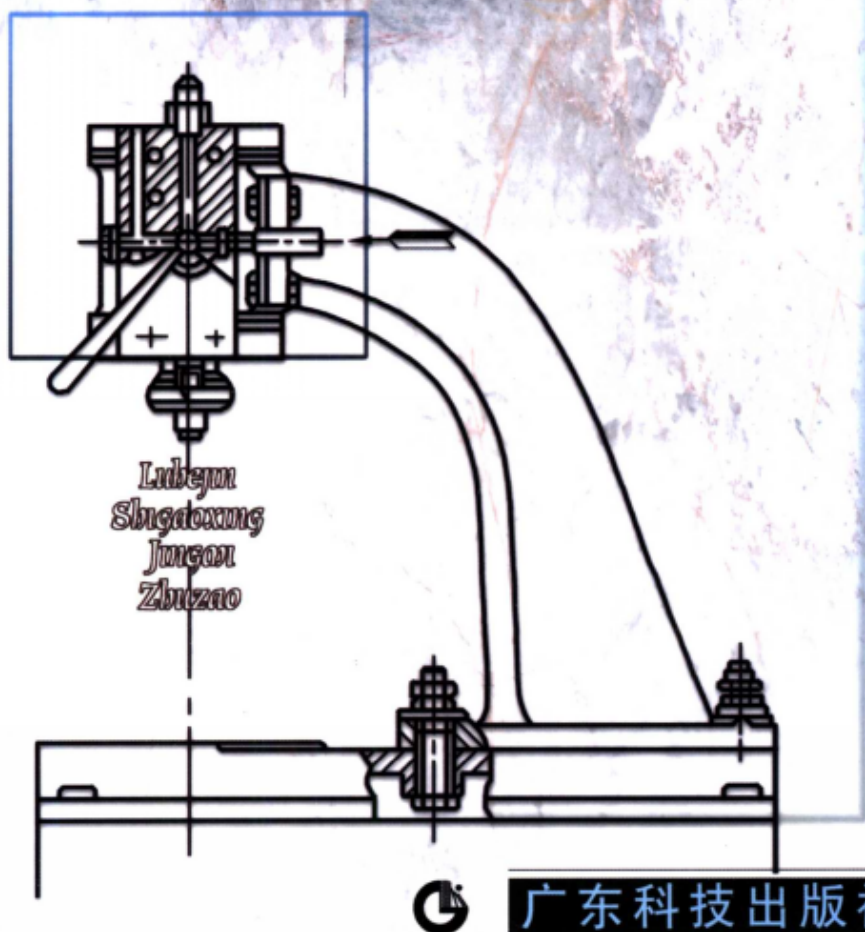


● 罗启全 编著

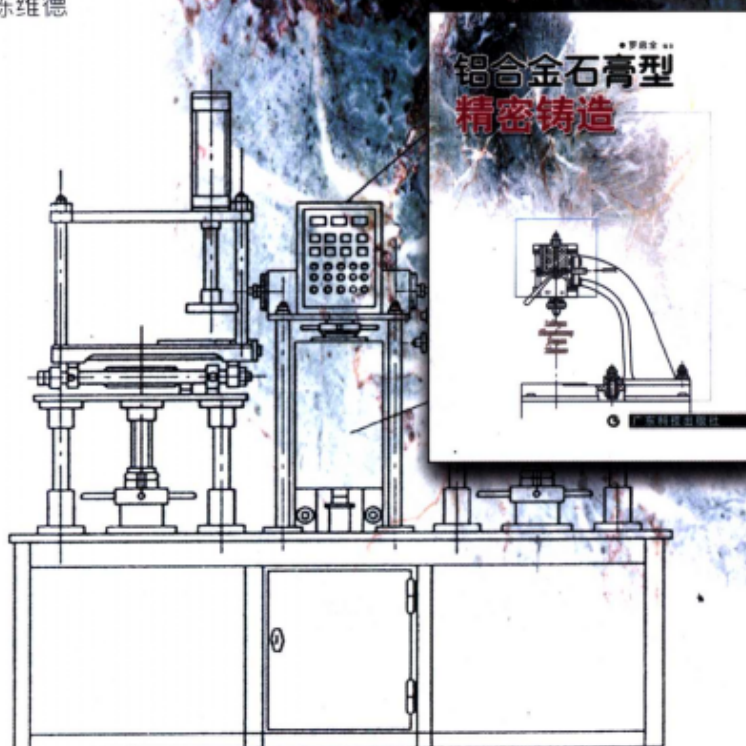
铝合金石膏型 精密铸造



广东科技出版社

责任编辑：晓 平

封面设计：陈维德



ISBN 7-5359-3821-3



9 787535 938213 >

ISBN 7-5359-3821-3

TG·27 定价:33.00 元

铝合金石膏型精密铸造

罗启全 编著

广东科技出版社

广 州

图书在版编目(CIP)数据

铝合金石膏型精密铸造/罗启全编著. —广州:广东科技出版社, 2005.4

ISBN 7-5359-3821-3

I. 铝… II. 罗… III. 铝合金-精密铸造
IV. TG292

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 133975 号

出版发行:广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码:510075)

E-mail:gdkjzbb@21cn.com

http://www.gdstp.com.cn

经 销:广东新华发行集团

印 刷:广东省佛山市浩文彩色印刷有限公司

(广东省佛山市南海狮山科技工业园 A 区 邮码:528225)

规 格:787mm×1 092mm 1/16 印张 16.25 字数 330 千

版 次:2005 年 4 月第 1 版

2005 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4 000 册

定 价:33.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读,请与承印厂联系调换。

