

УДК 629.7-036.3(075.8)
ББК 39.551.41-06я73-1
К70

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С.В. Михайлов,

Директор ГБПОУ «Политехнический колледж им. Н.Н. Годовикова»;

Д.Ю. Козинер,

Председатель предметной (цикловой) комиссии производства
и обслуживания авиационных двигателей

ГБПОУ «Политехнический колледж им. Н.Н. Годовикова»;

Е.С. Болмосова,

Главный технолог АО «Московское машиностроительное предприятие
им. В.В. Чернышева»;

В.А. Самойлов,

Зам. главного технолога по сборке, испытанию и ремонту
АО «Московское машиностроительное предприятие им. В.В. Чернышева»

Коршунов В.М.

К70 Сборка авиационных газотурбинных двигателей: учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 2024. — 372 с.: ил.

ISBN 978-5-00184-104-3

Рассмотрены структура двигателестроительного завода, организация сборочных работ ГТД и входящих в ее состав технологических операций, методы достижения точности сборки узлов, типы соединений, используемые при производстве ГТД, контроль в сборочном процессе.

На примере сборки двухкаскадного высокотемпературного ГТД показаны процессы сборки узлов и газогенератора, технология сборки роторов (барабанов и рабочих колес). Представлена теоретическая основа обеспечения взаимозаменяемости комплектов рабочих лопаток по дисбалансу.

Проведен сравнительный анализ используемых при сборке колес весовых характеристик рабочих лопаток и имеющегося технологического оборудования для статической балансировки комплектов распределения лопаток по пазам диска на ЭВМ. Описаны конструкция и технологические возможности автоматизированного рабочего места комплектовщика комплекса АРМКо-1.

Рассмотрены вопросы модульности конструкции ГТД и взаимозаменяемости его узлов, а также технологического обеспечения при сборке ГТД и возможности введения дифференцированного ресурса работы для комплектов рабочих лопаток роторов компрессора и турбины.

Предложены варианты конструкции, обеспечивающие возможность замены бандажированных комплектов лопаток ротора турбины без разборки изделия.

Для студентов высших и средних технических учебных заведений. Может быть полезно также конструкторам и технологам моторостроительных предприятий при разработке и организации производства новых современных ГТД.

УДК 629.7-036.3(075.8)
ББК 39.551.41-06я73-1

ISBN 978-5-00184-104-3

© Коршунов В.М., 2024
© ООО «Издательство «Финансы и статистика», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
ГЛАВА 1. Подготовка к сборочному процессу	7
1.1. Организация сборочных работ. Маршрут изготовления авиационного двигателя, организация сборочных работ и основы проектирования технологии	7
1.2. Основные понятия и элементы сборочного процесса	9
1.3. Организационные методы сборки	10
1.4. Взаимозаменяемость деталей и узлов при поточной сборке	11
1.5. Организация рабочего места сборщика	12
1.6. Разработка технологического процесса сборки	13
1.7. Подготовительные операции до начала сборки	14
1.7.1. Подбор деталей	14
1.7.2. Клеймение деталей	15
1.7.3. Промывка деталей и узлов ГТД	16
1.7.4. Подготовка подшипников опор к монтажу	26
1.7.4.1. Краткие сведения о применяемых подшипниках	26
1.7.4.2. Проведение подготовительных работ	28
1.7.4.3. Дуплексация шариковых подшипников	29
1.7.5. Динамическая балансировка валов	31
ГЛАВА 2. Точность сборки и методы ее достижения	35
2.1. Метод расчета по предельным отклонениям размеров. Погрешности при сборке узла	35
2.2. Вероятностный метод расчета допуска на размер замыкающего звена	37
2.3. Метод алгебраического и квадратичного суммирования величин звеньев	38
ГЛАВА 3. Типы соединений и методы их осуществления	42
3.1. Соединения, используемые в ГТД	42
3.1.1. Соединение валов	43

3.1.2. Уплотнительные соединения.....	45
3.1.2.1. Контактные уплотнения	45
3.1.2.2. Бесконтактные уплотнения	48
3.1.3. Соединения гладкие с зазором.....	49
3.2. Неподвижные соединения	49
3.2.1. Разъемные соединения	49
3.2.1.1. Резьбовые соединения	49
3.2.1.2. Соединения гладкие с натягом	55
3.2.2. Неразъемные соединения	56
3.2.2.1. Металлургические соединения	56
3.2.2.1.1. Сварные соединения	56
Электродуговая сварка	57
Контактная сварка	59
Плазменная сварка	60
Электронно-лучевая сварка	61
Диффузионная сварка	62
Ультразвуковая сварка	63
Лазерная сварка	65
Сварка ТВЧ (индукционная сварка)	67
Сварка взрывом	67
Сварка трением	68
Газовая сварка	69
3.2.2.1.2. Паяные соединения	69
3.2.2.2. Клеевые соединения	70
3.2.2.3. Заклепочные соединения	71
ГЛАВА 4. Типы сопряжений деталей и узлов в ГТД.....	74
4.1. Сопряжение деталей. Методы обеспечения соосности	74
4.1.1. Обеспечение соосности по центрирующим поясам	74
4.1.2. Обеспечение соосности по коническим поверхностям	75
4.1.3. Обеспечение соосности призонными болтами	76
4.1.4. Обеспечение соосности сопрягаемых деталей по шлицам	77
4.2. Обеспечение заданного взаимного углового расположения деталей в собираемом узле	78
4.3. Обеспечение осевого взаимного расположения сопрягаемых деталей	79

