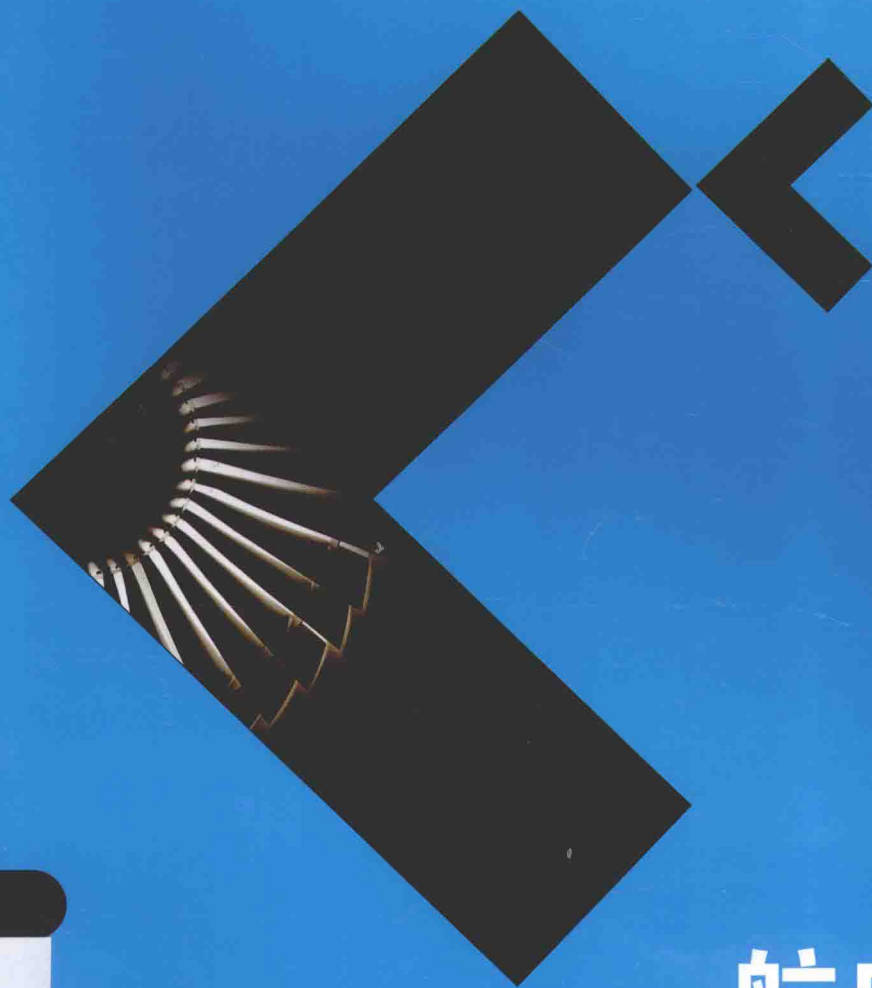


Aerospace
Materials



航空工程 材料

刘劲松 蒲玉兴 主编



湖南大学出版社
HUNAN UNIVERSITY PRESS

航空工程材料

刘劲松 蒲玉兴 主编



湖南大学出版社

内 容 简 介

以培养航空制造与修理技术应用人才为目标,着重于基本概念和基础理论的讲解。全书分三编十二章,即航空材料基础(材料的制备加工与检测、材料的性能、材料的结构与结晶、材料的变形、铁碳合金及其相图)、热处理理论与实践(热处理原理、热处理工艺)、常用航空工程材料(航空金属结构材料、航空非金属材料、复合材料、航空材料腐蚀与防护、典型航空机械零件选材及加工工艺分析)。注重在理论知识、素质、能力、技能等方面对学员进行培养,注重吸取现有相关教材的优点,联系现场实际。各章之后附有习题和“阅读·思考·拓展”,以引导学生积极思维,培养学生的学习兴趣及分析问题和解决问题的能力。

本书适合于特色专业如飞机机载设备修理、飞机及发动机维修等专业使用,也可作为航空制造与维修企业的上岗培训教材,还可供从事飞机设计、制造、修理等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空工程材料/刘劲松,蒲玉兴 主编. —长沙:湖南大学出版社, 2015.5

ISBN 978-7-5667-0872-4

I. ①航… II. ①刘… ②蒲… III. ①航空材料
IV. ①V25

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第115365号

航空工程材料

HANGKONG GONGCHENG CAILIAO

主 编:刘劲松 蒲玉兴

责任编辑:王桂贞 责任印制:陈 燕

特约编辑:赵仕华 陈为民

印 装:长沙利君漾印刷厂

开 本:787×1092 16开 印张:18.25 字数:479千

版 次:2015年8月第1版 印次:2015年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5667-0872-4/V·4