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了在上世纪六七十年代兴起于国外,而我国引进约20余年的石膏型精密铸造先进技术及其经验,重点讲述了铝合金的石膏型铸造。内容包括工艺过程、模具设计制造、模料及熔模的制造、石膏及其混合料、石膏型的制备、合金的熔炼浇注、铸件清理及铸造缺陷的预防和控制、铸件的热处理等。

本书为介绍有关铝合金石膏型精密铸造工艺技术的专著,适合铝及铝合金等合金铸件、制品、用品的铸造厂家和从事铝及铝合金等合金熔炼铸造的有关人员和学校、科研等单位的有关人员阅读参考。

序 言

由于铝在自然界的储量大,铝及其合金具有密度小、比强度高、导电、导热性能好,熔点和硬度适中,熔炼铸造和机械加工比钢铁等材料容易、外观漂亮、价格适中等诸多优点,因而日益受到人们的青睐,使它成为了上世纪在军工和民用工业及人民日常生活中使用得最多、发展得最快的一种非铁金属材料。

我国改革开放二十多年来,国民经济蓬勃发展,对铝及铝合金铸件、制品的需求量和品种明显增多。可以肯定,铝及铝合金铸件、制品仍将是本世纪在全世界(尤其是我国)发展得最快、使用得最多的非铁金属材料。

在 20 世纪六七十年代,日、美等国为适应上述发展趋势而研发的铝合金石膏型精密铸造技术,是目前世界上一种铸造铝及铝合金铸件、制品、用品的最先进的工艺技术。我国已于 20 世纪 80 年代初开始在军工部门引进、开发,已取得了较大的进展,积累了许多宝贵的经验和教训。为把这一先进的铸造技术迅速向民用转移并大力推广,把国外的先进技术为我所用,加快我国经济和社会发展的步伐,切磋技艺、交流经验,作者搜集整理了国内外的有关资料,编写了此书。

本书汇集了国内外有关铝及铝合金石膏型精密铸造方面的工艺技术、经验、材料、设备及研究发展动向,也有我国航空航天工业等多家军工企业和科研单位、学校的科技人员 20 年来科研生产的经验和教训的总结,可供铝及铝合金铸造厂家、学校、科研单位从事此项技术、业务的科技人员、工人、教师及供销等人员阅读参考。

由于作者水平所限,书中错漏之处在所难免,敬请读者批评指正,作者深表谢忱!

