



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 工程材料与成型技术 (第2版)

Gongcheng Cailiao Yu Chengxing Jishu

张彦华 编著



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 工程材料与成型技术 (第2版)

张彦华 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本教材为工业和信息化部“十二五”规划教材,是根据机械工程及相关专业教学的基本要求,结合现代工程材料与成型技术的特点和发展趋势,为培养适应 21 世纪所需要的高等机械工程技术人才而编写的。

全书共分为 9 章。第 1 章介绍工程材料及其在工程装备中的应用;第 2 章讨论材料成型的工程基础;第 3~5 章分别介绍铸造、塑性成型、焊接等成型技术;第 6 章介绍粉末冶金、快速成型、高能率成型等特种成型技术;第 7 章介绍高分子材料、陶瓷及复合材料的成型技术;第 8 章介绍工程材料的表面防护;第 9 章介绍工程材料成型质量与检测。

本书可作为机械工程类专业以及相关专业的本科生教材,也可供有关科学研究人员和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与成型技术/张彦华编著. --2 版. --北京:北京航空航天大学出版社, 2015. 2  
ISBN 978-7-5124-1689-5

I. ①工… II. ①张… III. ①工程材料—成型 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 030083 号

版权所有,侵权必究。

### 工程材料与成型技术(第 2 版)

张彦华 编著

责任编辑 刘晓明 董云凤

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1 092 1/16 印张:23.5 字数:602 千字

2015 年 5 月第 2 版 2015 年 5 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1689-5 定价:49.00 元



## 前 言

工程材料需要通过成型制造来实现其技术和经济价值。高性能的工程装备研制,集中体现了材料与成型加工的重要作用。只有高度重视发展先进材料与成型技术,才能把各种复杂的零部件制造出来,才能确保工程装备的先进性。本教材为工业和信息化部“十二五”规划教材,是根据机械工程及有关专业教学的基本要求,结合现代工程材料与成型技术的特点和发展趋势,为培养适应 21 世纪所需要的高等机械工程技术人才而编写的。

成型制造是科学利用热能或机械能以及其他形式的能量,将材料加工成具有一定形状和尺寸的零件或构件的过程,成型加工过程中,材料要经历熔融-凝固、塑性变形、聚合连接等物态变化。其技术领域包括铸造、锻造、焊接等传统热加工技术,以及粉末冶金、高能束流加工、快速成型等先进制造技术。此类基于材料物态的成型加工不仅赋予零件的形状,而且控制着零件的最终使用特性。因此,工程材料与成型技术必须作为一个整体来考虑,其目的是形成材料的(成型)工程性与成型技术的(材料)科学性的认识论框架。

本教材第 1 版作为原国防科工委“十五”规划教材于 2005 年 3 月出版。在多年的使用过程中,作者积极听取任课教师及学生的意见,同时持续关注先进材料及成型技术的发展及应用,不断积累与教材有关的素材。为了使教材适应科技进步及人才培养的需要,本次出版对教材做了较大的修订,以提高教材内容的科学性和先进性。

根据目前机械工程类专业教学计划,工程材料部分已专门开设课程。因此,本次再版调整了工程材料学基础部分的内容,突出了工程材料的应用,重点以工程材料与成型技术及其相互关系为核心进行编写。全书共分为 9 章。第 1 章介绍工程材料及其在工程装备中的应用;第 2 章讨论材料成型的工程基础;第 3~5 章分别介绍铸造、塑性成型、焊接等成型技术;第 6 章介绍粉末冶金、快速成型、高能率成型等特种成型技术;第 7 章介绍高分子材料、陶瓷及复合材料的成型技术;第 8 章介绍工程材料的表面防护;第 9 章介绍工程材料成型质量与检测。

本教材编写的指导思想是以工程装备制造对工程材料与成型技术的需求为特色,主要介绍航空、航天、兵器、船舶等重点国防装备工程材料与成型技术的基础与应用;以培养国防科技工业生产第一线所需要的机械工程技术人才为目标,重视新材料与成型新技术的发展,将工程材料与成型技术和工程装备结构特点紧密结合。



编写工程材料与成型技术教材对于现代机械工程技术人才培养具有重要意义,在我国高等学校教材编写方面正在进行多方面的探索。由于编者对工程材料与成型技术掌握得不够全面,相关知识领域和水平有限,书中的内容难免有疏漏和不当,敬请读者批评指正。