ГЛАВА 5. Контроль в сборочном процессе	80
5.1. Организация контроля в сборочном процессе.	
Структура службы контроля предприятия	80
5.2. Технический контроль при сборке ГТД	82
5.3. Виды мерительных инструментов	83
5.4. Методы контроля зазоров и биений	85
5.5. Методы специального контроля деталей и узлов	89
5.5.1. Контроль деталей и узлов методом цветной дефектоскопии «ЦМ-15»	90
5.5.2. Контроль деталей и узлов методом ЛЮМ-17	92
5.5.3. Контроль деталей и узлов методом ЛЮМ-1	94
5.5.4. Контроль внутренней полости охлаждаемых лопаток турбины токовихревым методом	95
5.5.5. Рентгеноконтроль деталей изделия	98
5.5.6. Ультразвуковой контроль деталей	99
5.5.7. Магнитно-порошковый метод контроля деталей и узлов	102
ГЛАВА 6. Основные понятия, используемые при балансировке роторов	106
6.1. Причины возникновения вибраций корпусов ГТД	106
6.2. Основные понятия, используемые при балансировке.	
Термины и определения	107
6.3. Виды неуравновешенности	109
6.3.1. Статическая неуравновешенность	109
6.3.2. Моментная неуравновешенность	110
6.3.3. Динамическая неуравновешенность	110
6.4. Методы устранения дисбаланса	111
6.4.1. Статическая балансировка ротора	111
6.4.2. Динамическая балансировка ротора	117
6.5. Конструкция и работа балансировочного станка	119
6.6. Модульная балансировка роторов	122
6.6.1. Общие положения	122
6.6.2. Раздельная балансировка модулей рабочего колеса	124
6.6.3. Балансировка модуля диска	125
6.6.4. Совместная балансировка модулей рабочего колеса	126
6.6.5. Использование метода модульной балансировки	128

ГЛАВА 7. Сборка роторов ГТД	129
7.1. Модульность конструкции ГТД и пути ее достижения. Сборка каскадов роторов	129
7.2. Сборка узлов газогенератора	133
7.2.1. Сборка и балансировка узлов ГДТ	133
7.2.2. Сборка механического узла ротора.....	138
7.3. Сборка каскада низкого давления	143
7.3.1. Сборка ротора компрессора низкого давления	143
7.3.2. Подбор, расстановка и статическая балансировка комплекта лопаток ротора компрессора по пазам диска	150
7.3.2.1. Измерение качки лопаток в пазах диска	151
7.3.2.2. Схема распределения рабочих лопаток по ЧСК	152
7.3.2.3. Уравновешивание комплекта рабочих лопаток	157
7.3.2.4. Масса рабочей лопатки	158
7.3.2.5. Статический момент рабочей лопатки ротора	159
7.3.2.6. Устройства для измерения статических моментов лопаток ротора	162
7.3.2.7. Современное оборудование для измерения статических моментов лопаток	162
7.3.2.8. Уравновешивание комплектов рабочих лопаток распределением по пазам диска	167
7.3.2.9. Использование ЭВМ для комплектовки рабочих лопаток	172
7.3.2.10. Программное обеспечение процессов комплектровки рабочих лопаток роторов ГТД	173
7.3.2.11. Экспериментальная проверка взаимоза- меняемости комплектов рабочих лопаток, уравновешенных на ЭВМ	176
7.3.2.12. Конструкция и работа рабочего места комплектовщика модели АРМКо-1	179
7.3.2.13. Сборка рабочего колеса с кольцевым пазом крепления лопаток	184
7.3.3. Сборка ротора турбины низкого давления	191