定 价:46.00元

出版人:雷 鸣

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-88822559(发行部),88821174(编辑室),88821006(出版部)

传 真:0731-88649312(发行部),88822264(总编室)

网 址:<http://www.hnupress.com>

电子邮箱:wanguia@126.com

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

前 言

在现代材料科学与技术的发展历程中，航空材料一直起着先导和基础作用，机体材料的进步不仅推动飞行器本身的发展，而且带动了地面交通工具及空间飞行器的进步，发动机材料的发展则加快了动力产业和能源行业的推陈出新。航空材料反映了结构材料发展的前沿，代表了一个国家结构材料技术的最高水平。由于科学技术的迅猛发展，新材料层出不穷，传统的航空金属材料的应用领域正逐步被一些先进的非金属材料所替代，已经由过去的金属材料占绝对优势发展到现在的金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料并用的局面。

航空工程材料是特色专业如飞机机载设备修理、飞机及发动机维修等专业的必修课程。在保证基础知识和基本理论不变的前提下，本次编写对教材课程结构体系进行了整体优化改造，以素质教育为基础，以能力培养为主线，在研究、总结国内外航空材料发展趋势的基础上重新构建科学、合理、规范的航空材料课程体系，即以航空材料的选择为出发点，以“航空材料的力学性能”、“航空材料的晶体结构与性能控制”、“航空零件的热处理”为纲领，有机整合所涉及的各种航空材料和多学科知识的复杂内容，并结合编者多年的教学实践经验及对课程改革的探索研究成果编写而成。该教材突出了实用性和综合性，注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

本书可作为飞机维修、机载设备修理、航空发动机维修等专业的教材，也可作为航空制造与维修企业的上岗培训教材，还可供从事飞机设计、制造、修理等工作的工程技术人员参考。

本书由刘劲松、蒲玉兴主编，谭目发、陈律任副主编。参加编写的主要人员有：空军航空维修技术学院刘劲松（绪论、第8章、第12章），湖南大学蒲玉兴（第1章、第9章），长沙航空职业技术学院谭目发（第5章），陈律（第10章），邓岚（第11章），陈儒军（第2章），肖弦（第3章），杨坤玉（第4章），李刚（第6章），刘晓衡（第7章）。全书由夏卿坤审稿，刘劲松负责总纂定稿。

本书在编写过程中得到了空军航空维修技术学院的领导和同行们的大力支持和帮助，对本书的编写提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，编写时间紧迫，书中难免存在不妥之处，恳请各兄弟院校师生和读者批评指正。

编 者
2015年8月

目 次

绪 论	(1)
-----------	-------

第一编 航空材料基础

第 1 章 材料的制备加工与检测	(10)
1.1 材料的制备	(10)
1.2 材料的加工	(18)
1.3 材料的检测	(26)
习题 (1)	(28)
第 2 章 材料的性能	(30)
2.1 力学性能	(30)
2.2 理化性能	(44)
2.3 工艺性能	(48)
习题 (2)	(49)
第 3 章 材料的结构与结晶	(51)
3.1 概述	(51)
3.2 纯金属的晶体结构与结晶	(52)
3.3 合金的结构与结晶	(59)
3.4 非金属材料的结构简介	(63)
习题 (3)	(66)
第 4 章 材料的变形	(68)
4.1 金属的塑性变形	(68)
4.2 高分子材料的变形	(74)
4.3 陶瓷材料的变形	(77)
习题 (4)	(78)
第 5 章 铁碳合金及其相图	(82)
5.1 铁碳合金的基本组织	(82)
5.2 铁碳合金相图	(84)
5.3 铁碳合金简介	(91)
习题 (5)	(94)

第二编 热处理理论与实践

第 6 章 热处理原理	(98)
6.1 钢在加热时的组织转变	(98)

6.2 钢在冷却时的组织转变	(100)
习题 (6)	(106)
第7章 热处理工艺	(107)
7.1 钢在退火与正火	(107)
7.2 淬火与回火	(111)
7.3 表面热处理	(118)
7.4 热处理新工艺简介	(125)
7.5 热处理设备简介	(128)
习题 (7)	(135)

第三编 常用航空工程材料

第8章 航空金属材料	(138)
8.1 概述	(138)
8.2 超高强度钢	(142)
8.3 不锈钢	(145)
8.4 耐热钢	(148)
8.5 高温合金	(150)
8.6 铝合金	(157)
8.7 镁合金	(169)
8.8 钛合金	(172)
习题 (8)	(179)
第9章 航空非金属材料	(181)
9.1 工程塑料	(181)
9.2 合成纤维	(188)
9.3 合成橡胶	(191)
9.4 胶粘剂	(197)
9.5 涂料	(199)
9.6 密封材料	(200)
9.7 航空油料	(202)
习题 (9)	(216)
第10章 复合材料	(219)
10.1 概述	(221)
10.2 复合材料的成型方法	(224)
10.3 复合材料的缺陷损伤及其检测	(227)
10.4 常用复合材料	(229)
习题 (10)	(236)
第11章 航空材料腐蚀与防护	(240)
11.1 概述	(240)
11.2 飞机的腐蚀	(244)