作者  
2014年10月



# 目 录

绪 论	1
0.1 材料的工程属性	1
0.2 现代成型技术的发展与应用	3
0.3 工程材料与成型的辩证关系	5
0.4 本课程的教学要求	7
<b>第 1 章 工程材料及应用</b>	<b>8</b>
1.1 工程材料的性能	8
1.1.1 工程材料的力学性能	8
1.1.2 工程材料的物理性能	21
1.1.3 工程材料的化学性能	27
1.1.4 工程材料的工艺性能	28
1.2 工程材料的类型	29
1.2.1 金属材料	30
1.2.2 高分子材料	39
1.2.3 陶瓷材料	41
1.2.4 复合材料	44
1.3 工程材料的应用	52
1.3.1 航空材料及应用	52
1.3.2 航天材料及应用	58
1.3.3 装甲防护材料及应用	61
1.3.4 船舶材料及应用	64
1.3.5 核电材料及应用	68
1.4 工程装备结构材料的选择与评估	72
1.4.1 工程装备结构的总体要求	72
1.4.2 工程装备结构选材原则	73
1.4.3 工程装备结构研制与评估	75
思考题	76
<b>第 2 章 材料成型的工程基础</b>	<b>78</b>
2.1 材料成型的工艺原理	78
2.1.1 材料成型的工艺类型	78
2.1.2 成型工艺过程与工件构形	80
2.2 材料成型的能源与设备	85



2.2.1	材料成型的能量形式	85
2.2.2	金属熔炼设备	88
2.2.3	金属锻造加热设备	90
2.2.4	锻压设备	92
2.2.5	焊接设备	94
2.2.6	注塑机	96
2.3	材料成型模具	97
2.3.1	模具概述	97
2.3.2	典型模具	98
2.4	材料成型数字化技术	102
2.4.1	材料成型数字化与快速工艺实现	102
2.4.2	材料成型数值模拟	104
	思考题	108
<b>第3章</b>	<b>铸造成型技术</b>	<b>109</b>
3.1	金属铸造成型的基本原理	109
3.1.1	液态金属的充型能力与流动性	109
3.1.2	铸件的凝固与收缩	110
3.1.3	铸造应力及铸件的变形与裂纹	113
3.1.4	铸造合金的偏析和吸气性	115
3.2	铸造成型方法	116
3.2.1	砂型铸造	116
3.2.2	熔模铸造	125
3.2.3	压力铸造	128
3.2.4	金属型铸造	132
3.2.5	离心铸造	135
3.2.6	消失模铸造	136
3.3	铸造合金	137
3.3.1	铸 铁	137
3.3.2	铸 钢	138
3.3.3	铸造有色合金	138
3.4	铸造工艺设计	141
3.4.1	铸件结构的工艺性	142
3.4.2	铸造工艺设计及基本原则	143
3.4.3	铸造工艺 CAD	149
	思考题	151
<b>第4章</b>	<b>塑性成型技术</b>	<b>152</b>
4.1	金属塑性成型性能	152



4.1.1	塑性和塑性指标 .....	152
4.1.2	塑性变形抗力 .....	153
4.1.3	金属塑性成型中组织和性能的变化 .....	155
4.1.4	金属塑性成型的基本规律 .....	157
4.2	塑性成型方法 .....	158
4.2.1	锻造成型 .....	158
4.2.2	挤压、拉拔、轧制成型 .....	170
4.2.3	板料成型工艺 .....	173
4.2.4	旋压成型 .....	180
4.3	锻造合金 .....	183
4.3.1	碳钢及合金钢的锻造 .....	183
4.3.2	有色金属的锻造 .....	184
4.4	塑性成型工艺设计 .....	187
4.4.1	自由锻工艺设计 .....	187
4.4.2	模锻工艺设计 .....	190
4.4.3	冲压工艺设计 .....	195
	思考题 .....	199
<b>第5章</b>	<b>焊接技术 .....</b>	<b>200</b>
5.1	焊接基本原理 .....	200
5.1.1	焊接热源与热循环 .....	200
5.1.2	母材熔化和焊缝成型 .....	202
5.1.3	焊接接头的不均匀性 .....	204
5.2	焊接方法 .....	209
5.2.1	熔 焊 .....	210
5.2.2	压 焊 .....	219
5.2.3	钎 焊 .....	225
5.3	焊接合金 .....	226
5.3.1	碳钢与合金钢的焊接 .....	226
5.3.2	有色金属的焊接 .....	229
5.4	焊接结构制造 .....	230
5.4.1	结构件焊接工艺特点 .....	230
5.4.2	焊接结构制造工艺 .....	238
5.4.3	典型结构的焊接工艺 .....	241
	思考题 .....	243
<b>第6章</b>	<b>特种成型技术 .....</b>	<b>245</b>
6.1	粉末冶金成型 .....	245
6.1.1	概 述 .....	245