编著者

2005 年 2 月

目 录

序言

第一章 概述	1
第一节 石膏型精密铸造的发展史	1
一、远古时期的石膏型铸造技术	1
二、当代的石膏型铸造技术	2
三、我国取得的进展	3
第二节 石膏型精密铸造的特点及适用范围	4
一、石膏型精密铸造的特点	4
二、石膏型精密铸造的适用范围	5
第三节 国内外石膏型精密铸造的现状和发展趋势	5
一、国外的概况	5
二、我国的现状	6
第二章 石膏型精密铸造工艺	7
第一节 石膏型精密铸造的工艺过程	7
一、熔模石膏型精密铸造工艺	7
二、拔(取)模石膏型精密铸造工艺	8
第二节 拔(取)模石膏型精铸和熔模石膏型精铸的异同点及其特点	11
一、两种精铸工艺的异同点	11
二、两种精铸工艺的特点	11
第三节 石膏型精密铸造的技术原理	12
第三章 石膏型精密铸造件的工艺设计	14
第一节 石膏型精密铸造件的结构工艺性	14
一、石膏型精密铸造对铸件结构的基本要求	14
二、石膏型精密铸造对铸件结构的工艺要求	14
第二节 石膏型精密铸造件的工艺设计	18
一、铸件在石膏型中的位置设计	18
二、铸件分型面的选择	20
三、铸件收缩率的考虑和设定	21
四、铸件加工余量的设定	22
五、工艺筋的设计	22
六、工艺凸台的设计	23
七、基准面(线)的选择和设定	24
第三节 石膏型精铸的浇注系统设计	24
一、浇注系统的设计原则	24
二、石膏型精铸用浇注系统的特点	25

三、浇注系统的类型	25
四、如何选定浇注系统的类型	30
五、设计浇注系统的步骤及其计算公式	30
六、浇注系统各组元的名称、种类、形状及其特点	33
七、浇口杯及直浇道的经验尺寸	35
八、内浇道尺寸的计算	35
九、补缩系统的设计	38
十、过滤介质的设计和设置	42
十一、工艺图及铸件图的绘制	44
第四章 模具(型)的设计与制造	46
第一节 压型的设计与制造	46
一、压型的分类	46
二、压型的结构	48
三、压型分型面的选择	49
四、压型的设计	49
五、压型的制造	50
六、校正模的设计与制造	61
第二节 浇注系统蜡模模具的设计与制造	62
一、设计制作浇注系统蜡模模具的原则	62
二、常用浇注系统的形状结构类型	62
三、浇注系统模具的常用结构	64
第三节 工艺母模的设计与制造	66
一、工艺母模用材料及其特点	67
二、工艺母模的设计	68
三、工艺母模的制造	69
第四节 型芯模的设计与制造	70
第五节 铸件、压型、浇注系统浇蜡模、蜡模及蜡模模组实例、照片或图形	70
第五章 制造熔模、型芯用原材料及辅助材料	73
第一节 对模料的要求及原料品种和作用	73
一、对模料的要求	73
二、模料用原材料的品种、性能及作用	74
第二节 模料的种类及其特性	80
一、熔模用模料的种类、特性及适用范围	80
二、模料的成分配比及其性能	81
第三节 制模用辅助材料	86
一、分型剂	86
二、清洗剂	87
三、冷蜡块	87
四、抛光剂	87
五、粘结剂	87

第四节 型芯用材料	87
一、金属型芯	88
二、水溶性型芯	88
三、陶瓷型芯	88
第六章 熔模、浇注系统蜡模及型芯的制造	90
第一节 熔模成型工艺的发展趋势	90
第二节 模料的熔制特性及熔制设备	91
一、模料的熔制特性及熔制技术要点	91
二、模料的熔制工艺	91
三、熔制模料用主要设备	92
四、模料的熔制工艺及模料和合金的收缩性能	94
五、模料性能的检测方法	98
第三节 模料的回收处理	98
一、石蜡-硬脂酸模料的回收处理	99
二、松香基模料的回收处理	100
第四节 熔模的成型工艺及设备	100
一、影响熔模成型的工艺参数及对策	100
二、熔模的成型工艺及设备	104
三、浇注系统蜡模的制造	109
四、熔模质量的检验	110
五、熔模常见缺陷及其防止补救办法	111
六、熔模模组的组装	114
七、熔模的组合与装配	115
八、熔模组合质量的检验和验收	115
第五节 型芯的制作	116
一、金属型芯的制作	116
二、水溶性型芯的制作	116
三、陶瓷型芯的制作	125
第七章 石膏型造型材料和辅助材料	128
第一节 石膏	128
一、铸造用石膏的种类	128
二、石膏的性能与结构	129
三、影响铸型用石膏硬化体高温性能的主要因素	135
四、铸造用石膏粉的性能	140
五、铸造用石膏的性能检测	144
第二节 填料	145
一、填料的作用	146
二、对填料的要求	146
三、填料的种类及其特性	149
四、填料的种类、用量、粒度及其分布对石膏混合料性能的影响	155