11.3 常用航空材料的防护	(249)
11.4 飞机的热环境影响及防护	(257)
习题 (11)	(259)
第 12 章 典型航空机械零件选材及加工工艺分析	(261)
12.1 概述	(261)
12.2 飞机用材及其热处理	(268)
12.3 典型飞机零件选材与工艺分析	(272)
习题 (12)	(279)
参考文献	(281)

绪 论

“一代材料,一代飞行器”是航空工业发展的生动写照,也是航空材料带动相关领域发展的真实描述。航空材料技术是材料科学领域中富有创造性和开拓性的一个重要分支,是航空工业的关键技术之一,是航空现代化和科技发展的物质基础和先导。航空材料是结构材料发展的前沿,航空材料代表了一个国家结构材料技术的最高水平。

1. 现代航空技术对航空材料的要求

航空航天产品受其使用条件和环境的制约,对材料提出了严格的要求。对结构材料而言,最关键的是轻质高强和耐高温耐腐蚀。

①强度。

材料强度的增大,可以使飞机随更大的机动过载获得更大的装载能力。

②重量。

在保证材料足够强度的条件下降低材料重量,在保持原飞行性能相同的条件下,可以大大增加飞机的有效载荷能力。航空航天产品在追求轻质和减重方面可以说是“克克计较”,对航天飞机来说,机体每减轻 1 千克,其增加的经济效益将逾万美元。

③温度特性。

飞机蒙皮的最高温度可达 1 000 °C 以上,发动机的工作温度则高达 2 000 °C。高温材料是制约航空航天产品性能的另一类关键材料。为了达到航空航天产品提高工作温度的要求,许多新型材料如金属间化合物、陶瓷、碳-碳及各种复合材料正在加速发展中。对于航天产品来说,还要考虑材料耐超高温和超低温的能力,以及在空间环境中的耐久性。例如,为了提高航天燃料燃烧效率和保证飞行器重返大气层时的防护,需要有耐高温防热材料。为了保存低温推进剂如液氢、液氧,需要有耐低温和超低温材料及绝缘材料。

④电磁性能。

各种雷达吸波材料的进步,直接促进和保障了飞行器“隐身”;非金属导电材料可以使飞机的蒙皮成为机载电子设备天线的一部分,从而可以省去笨重复杂的机载天线。

2. 常用的航空材料

航空材料泛指用于制造航空飞行器的材料。一架完整的飞机,通常由机翼、机身、安定面和操纵面、起落装置、操纵系统、动力装置、液压冷气系统以及各种机载设备和系统组成。机体材料和发动机材料是航空材料中最重要的结构性材料,电子信息材料则是航空机载装置中最重要的功能性材料,但一般不直接算作航空材料。飞行器作为一个整体,还用到少量非结构性材料,如阻尼、减振、降噪、密封材料等。

①机身材料。

飞机在高空飞行时,机身增压座舱承受内压力,需要采用抗拉强度高、耐疲劳的硬铝作蒙皮材料。机身隔框一般采用超硬铝,承受较大载荷的加强框采用高强度结构钢或钛合金。很多飞机的机载雷达装在机身头部,一般采用玻璃纤维增强塑料做成的头锥将它罩住以便能透过电磁波。驾驶舱的座舱盖和挡风玻璃采用丙烯酸酯透明塑料(有机玻璃)。飞机在着

陆时主起落架要在一瞬间承受几百千牛乃至几兆牛的撞击力,因此必须采用冲击韧性好的超高强度结构钢。前起落架受力较小,通常采用普通合金钢或超硬铝。

从 20 世纪 60 年代末期开始,飞机上使用的复合材料,已由当初只应用于舱门等非承力构件,逐步扩大到减速板和尾翼等次承力构件,而且正向用于机翼甚至前机身等主承力构件的方向发展。另外,为提高突防攻击能力,防止被敌方雷达捕获,已在飞机上采用吸波材料。