6.1.2	粉末的制备	246
6.1.3	粉末成型	248
6.1.4	烧结	252
6.1.5	粉末冶金成型在工程装备中的应用	259
6.2	快速成型技术	259
6.2.1	立体印刷成型	260
6.2.2	选择性激光烧结(SLS)	261
6.2.3	叠层实体制造(LOM)	263
6.2.4	熔融沉积成型(FDM)	264
6.2.5	喷墨印刷	265
6.2.6	焊接成型	265
6.3	定向凝固与单晶生长	266
6.3.1	定向凝固技术	266
6.3.2	单晶体的制备	268
6.4	半固态成型技术	269
6.4.1	半固态金属坯料制备	269
6.4.2	成型方法	270
6.4.3	半固态成型技术的应用	272
6.5	高能率成型	272
6.5.1	爆炸成型	272
6.5.2	电液成型	273
6.5.3	电磁成型	273
6.6	超塑成型	274
6.6.1	材料的超塑性	274
6.6.2	材料的超塑成型	274
6.6.3	超塑成型/扩散连接	276
6.7	微成型与连接技术	278
6.7.1	微成型加工	278
6.7.2	微连接技术	280
	思考题	283
<b>第7章</b>	<b>非金属及复合材料的成型技术</b>	<b>284</b>
7.1	聚合物的成型工艺	284
7.1.1	聚合物的成型性能	284
7.1.2	聚合物的成型工艺	287
7.2	陶瓷材料成型工艺	298
7.2.1	陶瓷材料的成型	298
7.2.2	陶瓷坯体的烧成	300
7.2.3	陶瓷烧结后的处理	302



7.3 复合材料的成型工艺 .....	304
7.3.1 聚合物基复合材料的成型工艺 .....	304
7.3.2 金属基复合材料的成型 .....	310
7.3.3 陶瓷基复合材料的成型 .....	315
思考题 .....	319
<b>第8章 工程材料的表面技术</b> .....	<b>320</b>
8.1 概 述 .....	320
8.1.1 工程结构对材料表面性能的要求 .....	320
8.1.2 表面技术 .....	322
8.2 热喷涂 .....	323
8.2.1 热喷涂原理 .....	323
8.2.2 热喷涂方法 .....	325
8.2.3 喷涂材料 .....	328
8.3 堆 焊 .....	329
8.3.1 堆焊的作用 .....	329
8.3.2 堆焊材料 .....	330
8.3.3 堆焊工艺 .....	332
8.4 气相沉积技术 .....	333
8.4.1 物理气相沉积 .....	333
8.4.2 化学气相沉积 .....	337
8.4.3 等离子体增强化学气相沉积 .....	338
8.5 水溶液沉积技术 .....	339
8.5.1 电镀的基本原理 .....	339
8.5.2 电刷镀的基本原理 .....	340
8.5.3 化学镀 .....	341
8.5.4 化学转化膜 .....	342
8.6 高能束表面改性技术 .....	343
8.6.1 激光表面改性 .....	343
8.6.2 电子束表面改性 .....	345
8.7 金属表面形变强化 .....	346
8.7.1 喷丸强化及应用 .....	346
8.7.2 滚压和内孔挤压强化 .....	347
思考题 .....	348
<b>第9章 材料成型质量检验</b> .....	<b>349</b>
9.1 材料成型质量检验概述 .....	349
9.1.1 材料成型质量的基本概念 .....	349
9.1.2 质量检验的作用、基本职能和内容 .....	350



9.2 成型件无损检验方法 .....	352
9.2.1 射线检验 .....	352
9.2.2 超声检测 .....	354
9.2.3 磁粉检测 .....	356
9.2.4 渗透检测 .....	357
9.2.5 涡流检测 .....	359
9.3 材料成型质量检验过程 .....	361
9.3.1 成型前检验 .....	361
9.3.2 成型过程检验 .....	362
9.3.3 最终检验 .....	363
思考题 .....	364
<b>参考文献</b> .....	<b>365</b>

