сотрудниками лаборатории доктором технических наук, профессором И.М. Булановым, кандидатами технических наук, доцентами В.М. Кузнецовым и Г.Е. Нехороших, инженером М.В. Мулюгиной, а также профессором Б.Г. Поповым.

Важной была поддержка и внимание со стороны руководителя НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана В.В. Зеленцова, первого вице-президента РКК «Энергия» А.Ф. Стрекалова и заместителя главного технолога ЗАО ЗЭМ РКК «Энергия» В.А. Романенкова. Авторы благодарят выпускников кафедры СМ-12 С.А. Ахремова, Д.Г. Лобанова, А.А. Сергеева и О.Н. Амбриса, а также рецензентов профессоров А.С. Чумадина и В.А. Моисеева.

Авторы будут признательны читателям, приславшим свои замечания и другие пожелания по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, или по электронной почте: komkov@sm.bmstu.ru; tarasov@sm.bmstu.ru; cm12@sm.bmstu.ru.