②机翼材料。

机翼是飞机的主要部件,早期的低速飞机的机翼为木结构,用布作蒙皮。这种机翼的结构强度低,气动效率差,早已被金属机翼所取代。机翼内部的梁是机翼的主要受力件,一般采用超硬铝和钢或钛合金;翼梁与机身的接头部分采用高强度结构钢。机翼蒙皮因上下翼面的受力情况不同,分别采用抗压性能好的超硬铝及抗拉和疲劳性能好的硬铝。为了减轻重量,机翼的前后缘常采用玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)或铝蜂窝夹层(芯)结构。尾翼结构材料一般采用超硬铝。有时歼击机选用硼(碳)纤维-环氧复合材料,以减轻尾部重量,提高作战性能。尾翼上的方向舵和升降舵采用硬铝。

20 世纪 90 年代,国际上最先进的第四代战斗机以美国的 F22 为代表,基体结构用材料的主要特点是大量采用高比强度和高比模量的轻质、高强、高模材料,从而提高飞机的结构效率,降低飞机结构重量系数。具体来说就是增加树脂基复合材料和钛合金用量,减少传统镁合金和钢材的用量。F22 树脂基复合材料用量已达到整机结构重量的 24%,而钛合金用量则达到整机结构重量的 41%;与此同时,铝合金的用量则下降为只占整机结构重量的 15%,且主要是高纯、高强、高韧的先进铝合金,钢的用量则下降为只占整机结构重量的 5%。

③发动机材料。

航空发动机相当于飞机的心脏,是确保飞机飞行性能、可靠性和经济性的决定因素。提高推力重量比或功率重量比、提高涡轮前进口温度、提高压气机平均级压比和降低油耗是高性能军用发动机的发展方向。航空发动机的性能水平很大程度上依赖于高温材料的性能水平,如发动机推重比的提高依赖于涡轮前进口温度的提高,而涡轮前进口温度的提高又有赖于涡轮转子部件设计结构的改进和材料的更新,所以单晶叶片材料和粉末高温合金涡轮盘材料是发动机的关键材料。

一台先进的发动机,其高温合金和钛合金的用量分别占发动机总结构重量的 55%~65%和 25%~40%,并对许多新型高温材料提出了更高的要求。航空发动机的发展主要是对各种高温材料需求的发展,尤其是发动机核心机转动部件所需的关键材料,如压气机盘和叶片所需的 550℃~600℃ 高温钛合金,燃烧室所需的高温合金板材,涡轮部分所需的 650℃~750℃ 粉末涡轮盘材料及 1050℃~1100℃ 单晶材料等。

④机载设备材料。

机载设备是保证飞机正常工作及完成各项飞行和作战任务的机上各系统及设备的总称,包括飞行保障设备、辅助动力装置设备、电子设备和武器装备四大类。机载设备品种繁多,组成复杂,人们俗称雷达是飞机的眼睛,电台是耳朵,计算机是大脑,电缆是神经,油管是血管。总之,机载设备是飞机一个极为重要的组成部分,其性能的优劣已成为现代飞机先进性的决定性因素。

机载设备目前正朝着综合化、小型化、模块化、智能化的方向发展,其成本费用也不断增加。一架先进军用飞机的机载设备费用已占到整架飞机费用的 30%~40%。

第四代战斗机上记载设备的特点是航空电子发展迅速,已由联合式发展到综合式,所有电子设备均是统一设计、综合集成,而机电系统则朝着公共管理系统的方向发展,即采用公用计算机来管理控制电气、液压、燃油、环控、生命保障、辅助动力、刹车、起落架、综合显示、监视等系统。机载设备中的关键材料主要是各种微电子、光电子、传感器灯光、声、电、磁、热的高功能及多功能材料。

⑤起落装置材料。

现代作战飞机上另一个重要的需要特殊航空材料的系统是飞机起落装置。起落架机轮、制动装置、支柱和相应的收放机构,是飞机的主要组成部分,占飞机总重量的 3.5%~5%,占飞机结构重量的 15%~20%。起落架是飞机上受力较大的部件,工作性能的好坏,直接影响着飞机的起、降性能和安全。飞机起落架对材料的要求首先是结构强度和刚度,以承受飞机起飞、着陆、滑行及停放时给飞机的反作用载荷,承受飞机着陆及在不平地面上运动时的撞击。因此,飞机起落架大多采用特种合金钢材料,如超高强度钢。

3. 航空材料的发展历史

飞机结构材料已经经历了四个发展阶段,正在跨入第五阶段。这五个阶段依次为:

第一阶段(1903—1919年):木、布结构;

第二阶段(1920—1949年):铝、钢结构;

第三阶段(1950—1969年):铝、钛、钢结构;

第四阶段(1970—21世纪初):铝、钛、钢、复合材料结构(以铝为主);

第五阶段(21世纪初一):复合材料、铝、钛、钢结构(以复合材料为主)。

随着飞机工业的发展,各种材料在飞机机体上的用量不断变化,总的趋势是复合材料和钛合金的用量逐渐增多。美国军用飞机上各种材料用量占机体结构总量的百分比如下表所示:

机型	F-16	YF-17	F/A-18A/B	F/A-18C/D	F/A-18E/F	F/A-22	F-35	B-1	B-2	X-45A	X-45B
复合材料(%)	3	8	9.5	10	23	24	36	29	38	50	90
钛合金(%)	2	7	12	13	15	41	27	21	26		
铝合金(%)	83	73	50	50	29	15		41	16		
钢(%)	5	10	15	16	14	5		9	6		

发动机的科技含量很高,在选材上最初也是以钢和铝合金为主,如 20 世纪 50 年代初,钢和铝合金在喷气发动机上的结构重量百分比分别高达 80%和 17%,但随着镍合金和钛合金的迅猛发展,铝合金和钢的用量显著降低。从 20 世纪 60 年代至今,钢的结构重量百分比已降至 20%以下,而从 70 年代开始,在喷气发动机上已不再选用铝合金。目前喷气发动机在选材上是冷端以钛合金为主,热端以镍合金为主,同时适量选用一些钢。英国人在 1940 年开发的铌镍系合金开创了现代高温合金的新纪元,真空熔炼、定向凝固以及单晶铸造的引入使发动机涡轮进口温度从 1940 年的 700℃增加到 2000 年的 1650℃,发动机的寿命也由 25 小时上升到 10 000 小时。随着航空发动机的发展,各种材料在发动机中的用量变化如图 1 所示。

先进复合材料是 20 世纪后半期的重要发明之一,其意义可与晶体管、芯片和激光等技术创新相媲美。相对于早期的玻璃钢而言,先进复合材料是在性能上接近或优于铝合金的树脂基复合材料。所谓先进复合材料是指以树脂为基,以有机纤维、碳纤维或玻璃纤维为增

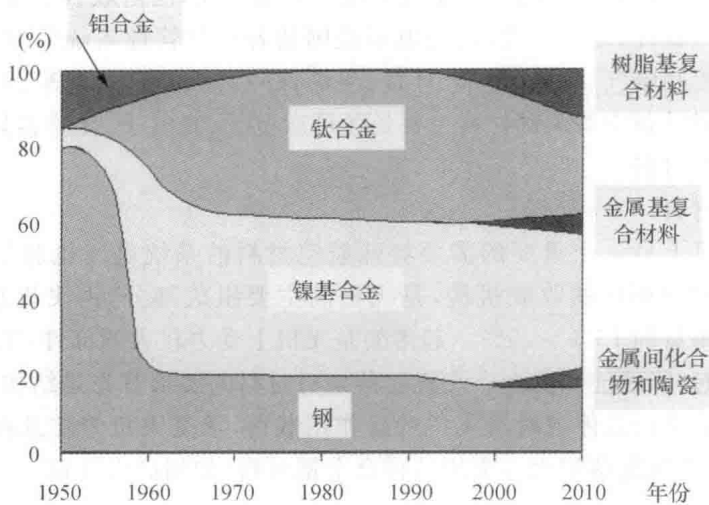


图 1 各种材料在发动机中的用量变化图

强剂的复合体，具有高比强度、比刚度，消振好的一类材料。先进复合材料的出现开辟了航空材料由天然材料、合成材料转向人工设计工程材料的新时代，特别是碳纤维研制成功后，树脂基复合材料的应用迅速扩大，广泛用于各种飞行器，有“黑色革命”之称（因碳纤维是黑色物质）。20 世纪 70 年代的 B-2 轰炸机，其大部分机身和绝大部分机翼采用碳纤维增强的复合材料。例如美国的 F22 机中先进复合材料用量占 24%，现代民机中占 14% 左右，现代直升机中所占比例更高，有的超过了 50%。长期被铝合金独占的大型民机上也从波音 707 的 2% 攀升到波音 777 的 10%，空中客车系列更胜一筹，已达到 15%。在蓬勃发展的各类无人机上，碳纤维材料潜在的用途不可低估。先进的复合材料还包括金属基复合材料及陶瓷基复合材料，但目前航空工业中应用极少。

4. 中国航空材料的发展现状、存在的问题及发展思路

中国航空产业经历了从修理、引进、仿制到改进、改型和自行设计研制的发展历程，用以制造航空产品的材料也经历了相似的发展历程。到目前为止，我国已定型生产了航空用金属、有机高分子材料、无机非金属材料以及复合材料的牌号 2 000 余个；已建成具有一定规模的航空材料研究与生产基地，拥有生产航空产品所需各类材料牌号、品种与规格的生产设备及检测仪器；先后制订了 1 000 余份各类航空材料、热工艺及理化检测标准（包括国标、国军标与航空标准）；编写出版了《中国航空材料手册》《发动机结构设计用材料性能数据手册》及《航空材料选用目录》等；颁布了《航空工业材料及热工艺技术工作规定》《航空材料技术管理办法》等法规性文件。从总体上看，我国目前已定型生产的航空材料及其相应的标准与规范，基本上能满足第二代航空产品批生产的需求。针对第三代航空产品所需关键材料，如热强钛合金、高强铝合金、超高强度结构钢不锈钢、树脂基复合材料、单晶与粉末高温合金等，从技术上看，已具备试用条件，但要转化为在特定工况下使用的零部件，并体现出第三代航空产品的总体效能尚须做大量的工作。