# 绪 论

## 0.1 材料的工程属性

现代国家的经济和技术实力在很大程度上依赖于能否生产高性能的产品,高性能的产品需要先进的材料。产品的设计和制造构成工程学科分支——机械工程的核心。产品的设计需要选择材料,制造过程则需要加工材料,因此,材料是机械工程的基本要素。任何工程产品都是如此,可以说工程离不开材料,材料是为工程准备的,没有材料就没有工程,所以这里称为工程材料。

先进工程材料是现代机械装备的物质基础。金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料等结构材料在现代机械装备中处于重要地位;隐身材料、防护材料、致密能源材料以及信息智能材料等功能材料成为发展尖端武器装备的关键。近年来,还出现了结构材料功能化和功能材料结构化的趋势,并形成兼有多种功能的多功能材料。

先进工程材料的技术价值也非常之高。例如,飞机与发动机所用材料需考虑寿命周期成本、强度重量比、疲劳寿命、断裂韧性、生存力等因素,以保证装备的可靠性、安全性与结构完整性。航天飞行器用材需要考虑比刚度和比强度、低的热膨胀系数及在空间环境中的耐久性。研制先进的亚声速飞机、超声速飞机和穿越大气层飞机,需要使用高强度结构和耐热超轻型结构。因此,开发和利用新型合金、金属间化合物、先进非金属材料及复合材料成为必然。研制隐身飞机与坦克等装备,更需要发展与应用新材料。因此,先进工程材料的发展与应用水平,在保证装备技术优势方面发挥着重要作用。

工程材料的选用是工程机械装备研制过程的重要组成部分,选材对研制过程具有较大的影响。新型号工程装备的设计阶段就必须根据装备的性能要求,按照各零部件、系统与结构的工作环境要求,确定所选用的材料。这就需要开展材料科研与之相互配合,经全面试验论证与综合分析后才能确定材料。大量的接近使用条件下的材料应用性科研常常会贯穿于整个型号研制过程。工程装备定型生产后还必须根据技术的发展与实际需要不断进行改进与维修,同样有材料的选用问题。因此,工程材料的选用是一项理论与实践紧密结合的工程技术工作,对于推动型号的研制进程是不能忽视的。

新材料技术的用途十分广泛,用于工程装备可使其升级换代,性能大大提高。目前,世界范围内的新材料技术正向高功能化、超高性能化、复合轻量化和智能化的方向发展。

### 1. 结构材料

结构材料在工程装备零部件及结构制造中占主导地位。现代飞机集中反映了先进结构材料的发展,图 0-1 为结构材料在 F-22 战斗机上的应用情况。

导弹弹体和卫星都要使用质量轻、刚度好、耐高温、弹性强的新型复合材料。美国将火箭发动机金属壳体改用石墨纤维复合材料后其质量减轻了 38 t,而用碳铝复合材料制造卫星的波导管,不仅满足了轴向刚度、低膨胀系数和导电性能等方面的要求,而且使质量减轻了 30%。

将高密度钨合金与贫铀材料用于穿甲弹制造,可以提高穿甲的侵彻力。破甲弹使用了新材料技术后,其侵彻深度已大于锥形炮弹的 10 倍,一些大口径的射流侵彻深度已经达到了 1 300 mm,破甲弹材料技术进一步向高纯度冶炼、新合金、精密成型和高性能复合化方向发展。

发展轻型结构材料对火炮的机动性也具有决定意义,许多国家都在利用高技术材料研制超轻型远距离大威力火炮。轻型材料的使用,可以使火炮的体积更小、质量更轻、机动性能更好、弹丸速度更快、威力更大。