第三节 添加剂	158
一、添加剂的种类	158
二、调节石膏混合浆料凝结时间的添加剂	159
三、增加石膏型强度的添加剂	160
四、降低石膏型收缩和裂纹倾向的添加剂	164
五、增加石膏型溃散性的添加剂	166
六、细化铸件表层晶粒的添加剂	166
第八章 石膏型混合料及其配制工艺和设备	169
第一节 对石膏型混合浆料的要求及性能检测方法	169
一、对石膏型混合浆料的要求	169
二、石膏型混合料性能的检测	171
第二节 影响石膏型混合浆料性能的几个因素	173
一、石膏品种牌号及加入量的影响	173
二、填料的影响	174
三、加水量及加水水质的影响	174
四、加水水温的影响	175
五、调凝剂的影响	175
六、环境温度和湿度的影响	176
第三节 精铸用石膏型混合料的配方及其性能、特点	176
一、精铸用石膏型混合料的成分和配方	176
二、石膏型精铸用石膏混合料的性能	177
三、各种石膏混合料的特点及应用	179
第四节 石膏铸型用石膏混合浆料的配制工艺及设备	180
一、石膏混合浆料的配制工艺	180
二、配制石膏混合浆料的设备、器具	181
第九章 石膏铸型的制备及设备	183
第一节 石膏混合浆料的硬化原理及石膏硬化体的强度与结构	183
一、石膏混合浆料的硬化原理	183
二、石膏硬化体的强度	184
三、石膏硬化体的结构与性质	187
第二节 石膏铸型的灌浆工艺及设备	187
一、拔模法石膏型灌浆工艺	187
二、熔模法石膏型灌浆工艺	188
三、制备石膏型常用的分型剂	189
第三节 石膏型的蒸汽处理和脱蜡	189
一、石膏型的蒸汽处理	189
二、石膏铸型的脱蜡	189
第四节 石膏型的干燥焙烧工艺	191
一、石膏型的干燥	192
二、石膏型的焙烧	192

三、石膏型干燥焙烧工艺中的技术要点	193
四、石膏型干燥程度的检测方法	195
五、石膏型出炉和浇注前的准备	196
六、石膏型干燥、焙烧用设备	197
第十章 铝合金熔炼、浇注及设备	198
第一节 石膏型铸造和所铸合金的特点	198
一、石膏型铸造的特点	198
二、石膏型可铸造的金属或合金	199
三、石膏型铸造铝合金的特点	200
第二节 铝合金熔炼浇注用金属材料及辅助材料(非金属材料)	201
一、金属材料	201
二、非金属材料	201
第三节 石膏型铸造铝合金的熔炼特点	205
第四节 铝合金的熔炼	206
一、对熔炼工艺的要求	206
二、铝合金熔炼的主要工艺参数	207
三、铝合金的典型熔炼工艺	207
四、石膏型浇注(铸造)工艺	209
五、石膏型铸造用铝合金熔炼与铸造技术要点	211
六、铝合金石膏型铸造用设备	214
第十一章 铸件的清理与热处理	217
第一节 铸件的冷却与清理	217
一、铸件的冷却	217
二、打型清理	217
第二节 铸件的热处理	218
一、各种石膏型铸造的铝合金铸件热处理方法	218
二、石膏型铸造的铝合金铸件热处理技术要点	218
第十二章 石膏型精铸件的检验及缺陷的防止和补救措施	223
第一节 石膏型铸造件的检验	223
一、检验和验收的依据	223
二、石膏型铸造铝合金铸件、器具、用具的检验方法及所使用的设备、仪器、仪表	223
第二节 石膏型精铸件常见缺陷及其防止措施	223
附表	227
附表 1 中外铸造合金牌号和标准对照	227
附表 2 我国铸造铝合金化学成分(GB1173—86)	231
附表 3 中国航空航天工业铸造铝合金牌号、代号和化学成分(HB962—86)	233
附表 4 一些高铝质硅酸耐火材料的化学成分	235
附表 5 一些粘土质硅酸铝耐火材料的化学成分	236
附表 6 不同改性剂对石膏胶凝膨胀的影响	237
附表 7 石膏与其他材料热物理性质的比较	237