我国航空材料的现状与新一代航空产品（飞机以 F-22 为代表，发动机以推比 10 为代表）对材料的需求之间尚存在较大的差距，主要有如下三方面：首先是前沿材料研究滞后，新材料储备小，第三代、第四代航空产品所需的一些关键材料，如快速凝固材料、高强轻质结构材料、热强钛合金、超高强度钢、金属间化合物及以其为基的复合材料、树脂基复合材料等的

研究滞后,与国外先进新材料研制水平的差距为15~20年;其次是新材料研制、生产和应用研究的基础条件较差,如超纯熔炼、高温整体扩散连接、喷射成型、等温锻造、电子束沉积涂层、纳米材料制备、超高温检测、超声显微镜、激光无损检测等先进的合成与加工设备、质量检测与控制手段等不能满足新材料研制、生产与应用的需要;再次是一些常用结构材料的质量不稳定,性能数据分散,表面质量差,尺寸精度低,有些品种规格不能正常供货,满足不了生产使用要求。当前我国航空材料存在的问题,主要有如下几方面:

①材料牌号多、乱且重复。

各类材料均没有形成具有不同性能、档次的牌号序列。我国先后从苏联、英国、法国、美国及俄罗斯等引进过航空产品,每引进一个航空产品,均要仿制一大批相关国家的材料,致使多国材料云集我国,造成了“四多四少”(即低水平材料多,高水平材料少;仿制国外材料多,新研国内材料少;用途单一材料多,一材多用材料少;研制材料成果多,工程化应用材料少)的严重局面。

我国现有各类航空材料牌号2000余个,居世界之首。如研制和生产的高温合金牌号有近100个,几乎是其他各国航空用高温合金牌号之总和。仅涡轮盘用高温合金先后共研制13个牌号,其中仿苏4个,仿美、英、法6个,自行研制3个。处在同一性能水平的有7个,真正适应并具有不同性能水平档次的只有4个牌号。根据《航空材料选用目录》所载,在我国各类航空产品上所用的结构钢共有131个牌号,不锈钢有81个牌号。编入《航空材料手册》的结构钢只有47个牌号,不锈钢36个牌号。纳入国家军用标准的结构钢与不锈钢分别仅有38个和32个。大部分钢号是在近10多年引进国外航空产品过程中仿制的,有的仅在1~2个产品上制作1~2个零件,用途单一,用量极少,目前大部分是按企业标准或型号标准进行试生产。

在所仿制的国外材料中,存在严重的重复仿制现象。如主要用作齿轮的渗碳钢,重复仿制了7个钢号;主要用作轴类零件的结构钢,重复仿制了5个钢号;主要用作压气机叶片与盘的马氏体不锈钢,重复仿制了6个。

②没有形成适合我国国情的材料、工艺及理化检测标准系列。

在仿制各国材料的同时,相应地引进了各个国家的标准。由于各国的标准体系、格式、内容及要求各不相同,因此在国内形成了多国标准并存、互不兼容、难以贯彻的复杂局面。

由于材料的重复引进造成多国材料云集,不仅无法建立起中国自己的材料牌号系列,也不可能建立起相互联系与协调配套的材料、工艺及理化检测等标准系列。

③材料性能数据“少、缺、散”现象严重。

大多数材料只有表征其性质与特征的基本性能数据,少数仿制材料甚至只有技术标准中规定的五大力学性能(σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 、 δ 、 φ 、 α_k)数据。某些用作关键件、重要件的材料,缺少按损伤容限设计的性能数据和按可靠性概率设计所需的统计性能数据。零部件在使用环境温度、介质及应力综合作用下的使用性能数据更是缺少。

④材料的实物质量低。

当前国内生产的航空材料,从总体上看,其标准质量(指技术标准规定的质量指标)基本上达到或接近国际水平,但材料的实物质量却普遍低于国际水平。主要表现在不同炉批的材料,其成分与性能虽然符合标准规定,但波动范围大,材质的一致性、均匀性和稳定性较差。