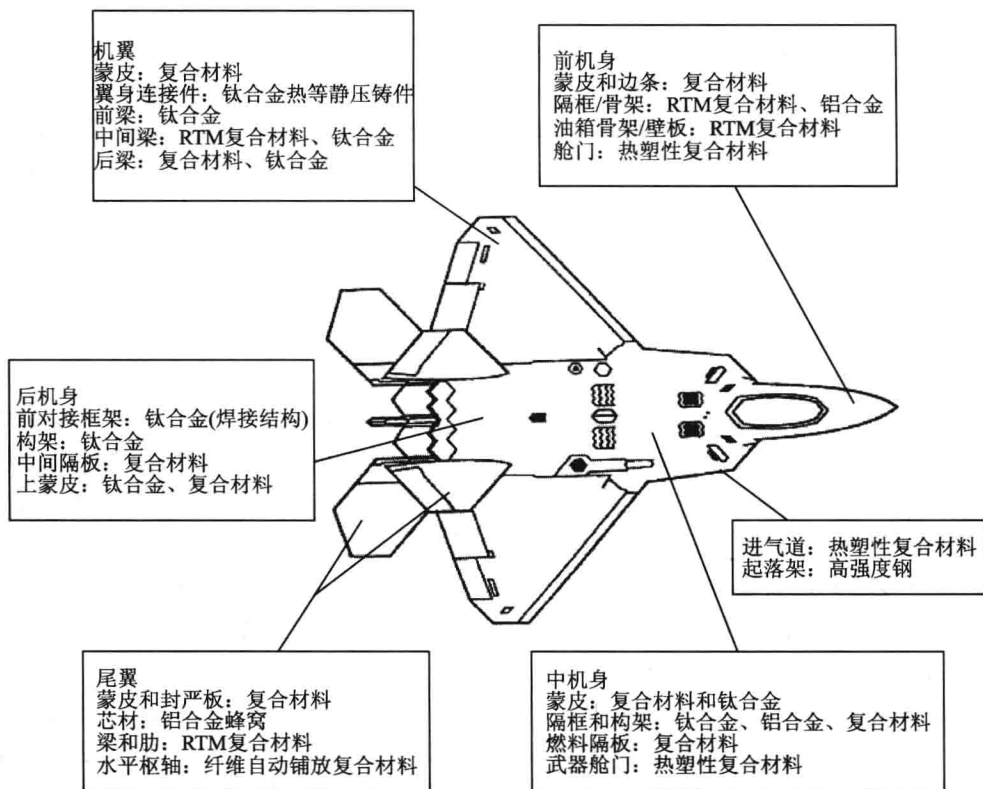


图 0-1 结构材料在 F-22 战斗机上的应用

面对种种现代反装甲技术的发展,以及未来战场对坦克和装甲车辆构成的全方位威胁,迫切需要进一步提高现代复合装甲兵防护能力。这就需要进一步开发具有超高硬度、高韧性和良好焊接性能的装甲钢、高强度先进陶瓷、高性能聚合物材料等新一代特殊功能材料。要使坦克不被击中,除提高机动性能外,更重要的是要发展“主动装甲”,即能预先识别目标,并利用诱饵触发和物理摧毁方法,破坏来袭兵器的“装甲”。这种“主动装甲”实际上是在复合装甲中由引入的敏感、传感、微电子等材料和技术而构成的多功能材料系统。

先进高温结构陶瓷具有很强的韧性、可塑性、耐磨性和抗冲击能力,与普通热燃气轮机相比,陶瓷热机的质量可减轻 30%,而功率则提高 30%,节约燃料 50%。

高分子材料除在武器装备中大量使用外,还可以代替高强度合金用于军用飞机,可大大减轻其质量。同时,高分子材料也广泛用于粘接兵器部件,尤其是非金属比例较大的火箭导弹部件。

复合材料是指两种以上不同性质或不同结构物质组合而成的材料,通常由基体材料和增



强剂构成。如碳纤维复合材料,具有强度高、刚度高、耐疲劳、质量轻等优点。采用纤维复合材料后,美国的 AV-8B 垂直起降飞机的质量减轻了 27%,F-18 战斗机的质量减轻了 10%。

## 2. 功能材料

功能材料是指利用声、光、电、磁、热、化、生化等效应,把能量从一种形式转变成另一种形式的材料。功能材料品种很多,如电子计算机的记忆元件、激光器的工作物质红宝石、声纳振荡器的压电陶瓷,以及超导材料、光学塑料、热电材料、光敏材料、反激光材料、防辐射与电子材料等。

现代隐形技术,除了外形设计上采用先进的方法,进行热红外线和自身电磁隐形外,主要是使用新型吸收波材料,即在飞机表面涂覆能大量吸收雷达波的新型介质材料,将雷达电磁波吸收,使雷达无法发现。