附表 8 铁粉加入量对石膏型的导热性的影响	237
附表 9 配制模料常用原材料的性能	237
附表 10 几种熔模的模料成分和配比	239
附表 11 铝合金熔炼用金属材料	240
参考文献	246

第一章 概 述

第一节 石膏型精密铸造的发展史

一、远古时期的石膏型铸造技术

早在 3 000~3 500 年前,人类就用石膏作为医疗外科、牙科、金银首饰制品、文物复制品、雕塑艺术品及青铜、易熔合金制品的铸造模具或模型,也广泛应用于建筑行业。

根据日本富山大学名誉教授、工学博士養田 実先生的考证,地处西南亚的底格里斯河和幼发拉底河流域(今伊拉克的大部分)的美索布达米亚(Mesopotamia)和与之相邻的铜矿资源丰富的亚美尼亚(Armenia)是美索布达米亚远古文明即所谓青铜文明的发祥地。当时,这里的人民就用石膏、蜡料和动物胶作为铸型,铸造了许多青铜艺术品、器具、用具。后来这种文明(工艺技术)便分别向东、西两个方向传播。向东,首先传到印度,继而通过丝绸之路及其他途径传到中国、朝鲜,最后传到日本;向西,则经过克里德海、爱琴海、埃及、希腊、罗马,最后传遍欧洲各地。在东方,这一文明得到很大的发展,中国在公元前1 500多年前就运用此技术铸造了许多造型奇特的佛教文物及梵钟、天文简仪、鼎等精细复杂的青铜艺术品,如图 1-1;在西方,这种青铜铸造艺术品也发展得很快,大力推动了铜矿资源丰富的意大利的从佛罗伦萨、波罗尼亚到那不勒斯一带的伊特拉斯埃文明,使欧洲的艺术铸造品丰富多彩,如图 1-2。这些珍贵的历史文物,都是用石膏型铸造出来的。可见当时的铸造和冶炼技术,已达到了相当高的水平。

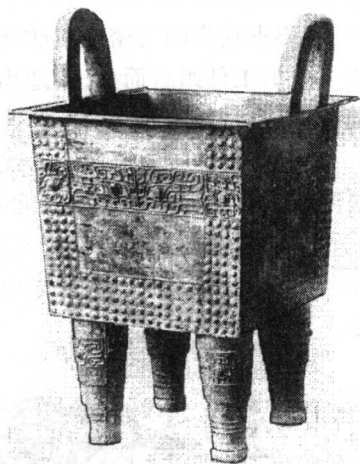


图 1-1 乳钉纹铜方鼎(商)



