

Оглавление

Предисловие	3
Список основных сокращений	5
1. Основы технологии изготовления ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе	7
1.1. Конструкция, рабочие процессы и особенности применения ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе	7
1.2. Особенности машиностроительного предприятия и технологических процессов изготовления двигателя	19
1.3. Методика проектирования технологических процессов	26
1.4. Показатели качества конструкции двигателя	29
1.5. Технологичность конструкции двигателя	35
Контрольные вопросы	44
2. Конструкционные материалы для высокоскоростных летательных аппаратов	46
2.1. Конструкционные металлы и сплавы	46
2.2. Композиционные материалы	59
2.3. Теплозащитные материалы, применяемые для композитных корпусов	65
Контрольные вопросы	77
3. Технологии формообразования элементов конструкции ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе	79
3.1. Литье	81
3.2. Пластическое деформирование	83
3.2.1. Холодное и горячее деформирование	83
3.2.2. Особенности литья и деформирования активных металлов ...	93
3.3. Механическая обработка	96
3.3.1. Оборудование и инструментальные материалы	96
3.3.2. Режущие инструменты	110
3.3.3. Технология резания материалов	120
3.3.4. Особенности обработки материалов	126
3.3.5. Пути совершенствования механической обработки	150
3.4. Раскрой и резка заготовок	158
3.5. Особенности проектирования технологического процесса и формообразования деталей из полимерных композиционных материалов	168

3.5.1. Основы технологии формообразования деталей из полимерных композиционных материалов	168
3.5.2. Основы производства теплозащитного покрытия для камеры сгорания двигателя	176
3.6. Особенности вулканизации резиновых смесей, применяемых для композитных корпусов	181
3.7. Особенности изготовления корпусных композитных конструкций методом «мокрой» программированной намотки	186
Контрольные вопросы	196
4. Высокотехнологичные методы формообразования элементов конструкции ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе	197
4.1. Порошковая металлургия	197
4.1.1. Порошковые компоненты	197
4.1.2. Этапы технологического процесса формообразования	210
4.1.3. Особенности конструкций из композиционных материалов на основе углерода	215
4.1.4. Особенности конструкций из порошковых композиционных материалов	227
4.1.5. Гранульная и нанометаллургия	238
4.2. Аддитивные технологии для изготовления элементов конструкции ракетных и реактивных двигателей	241
4.3. Системы автоматизированного проектирования и отработки ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе	249
4.3.1. Применение САПР на стадиях жизненного цикла двигателя	249
4.3.2. Система КОМПАС	251
4.3.3. Система AutoCAD	253
4.3.4. Система SolidWorks	255
4.3.5. Система CATIA	259
Контрольные вопросы	265
5. Основы технологии производства твердого топлива для ракетно-прямоточных двигателей	266
5.1. Основные физико-механические свойства твердого топлива	266
5.1.1. Основные требования, предъявляемые к твердому топливу	266
5.1.2. Компоненты баллиститного (двухосновного) топлива	271
5.1.3. Компоненты смесового топлива	272
5.2. Технология производства твердого топлива	281
5.2.1. Особенности технологических процессов производства баллиститного и смесового топлива	281
5.2.2. Производство баллиститного топлива	282
5.2.3. Производство смесового топлива	286
5.2.4. Производство комбинированного топлива	291
5.2.5. Производство экструдированного смесового топлива	292
5.2.6. Производство топлива, обогащенного горючим	293

5.3. Защитно-крепящий слой и бронирующие покрытия	294
5.3.1. Защитно-крепящий (клеевой) слой	294
5.3.2. Бронепокрытия зарядов	295
5.4. Контроль качества топлива	298
5.4.1. Оборудование для контроля качества	298
5.4.2. Контроль качества производства смесового топлива	303
5.5. Безопасность процессов производства топлива	305
5.5.1. Причины аварий	305
5.5.2. Классификация опасностей	306
5.5.3. Меры безопасности при производстве топлива	308
5.5.4. Общие требования техники безопасности	309
5.6. Структурная целостность заряда топлива	311
5.6.1. Влияние режимных параметров на структурную целостность твердого топлива.....	311
5.6.2. Старение топлива и деградация свойств зарядов	314
5.6.3. Продление назначенных сроков службы твердотопливных и ракетно-прямоточных двигателей	316
Контрольные вопросы	317
Литература	319