上述问题的存在,原因是多方面的。主要是我国航空产业科学技术基础薄弱、起点低,

所经历的发展道路曲折;其次是在材料选用、材料研制及材料采购等领域没有引入和形成一整套科学而有效的运行机制,没有制订出相应的行为规范与程序,没有建立起符合我国国情的航空材料体系。

在深入分析研究我国航空材料的现状与问题、需求与差距的基础上,应把建立起符合我国国情的航空材料体系作为发展我国航空材料的总体思路:逐步理顺和建立我国航空用各类材料的牌号序列,正确处理并逐步解决多国材料并存、重复、互不兼容的复杂局面;加大对现有定型材料的改进改型研究力度,通过调控成分或变更工艺等手段,充分挖掘现有材料的潜力,做到“一材多用”;加强对树脂基复合材料,陶瓷基复合材料,金属间化合物,高强高韧,可焊,耐蚀合金钢,高强铝合金,耐热钛合金等新材料的研究;在制订材料标准的同时,制订相应的特种工艺及理化检测标准,形成完整的标准系列,达到扩大材料应用范围,提高材料的应用技术经济效益的目的;在有关材料选用、材料研制和材料采购等方面,建立和完善与市场经济相适应的运行机制及一套行之有效的行为规范,理顺材料选用、材料研制和材料采购等部门之间的关系,使这方面的工作走上科学化、规范化和程序化的轨道。



阅读·思考·拓展

如何提高军用飞机的使用寿命

人有生老病死,飞机也有到寿的时候。人的衰老和飞机的到寿都是自然现象,各自遵循其内在规律。那么飞机的寿命究竟有多长?到寿的飞机是否一定要做退役处理,有无办法让它超期服役?为飞机延寿,对提高我军战斗力有什么重要意义?带着这些问题,我们采访了空军装备研究院航空所高级工程师、我国著名飞机结构和材料专家张栋。

记者(以下简称“记”):听说飞机退役也有年龄规定,并称之为飞机的日历寿命。那么,飞机的日历寿命一般有多长?

张栋(以下简称“张”):飞机的日历寿命是指从飞机制造出厂那天开始计算,达到安全而经济的最大服役期限。

美军军用战斗机设计指标一般为20年,轰炸机为25年。苏联也曾规定20年。随着航空科技的不断进步和飞机造价的日益昂贵,飞机的日历寿命也在逐渐增加。如美国的U-2高空侦察机,服役49年;KC-135远程加油机,已使用48年;美军的B-52战略轰炸机,已是服役40多年的老兵,美军计划把76架B-52H进一步用到2020年,届时将成为60高龄的“寿星”。

记:飞机的日历寿命是如何计算出来的?

张:一般来讲,根据飞行大纲和年度计划,飞机一年飞行多少小时,是可以测算出来的,所以飞机的日历寿命大体上可以根据飞机设计时规定的总飞行小时数来折算。另一方面,飞机的日历寿命主要依据飞机金属材料的腐蚀和非金属材料的老化损伤来确定,人类在长期使用中已经积累了丰富的经验,可以用类比法来确定日历寿命。

记:同时出厂的飞机,为何有的飞机寿命长,有的飞机却出现“未老先衰”现象?

张:同时制造出厂的飞机,就好比多胞胎,因为服役的机场环境不同,如温度、湿度、雨量、矿山开采、紫外线照射、海洋、酸雨等因素不同,对材料的腐蚀和老化均有影响。其次,每架飞机的耐腐蚀品质也有所区别,如表面处理 and 涂层缺陷、多余物堵塞排水孔等都可能引起局部腐蚀。另外,使用和维修史也有区别,如日常保养松懈、长期停放、年久失修等均可能造成

同时出厂的飞机寿命的不同,甚至使部分飞机出现“未老先衰”现象。

记:随着飞机的老龄化,人们越来越关注飞机的日历寿命。那么延长飞机的日历寿命是否也是军用飞机的一种发展趋势?

张:新机虽然规定了日历使用年限,但并没有相应的公认的日历定寿试验依据,所以规定的日历寿命往往偏于保守。就军用飞机来讲,由于使用率较低,常常是疲劳寿命(总飞行小时数)有较大富余情况下,日历年限已率先到寿。另一方面,飞机的造价越来越高,一架国产轰炸机就要数千万元,美军一架 B-1 轰炸机高达 2.65 亿美元。而且,我军飞机使用率相对要低一些,适当延长其日历寿命,对保存战斗力具有更为重要的现实意义。随着信息时代的到来,采用先进的信息技术来改造现有的作战平台,延寿是一条必由之路,不仅可以节约巨额装备购置费,而且节省宝贵的时间资源。因此,延长飞机的日历寿命已成为军用飞机的一个发展趋势。

记:总的来说,老龄飞机的使用可靠性会下降,在这种情况下,有什么办法能让到寿的飞机超期服役呢?