功能材料在后勤装备中也得到广泛应用。20 世纪 80 年代,美军开发的先进军用冬服材料,不仅比原冬服质量减轻 28%,保暖性提高 20%,而且还可以使雨水进不来,人体蒸发的汗却能顺利地排出去。日本陆军研制的含有 65% 的芳族聚酰胺和 35% 的耐热处理棉纤维的混纺织物制成的新型迷彩作训服,在 12 s 内能承受 800 °C 高温,可大大减少战场烧伤的发生。

## 0.2 现代成型技术的发展与应用

任何工程装备都是由多种形状的零部件组成的,成型工艺就是根据设计的要求将工程材料加工成具有一定形状和尺寸零部件的过程。成型加工不仅赋予零件的形状,而且控制着零件的最终使用特性。最终成型后的零部件或结构必须保证工程装备在规定的寿命期间完成特定的任务,即所谓的使用性能。

材料与制造是现代技术经济发展的重要支撑,如图 0-2 所示。同样,成型加工也是使材料增值的制造技术和经济活动。例如,商用飞机的成本与同等质量银的价值相当,而航天飞机的成本则与同等质量金的价值相当。我国在高端民用产品制造方面竞争力不足的原因之一,就是成型加工等先进制造工艺技术薄弱。为了高效、低成本地研制高性能工程装备,必须提高成型加工制造能力,不断发展并采用先进材料成型技术。

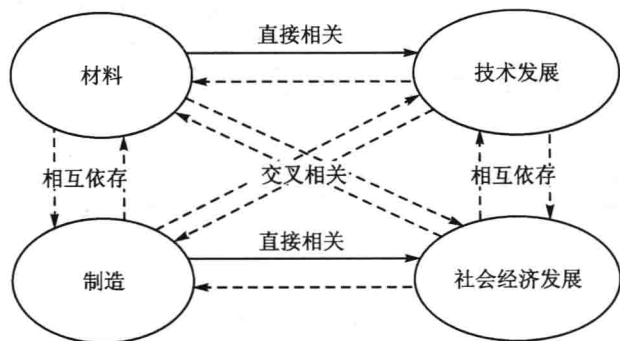


图 0-2 材料、制造、技术和社会经济发展之间的相互联系

成型加工是工程装备研制的技术关键之一。例如,现代航空发动机如图 0-3 所示,许多零部件在选用高性能材料的同时,还要采用先进的成型加工技术最终保证零部件的尺寸精度和性能。高性能的航空发动机研制集中体现了成型加工的重要作用,只有高度重视发展先进

的成型技术,才能把各种复杂的零部件制造出来,确保发动机的先进性。

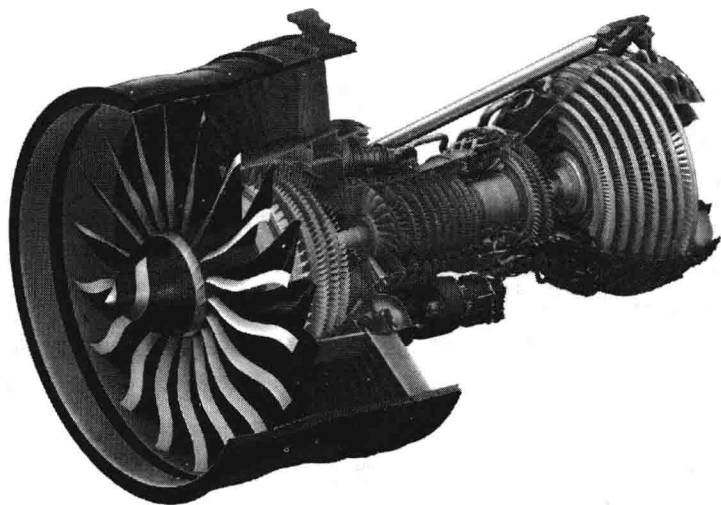


图 0-3 航空发动机

飞机的气动外形要通过材料成型来实现。机体承力构件对飞机外形与飞行性能的保证具有重要意义,如图 0-4 所示为飞机结构的工艺分解。由此可见,整架飞机是由各种形状的具有特定功能的成型件与结构组成的。