Предисловие

Расширение объема опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ, посвященных созданию прямоточных воздушно-реактивных, ракетно-прямоточных и гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей, свидетельствует об их востребованности и необходимости развертывания поисковых и фундаментальных исследований, ориентированных на освоение и реализацию новых схемных решений двигателей, разработку новых топливных композиций, конструкционных материалов и более совершенных, инновационных технологий.

Для решения этих комплексных задач профильным проектно-конструкторским и машиностроительным предприятиям требуются специалисты, обладающие соответствующими компетенциями. Обучение и подготовка таких специалистов в той или иной форме осуществляются в ведущих вузах России, в частности в МГТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МФТИ, НГУ и др.

В 2009–2016 гг. выпущены учебники, учебные пособия и монографии*, в которых изложены особенности рабочих процессов, приведены свойства различных видов топлива, представлены методики внутрибаллистических, газо- и термодинамических расчетов и конструирования как ракетно-прямоточных двигателей в целом, так и их отдельных агрегатов. Тем не менее без должного учебно-методического обеспечения остается такой принципиально важный объект изучения, как технология изготовления прямоточных воздушно-реактивных и ракетно-прямоточных двигателей, хотя от эффективности разрабатываемых технологий напрямую зависит реализация всех преимуществ, которые свойственны этим двигателям, в том числе двигателям, работающим на твердом и боросодержащем топливе.

Учитывая это, авторский коллектив счел необходимым обратиться к предмету настоящего издания и на основе теоретических, расчетных данных, конструкторских проработок в виде технических предложений и эскизных проектов подготовить учебное пособие, посвященное технологии изготовления

*См., например, Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе / Б.В. Обносков и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 303 с.; Проектирование и отработка ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе / В.А. Сорокин и др.; под ред. В.А. Сорокина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 317 с.; Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах. Основы проектирования и экспериментальной обработки / В.А. Сорокин и др. М.: Физматлит, 2010. 320 с.; Энергоемкие горючие для авиационных и ракетных двигателей: справочник. М.: Физматлит, 2009. 400 с.

ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе. Не претендуя на исчерпывающее рассмотрение в предлагаемом издании всех технологических процессов, которые необходимы для разработки опытных и создания серийных образцов реактивных двигателей данного класса, авторы надеются, что оно будет востребовано в учебном процессе заинтересованных кафедр. Можно с уверенностью утверждать, что впоследствии изложенный материал будет дополнен, например будут рассмотрены особенности технологического процесса изготовления воздухозаборных устройств, корпусных металлических элементов и др.

Члены авторского коллектива представляют ведущие организации России в данной предметной области. Материал учебного пособия распределен между авторами следующим образом: В.А. Сорокин (АО «МКБ “Искра”») — предисловие, параграфы 1.2, 4.2 и 4.3; Д.А. Ягодников (МГТУ им. Н.Э. Баумана) — предисловие, главы 2 и 4; Л.С. Яновский (ЦИАМ им. П.И. Баранова) — глава 5; В.Л. Страхов (ЦНИИСМ) — параграфы 2.3, 3.6 и 3.7; В.А. Калинин (МГТУ им. Н.Э. Баумана) — глава 2, параграфы 3.1–3.4; С.В. Резник (МГТУ им. Н.Э. Баумана) — параграфы 1.1, 2.1 и 2.2; М.А. Тихомиров, О.В. Мокрецов, Е.А. Стирин (АО МКБ “Искра”) — параграфы 1.1–1.4 и 3.5.2; Г.Г. Кобко (МАИ) — параграфы 1.5 и 4.3.

В заключение авторы выражают большую признательность всем, кто принял участие в обсуждении и подготовке данного издания, в частности сотрудникам АО «Композит» и персонально В.П. Францкевичу — советнику генерального директора АО «МКБ “Искра”».

В.А. Сорокин, Д.А. Ягодников