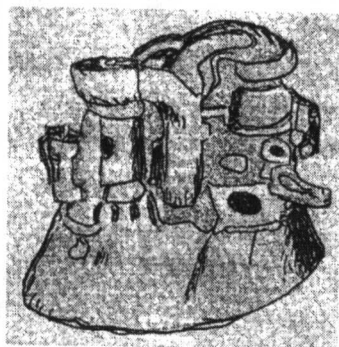
图 1-2 罗马博物馆藏象征
罗马的青铜母狼像

二、当代的石膏型铸造技术

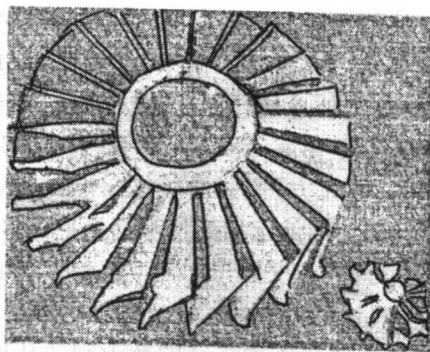
20 世纪 30 年代,美国 Antioch 学院的 Morris、Bean 夫妇发现 Antioch 石膏的发泡结构。之后,石膏型铸造技术的研究开发和应用从美国迅速扩展到加、日、德及原苏联等国,尤其是二战以后,航空航天、兵器、舰船、电信、石化等高技术的发展和竞争,其零部件日益趋向整体化、薄壁化、大型化、形状复杂化精细化,在采用传统的机械加工、焊接、铆接、锻造、铸造等加工手段受到很大限制或根本无法加工的情况下,美、日等国在 20 世纪 60 年代开发了一种最先进的铸造技术——石膏型精密铸造(我国 80 年代初开始引进这一技术)。从此,这一古老的技术发展到了一个崭新的阶段,并在成形工艺、合金熔炼及净化提纯、铸造及熔炼设备、测试技术及仪器等方面都取得了重大进展。主要技术水平和成果表现在下述几个方面:

在整体复杂精铸件方面,美国 Tec-Cast 公司运用此技术为波音 767 飞机铸造了发动机上的燃油增压泵壳体[图 1-4(a)],该铸件外形复杂,内部有多个变截面的弯曲油路歧管,并要求很高的气密性以防止高压时漏油,中心孔距离要求保持在 $\pm 0.25\text{mm}$ 的公差,原由多个加工件组合而成,制造周期长,成本高,该公司采用 22 个分体蜡模组合成一个整体蜡模,在组合时埋嵌进去 12 个不同形状尺寸的型芯,与石膏型精密铸造法相配用,铸造出 A356 铝合金整体精铸件予以代替,取得了简化加工、节省加工设备、大大缩短加工周期,大幅度降低成本和提高使用性能的巨大实效。

图 1-3(b)为美国 Tec-Cast 公司利用精铸技术铸造的由几十个叶片和轮壳组成的整体叶轮精铸件,它取代了过去由几十个加工的叶片和轮壳组成的叶轮,取得了显著的经济效益。



(a) 波音 767 飞机燃油增压泵壳体



(b) 整体开式叶轮

图 1-3 采用石膏型熔模精密铸造法铸造的铝合金铸件

在大型薄壁精铸件方面,美、英、德等国运用此技术,已铸造出尺寸达 $800\sim 1\,000\text{mm}$ 以上、面积达 $3\,200\text{cm}^2$ 以上、尺寸公差达 $\pm 0.125\text{mm}/25\text{mm}$,最小壁厚一般为 1.5mm 、局部可达 0.5mm 的铝合金精铸件。如英国 Deritemd 公司铸造的直升机机载导弹瞄准器的罩壳铝合金精铸件,其壁厚仅 $(1.78\pm 0.5)\text{mm}$ (局部达 1mm)、面积达到 $3\,200\text{cm}^2$,内有多个薄壁的隔板、隔板上有多多个异形孔,都是一次铸造出来的。

在高精度铸件方面,现国外可铸造出尺寸公差范围在 $(\pm 0.05\sim \pm 0.1)\text{mm}/25\text{mm}$ 或

($\pm 0.08 \sim \pm 0.05$)/25~50mm、表面粗糙度 R_a 在 $1.6\mu\text{m}$ 以下,甚至 R_a 在 $0.8\mu\text{m}$ 的铸件,如广泛应用于航空航天、电子和卫星通信的微波器件波导管,如图 1-4 所示。

在高强度精铸件方面,由于材料和熔炼工艺取得较大进展,加上组合熔模大大提高了零件结构形状的设计自由度而使铸件结构更趋合理,从而使采用此技术可以获得力学性能高、整个铸件冶金质量好、质地均匀的优质铸件取代过去由机械加工、焊接、铆接的组合件和某些锻造件。