张:给飞机延寿是个复杂的系统工程。延长日历寿命归根到底是要在飞机全寿命过程中实施全面的腐蚀控制。从根本上讲,飞机也要“优生优育”。在新机研制过程中要采取防腐蚀设计,选用对抗腐蚀能力强的材料,选配优良的表面处理工艺,配以高效的复合防护涂层体系等等,以提高飞机固有的耐久性品质;飞机在制造过程中要有严格的腐蚀控制措施,避免材料和工艺的缺陷,确保飞机的防腐质量;在机务维护过程中要贯彻各项日常防腐措施,如防水、通风、清洗、除锈、补漆等等,精心维护飞机,还要适时进行必要的腐蚀故检,对早期腐蚀故障及时采取针对性防腐修理,把腐蚀的危害消灭在萌芽状态;在大修过程中要进行全面彻底的腐蚀检查,采用先进的防腐修理技术,恢复和增强飞机的抗腐蚀能力,必要时作局部的结构防腐设计改进,改善局部小环境,使关键部位不失控。总之,只有“优生优育”,飞机才能延年益寿。

记:给飞机延寿应遵循哪些原则?

张:当飞机使用到设计的寿命指标时,如果需要延长某些到寿飞机的日历寿命,这时一定要采取非常谨慎的态度。应重点遵循以下三个原则:

延寿不能一刀切。由于飞机所处的环境、训练任务、维修状况不同,同一型号、同时服役的飞机在寿命方面也会存在一定的差异,这时给飞机延寿就要实事求是,具体对待,不能一刀切。

大修是关键。给飞机大修时,要扩大检查、维修的范围,要加大修理的深度,对机身电缆、油箱、导管等易老化件要全面检修或换新,必要时机载设备可更新换代。

宜采取分阶段逐步延寿的途径。如同病人要按期体检、按时吃药一样,要分阶段、分过程进行,想一次维修到位,是不科学的,要遵循内在规律,分阶段逐步进行。

总之,归根到底,延寿必须全面实施有效的腐蚀控制,这是日历延寿的根本保障。

(<http://jczs.sina.com.cn>2004年11月27日《解放军报》)

航空材料基础

第一编

航空材料基础



航空材料分类图

第 1 章 材料的制备加工与检测

人们不断用一些物质(原料)通过化学或物理反应过程制造出另一些物质(材料),再用这些材料加工成多姿多彩的工业产品,从而创造了一个又一个新的物质世界,推动社会文明的发展。

1.1 材料的制备

原材料的选用与合成是材料制备的一个重要环节。对常用的三大工程材料而言,通常,冶炼是金属材料的基本制备方法,烧结是陶瓷材料的制备手段,而反应合成则是有机聚合物的主要制备方式。

1.1.1 金属材料的制备

冶金是金属材料制备的第一道也是最关键的工序,是从含有金属的矿石或其他原料中还原提炼出金属并除去杂质的过程,根据工艺特点的不同可分为:火法冶金、湿法冶金、电冶金以及粉末冶金等。各种金属材料可采用的生产工艺如下:

火法冶金:钢铁、粗铜、锡、镍、铅、锌、钛等;

湿法冶金:铜、锌、铀、稀土、镍、钴、钨等;

电冶金:金、银、钴、镍、铜、铅、锌、锡、铬、锰、铝、镁、钠、铍等;

粉末冶金:各种固态金属。

1. 火法冶金(pyrometallurgy)

火法冶金是指利用超过金属熔点温度的高温从矿物中提取金属或其他化合物的方法,因此工艺无水溶液的参与,故也称干法冶金。火法冶金过程的成本较低,是生产量大面广的金属材料的主要方法,其缺点是冶金过程对环境有较大污染。除了钢铁之外,可采用火法冶炼的还有铜(图 1-1)、锡、镍和铅等金属材料。

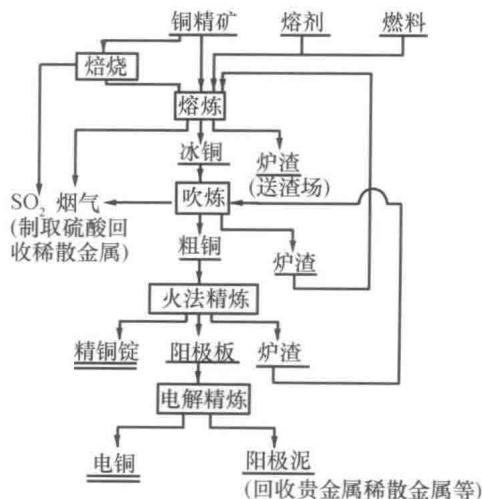


图 1-1 火法炼铜过程