7.3.3.1. Общие сведения по конструкции турбины ГТД	191
7.3.3.2. Сборка ротора турбины низкого давления	194
7.3.3.3. Динамическая балансировка ротора турбины	198
7.3.3.4. Возможность замены комплектов рабочих лопаток в эксплуатации	201
7.4. Сборка каскада роторов высокого давления	205
7.4.1. Сборка ротора турбины высокого давления	205
7.4.1.1. Конструкция ротора турбины высокого давления	205
7.4.1.2. Подготовка вала и рабочих лопаток к сборке ротора	206
7.4.1.3. Сборка механического узла ротора высокого давления	209
7.4.1.4. Динамическая балансировка ротора турбины высокого давления	214
7.4.2. Сборка ротора компрессора высокого давления	215
7.4.2.1. Краткие сведения о конструкции ротора	215
7.4.2.2. Установка масляных форсунок в вал	218
7.4.2.3. Установка маслосборной втулки в вал	219
7.4.2.4. Проверка герметичности масляных полостей	220
7.4.2.5. Установка кольца под подшипник промежуточной опоры	221
7.4.2.6. Установка рабочих лопаток на диски ротора	221
7.4.3. Сборка и динамическая балансировка каскада ротора высокого давления	224
7.5. Сборка ротора турбины с разъемным барабаном	224
7.6. Особенности сборки роторов компрессора ГТД с разъемным барабаном	228
7.6.1. Конструкция короткого ротора КНД	229
7.6.2. Сборка разъемного барабана длинного ротора	235
ГЛАВА 8. Узловая сборка статора газогенератора	241
8.1. Организация сборочных работ. Модульная конструкция статора газогенератора	241
8.2. Сборка статора компрессора	243

8.2.1. Краткие сведения о конструкции	243
8.2.2. Сборка корпуса передней опоры компрессора	243
8.2.3. Сборка разъемного корпуса компрессора со спрямляющими аппаратами	245
8.2.4. Сборка спрямляющего аппарата с неразъемным корпусом	248
8.2.5. Сборка направляющего аппарата с поворотными лопатками	250
8.2.6. Подготовка деталей средней опоры высокотемпературного ГТД к монтажу	255
8.3. Сборка камеры сгорания	257
8.3.1. Краткие сведения о конструкции	257
8.3.2. Технология сборки камеры сгорания	260
ГЛАВА 9. Сборка соплового аппарата I ступени турбины	261
9.1. Рабочая технология сборки соплового аппарата I ступени турбины. Краткое описание конструкции	261
9.2. Технология сборки соплового аппарата I ступени	264
9.2.1. Подготовка лопаток соплового аппарата к сборке	264
9.2.2. Проверка расхода охлаждающего воздуха через отверстия и щели всех лопаток комплекта	266
9.3. Сборка соплового аппарата I ступени турбины	268
9.3.1. Сборка корпуса соплового аппарата I ступени турбины	268
9.3.2. Измерение площадей межлопаточных каналов соплового аппарата	274
9.3.3. Постановка вставок бандажа	276
9.3.4. Монтаж заглушки в смотровое отверстие лопатки соплового аппарата	277
9.3.5. Сборка заслонки охлаждения с роликами	278
9.3.6. Постановка кольца соплового аппарата, лабиринта наружного, заслонки с роликами и экрана в узел соплового аппарата	279
9.3.7. Сборка механизмов поворота заслонки и привода	281
9.3.8. Установка механизма сигнализатора	287
9.3.9. Установка трубки приемника давления	290
9.3.10. Постановка кольца и крышки наружной	290
9.3.11. Корректировка площади проходного сечения сопловых аппаратов по результатам сдаточного испытания	292

ГЛАВА 10. Общая сборка ГТД	295
10.1.Общая сборка газогенератора. Описание конструкции газогенератора	295
10.2. Проверка соосности опор	297
10.3. Подготовка ротора высокого давления к балансировке	298
10.4. Устранение динамической неуравновешенности	304
10.5. Контроль сбалансированности роторов каскада высокого давления	304
10.6. Сборка газогенератора ГТД.....	305
10.7. Форсажная камера	317
10.7.1. Общие сведения	317
10.7.2. Краткое описание конструкции	319
10.7.3. Маршрутная технология сборки форсажного диффузора	320
10.7.4. Корпус форсажной камеры.....	320
10.7.5. Реактивное сопло	321
10.7.6. Гидравлический привод сопла	325
10.7.7. Сборка венца внутренних створок	331
10.8. Предъявительские испытания ГТД	333
10.9. Переборка ГТД.....	335
ГЛАВА 11. Модульная сборка двухконтурного ГТД	339
11.1. Маршрутная технология сборки ГТД в иллюстрациях ..	339
ГЛАВА 12. Технологичность сборки ГТД и пути ее повышения	345
12.1. Общие сведения. Производственная технологичность ...	345
12.2. Ресурс ГТД и методы его установления	353
12.3. Подготовка двигателя к введению ресурса по техническому состоянию	354
Вопросы для самоконтроля	356
Список используемых материалов.....	361