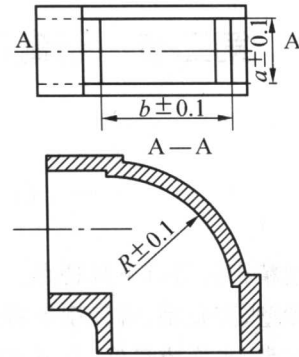
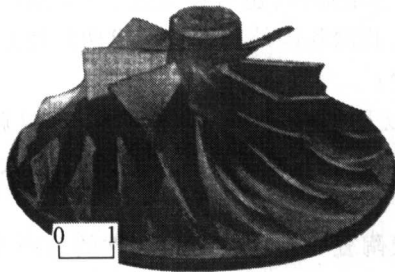


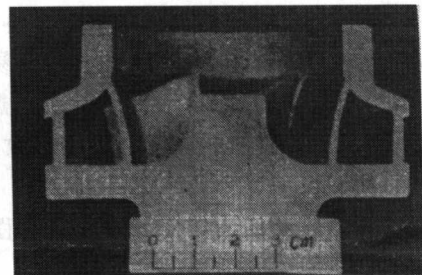
图 1-4 90°弯头波导管元件结构

三、我国取得的进展

我国在上世纪 80 年代初就认识到石膏型精密铸造技术的先进性和广阔的发展前景。1982 年,航空工业率先成立石膏型精铸攻关组。接着,国内许多企业、科研院所、高等学校都纷纷开展此项技术的应用和研究,已运用此项技术试制成功技术条件要求高、工艺难度很大的从国外引进的光学仪器罩壳、镜体和前述的多种波导管零件及开式和闭式的具有四维或五维空间尺寸的整体铝合金叶轮等铸件(图 1-5);研制出适合石膏型精密铸造的专用模料、石膏、合金品种,并编写了整套的工艺规范等技术资料。此外,全国多个企业和科研院所、高等学校还分别进行了对全国几个不同产地石膏的分析试验,出现了几个专供铸造用石膏的生产厂家;进行了 α 和 β 半水石膏的制备、半水石膏水化机理、填料和添加剂品种作用等方面的研究,开展了石膏混合浆料成分配比及其性能以及石膏型的制备、硬化过程影响因素、性能测试等方面的研究,进行了石膏型干燥、脱蜡、焙烧的研究和发泡石膏、改性石膏的研究以及各种型芯成分配比、性能的研究,设计制造了真空搅拌、灌浆、真空浇注等石膏型精铸用设备,研究和设计制造了检测各种工艺参数的仪器和办法。各方面所做的工作,取得了较大的进展,摸索总结了不少经验,为此项技术在我国向深度、广度发展打下了较好的基础,并正向全国各行各业大力推广应用。



(a) 一种开式叶轮的外形



(b) 一种闭式叶轮的剖面

图 1-5 我国航空工业用石膏型熔模精密铸造法铸造的铝合金叶轮

第二节 石膏型精密铸造的特点及适用范围

一、石膏型精密铸造的特点

石膏型精密铸造有下列特点:

1)与砂型、陶瓷型、薄壳型等铸造法比较,拔模石膏型精密铸造工艺简单,生产周期短,铸件的精度高,表面质量好,且成本低,使用的设备少,能耗少,铸件清理容易,无污染、劳动强度低;

2)与陶瓷壳体熔模精密铸造比较,由于是用石膏型取代了多层陶瓷壳体铸型,除了省去了涂料干燥设备和工艺外,还使生产周期大为缩短,原材料费用大为降低,因而综合经济效益大为提高,且没有氨气和硅酸乙酯散发出的有害气体对人体的危害和对设备仪器的腐蚀;

3)可铸造外形内构极为复杂的整体铸件,取代过去由多个机械加工件或钣金冲压件组成的零件(如有几十个叶片的叶轮),不但大大地扩大了零部件设计的自由度,提高了产品的机械性能,气密性能,缩小了体积,而且大大简化了加工工序,省去了大量的设备,缩短了加工周期,从而使成本大为降低;

4)不但可铸造薄壁(壁厚为 1.5mm,局部为 0.5mm 厚)和大面积(800mm×800mm 以上或 3 500cm² 以上)的铸件,而且铸件的成形性能好,铸件各部位的结晶组织和机械性能均匀;

5)不但可以很逼真地铸造出复杂的外形和精细的内部结构,还可铸造出微细表面结构(如文字、花纹等)。铸件的表面光洁度一般可达到 Ra1.6~3.2μm,最高可达到 Ra0.8μm,尺寸精度可达到(±0.05~±0.1)mm/25mm 或(±0.08~±0.15)mm/25~30mm;