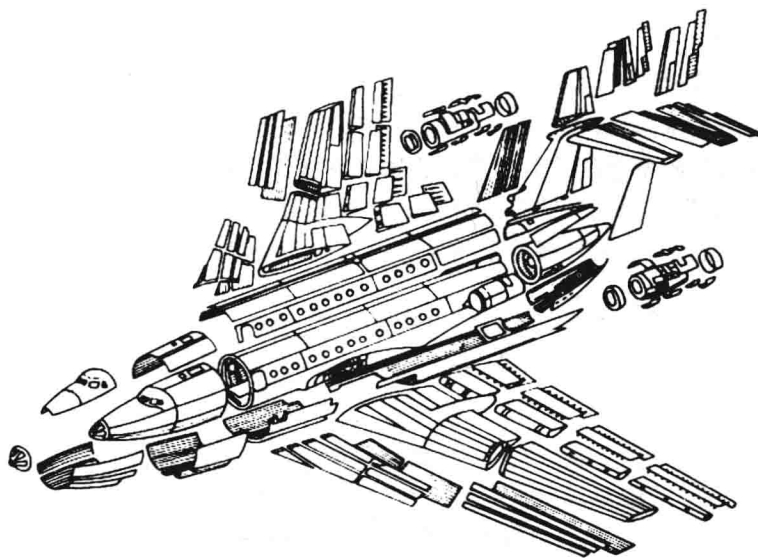


图 0-4 飞机结构的工艺分解

创新的成型加工是装备研制过程中重要的科技活动,装备性能的实现依赖于先进的成型技术。新材料与新结构在武器装备研制中的不断应用,对成型技术提出了更高的要求。发展先进、洁净、精确、快速的成型技术对于型号研制至关重要。武器装备预研中应加强材料成型物理模拟与数值模拟研究,通过成型加工过程模拟,掌握材料成型规律,降低实验成本,为装备研制提供科学依据。



成型加工技术是先进制造技术的重要组成部分,是保证工程装备质量的基础技术。现代成型加工技术是集多种学科于一体的综合技术,是最能代表国家制造技术水平的重要方面。在现代工程装备研制中,材料成型技术的发展与应用主要表现在如下几方面。

① 新的成型工艺方法发展迅速。如单晶空心叶片精铸、粉末高温合金涡轮盘超塑性锻造、搅拌摩擦焊接、喷射沉积成型和隔热涂层技术等。在过去的 30 年中,涡轮进口温度提高了 450 °C,其中 70% 是由于采用了精铸空心叶片获得的,这两项技术已成为决定高推重比发动机所能达到最高性能水平的关键技术。

② 大幅度减轻武器装备质量,降低制造成本。采用先进成型加工技术制造大型精密锻、铸件,采用先进焊接工艺制造的整体结构件,可减轻质量 20% 和降低成本 30% 左右,同时,还为设计人员提供了设计的灵活性。

③ 常规成型加工技术逐步被现代技术所改造。传统的锻、铸、焊、热、表面处理等工艺引进了计算机、真空和高能束等技术,被改造为高新技术。采用多向模锻、真空热处理、表面镀钼钛和喷丸及孔挤压强化处理等先进热工艺制造飞机起落架零件,可使起落架与飞机同寿命。

④ 组合或复合成型工艺得到应用,如超塑性成型/扩散连接、形变热处理技术、电弧与激光复合热源焊接。

⑤ 信息技术助推成型工艺创新,如快速原型技术(3D 打印);成型工艺过程的模拟技术发展迅速,如铸件凝固铸造过程的数值模拟、锻件和铸件缺陷形成及预测的数值模拟、焊接热效应的数值模拟等。

⑥ 成型加工技术与新结构、新材料并行发展,如摩擦焊接、热等静压和液相扩散焊等成型加工技术分别与整体涡轮转子、整体叶盘结构和大型夹芯结构风扇叶片及对开叶片等新结构并行发展;热等静压和超塑性锻造与粉末高温合金、液态金属快速冷却轧制与非晶态材料同步发展等。

成型加工技术是显著提高工程装备性能、大幅度减轻结构质量、降低制造成本和提高武器装备使用寿命及可靠性的关键技术,正沿着优质、高效、精密、大型和无污染的方向发展。为适应先进工程装备的发展,注重应用新材料和先进的成型技术具有重要意义。