6)石膏及其他材料来源广,价格都比较便宜,铸造工艺也比较简单,生产周期短,使用的设备少而且其价格不高,对操作者技术等级要求不高,劳动强度不大,基本无污染,因而综合经济效益好;

7)上马快、适用面广,既可铸造小型的精度要求不高的铸件,也可铸造大型的精度和表面光洁度要求很高的铸件;既可铸造铝合金、低熔点合金铸件,也可铸造金、银及铜合金、镁合金、不锈钢铸件,对于易氧化的镁合金铸件的铸造,我国和国外都取得了成功的经验;

8)石膏型的残留强度低,清理铸件容易且无灰尘;

9)由于石膏型的导热性差,又是采用热型浇注以及某些合金的结晶间隔宽,这就使得合金液浇注后,铸件的结晶凝固时间长,致使铸件产生气孔、针孔、疏松、缩孔的倾向大,也使铸件的晶粒粗大、机械性能下降;

10)石膏型精铸所铸铸件的表面光洁程度比熔模陶瓷壳体精铸所铸铸件的表面光洁程度稍低(一般粗糙度数值高一个等级);

11)某些合金(含镁量高的铝合金、镁合金等)采用石膏型精铸时,由于氧化性强,致使合金液的氧化夹渣多,液面张力大,充型效果就差,因而产生气孔、夹渣(杂)、疏松、缩陷(孔)的倾向也变大;

12)因石膏型透气性差,合金液的表面张力大,密度又小,致使铸件成形比较困难,因而产生欠铸(或称为缺肉)的倾向也大,尤其是壁薄的大平面铸件。

二、石膏型精密铸造的适用范围

1)既适用形状简单的铸件的铸造,也适合外形内构极为复杂精细、薄壁的异形、整体铸件的铸造;

2)既可铸造尺寸和表面质量要求不高的铸件,也可铸造尺寸和表面质量要求很高的铸件;

3)既适合小型铸件的铸造,也适合大型铸件的铸造;

4)既可在大气压力下采用重力浇注,又可在真空下采用真空浇注,还可采用低压浇注、差压浇注、调压浇注、真空吸铸以及真空熔化和吸铸等方法铸造;

5)既可铸造铝及铝合金、锌基等低熔点合金,也可铸造铜、镁及其合金、金、银及不锈钢等;

6)既可作为塑料、水泥、石膏、硅橡胶等材料的制品的浇注成型模,也可直接作为艺术雕塑品的模型;

7)特别适合单个试验件、新产品试制件、老产品改型件及小批量生产件的铸造,也适合中、大批量生产件的铸造;

8)既适合城市工业,也适合县及乡镇企业;

9)既适合各种机械、家电、汽车、摩托车、火车、飞机、导弹、卫星、兵器、舰船、石化设备等产品上各种零部件的铸造,也适合各类模具中成型件毛坯的铸造以及各种器具、制品、用品的铸造。

第三节 国内外石膏型精密铸造的现状和发展趋势

一、国外的概况

国外一些工业发达国家(如美、日、英、俄、德等国)对此项技术的研究、开发、应用已有四十多年的历史并取得了重大进展,特别是美、日、英等国运用此项技术取得了很好的经济效益和环保效应,同时也对熔模、型芯材料、石膏、填料、添加剂等材料的制备和处理,各自的性能作用以及模料、型芯、石膏混合浆料的成分配比,性能及其影响因素进行了广泛和深入的研究,对石膏型的制备工艺及其影响因素、合金的熔炼去气及浇注成型、铸件和型芯的清理包括上述工艺中使用的设备、仪器的设计制造等工作都取得了成熟的技术和经验,也制定了一系列标准,原材料的供应已系列化、标准化、商品化、定点化,不但达到了较高的技术水平,而且正在向铸造大型、薄壁、整体、复杂精细铸件和获得优质(高强度和铸件各部位具有均匀的冶金质量和机械性能)铸件的方向发展。

国外在此项技术方面取得的上述成功,可以说是开辟了铝合金等材料的精密铸造的新