### 0.3 工程材料与成型的辩证关系

机械工程的主要技术活动是通过成型将材料转变为产品。材料成型过程是材料形状与性能改变的过程,也是能量耗散的过程。能量是材料成型过程的驱动力,材料成型利用的能量形式主要有热能和机械能。能量作用下的材料形态发生显著变化,借助于材料在不同形态下的性质实现成型。

根据成型过程中材料的形态及变化特点,可将成型制造工艺分为凝固成型(或称相变成型)、塑性成型、聚合成型等,由此可以派生出各种各样的成型方法。基于材料物态的成型,不仅赋予零件的形状,而且控制着零件的最终使用特性。零部件的材料结构与性能是成型加工的结果,与成型加工前的材料结构和性能不同,而材料的初始状态也对成型工艺构成影响。因此,最终产品的使用性能、材料成分/组织、材料性质和成型加工 4 个因素之间形成了紧密联系,如图 0-5 所示。4 个因素中,任一因素发生变化就会引起其他因素发生变化。对同一材料,不同成型工艺制造的构件性能将有较大的差异。成型技术研究就是掌握这些因素之间的



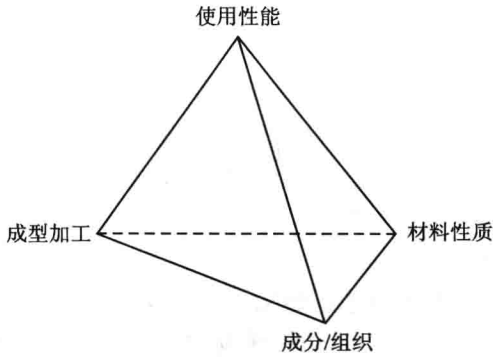


图 0-5 成型加工、使用性能、材料性质、成分/组织之间的关系

成型既是赋予材料特定的形状,也可以看成是赋予构形特定的材料,如图 0-6 所示。前者强调成型过程,后者则侧重其结果。相同的构形可以赋予不同的材料,也可以采用不同的成型工艺,约束条件是材料的工艺性、构件的使用性及经济性要求。构形、结构功能、成型工艺与材料之间的关系如图 0-7 所示,这些要素的相互作用构成了材料与成型的机械工程认识论框架。

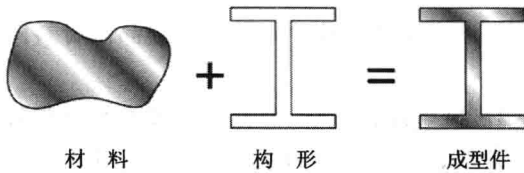


图 0-6 材料、构形与成型的关系

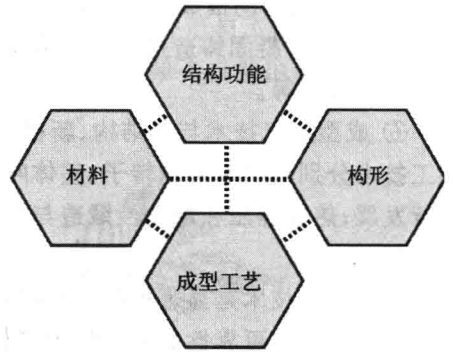


图 0-7 构形、结构功能、成型工艺与材料之间的关系

综上所述,工程装备的设计、材料和制造技术三者相辅相成,互相促进、互相制约。先进工程装备的研制总伴随着新材料、新结构和新工艺的重大突破。材料与成型技术的发展,也必将促进工程装备性能和结构的发展。

长期以来,以专业技术为主导的工科院校为我国工业界培养了大量的专门人才,在国家的工业发展中起到了重要作用。但是,随着现代制造业的发展,复合型创新人才的培养越来越受到重视。以专业技术为主导的工科教育必须向以多学科综合为主导的工程教育转变。在本科教育中,精深的专业教育越来越受到质疑,由此而暴露的弊端也愈加明显。现代制造技术越来越体现多学科交叉性。例如,近年来受到广泛关注的搅拌摩擦焊技术的发展,充分体现了多学科知识的集成创新特点。我国焊接专业毕业生对电弧焊的小范围铸造(或冶金)很清楚,但对摩擦焊这种小范围锻造就在理解上存在局限性,结果使得我们在摩擦焊技术创新上明显落后。再如现代激光、电子束加工既可以实现材料的连接,也可以实现材料去除加工,还可以直接成型(3D 打印),极大地突破了传统机械加工与热加工的界限。这对于我们的人才培养模式是挑战性的。