



国防特色教材·职业教育

熔模铸造

RONGMU ZHUZAO

孙敏 主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

熔模铸造

主编 孙 敏

参编 姚艳玲 郭 凌 屈海英 石继东

主审 刘锦益 屈新民

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书共分 12 章,教材在编写中力求体现职业技术教育的特色,重点放在为解决军工及民品生产实际问题所必需的实用知识、理论和技能上。主要讲述了制模材料及工艺、制壳材料及工艺、铸件工艺及压型设计、熔模铸件应用实例与铸件质量分析等内容。教材反映了近年来国内外比较先进的生产经验和科研成果,并推广和使用新的国家标准。

本教材是高、中等职业技术学院铸造专业教学用书,同时也适用于中等专业学校、成人大中专及工厂培训使用,也可供工厂工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

熔模铸造/孙敏主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.9
国防特色教材·职业教育
ISBN 978-7-5640-2527-4

I. 熔… II. 孙… III. 熔模铸造-高等学校:技术学校-教材 IV. TG249.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 129384 号

熔模铸造

孙 敏 主编
责任编辑 唐 爽

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787 毫米×960 毫米 1/16 印张:14 字数:292 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷 印数:1—3000 册

ISBN 978-7-5640-2527-4 定价:35.00 元

前 言

本书是国防科工局职业教育规划教材之一,根据国防科工局对国防工业的需要而进行编写。

全书共分12章,在编写中力求体现职业技术教育的特色,重点放在解决军工及民品生产实际问题所必需的实用知识、理论和技能上。主要讲解了制模材料及工艺、制壳材料及工艺、铸件工艺及压型设计、熔模铸件应用实例与铸件质量分析等内容。本书反映了近年来国内外比较先进的生产经验和科研成果,并推广和使用新的国家标准。

本书是高、中等职业技术学院铸造专业教学用书,同时也适用于中等专业学校、成人大中专及工厂培训使用,也可供工厂工程技术人员参考。

本书由包头职业技术学院孙敏任主编,并负责编写第1章、第4章、第5章;包头职业技术学院姚艳玲编写第3章、第7章、第12章;包头职业技术学院郭凌编写第9章;内蒙古第一机械制造集团屈海英编写第6章、第8章;包头职业技术学院石继东编写第2章、第10章、第11章。

除参编人员外,内蒙古北方重工业集团、内蒙古第一机械制造集团的有关技术人员对教材提出了宝贵建议。在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免会有不足之处,恳切希望读者批评和指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 熔模铸造的发展概况	1
1.1.1 发展概况	1
1.1.2 发展现状与高新技术	2
1.2 熔模铸件的尺寸公差、工艺流程	3
1.2.1 熔模铸件的尺寸公差	3
1.2.2 熔模铸造的工艺流程	5
1.3 熔模铸造应用实例	6
第 2 章 制模材料及工艺	9
2.1 模料性能的基本要求	9
2.2 模料的成分及性能	11
2.2.1 蜡基模料	12
2.2.2 树脂基模料	15
2.2.3 填料模料和亲水填料模料	16
2.2.4 其他模料的组成及性能	18
2.3 模料的制备	19
2.3.1 模料的配制	19
2.3.2 石蜡—硬脂酸模料的回收和处理	22
2.3.3 树脂基模料的回收和处理	23
2.4 熔模制造工艺及模组的组合	24
2.4.1 熔模制造工艺	24
2.4.2 熔模的组装	26
第 3 章 制壳材料及其基础知识	28
3.1 对型壳性能的要求	28
3.1.1 强度	28
3.1.2 透气性	29

3.1.3	热膨胀性	30
3.1.4	热稳定性	30
3.1.5	高温下化学稳定性	31
3.2	制壳耐火材料	31
3.2.1	石英	33
3.2.2	电熔刚玉	35
3.2.3	铝—硅系制壳耐火材料	35
3.2.4	锆砂	37
3.2.5	熔融石英	37
3.2.6	其他耐火材料	38
3.3	制壳黏结材料	39
3.3.1	硅酸乙酯黏结剂	39
3.3.2	水玻璃黏结剂	40
3.3.3	硅溶胶黏结剂	40
3.4	耐火涂料的配制	41
第4章	水玻璃型壳	43
4.1	水玻璃耐火涂料及其配制	43
4.1.1	水玻璃耐火涂料的组成和作用	43
4.1.2	耐火粉料的选择和应用	46
4.1.3	表面活性剂	48
4.1.4	水玻璃耐火涂料的质量控制	49
4.1.5	耐火涂料的配制	52
4.2	氯化铵为硬化剂的制壳工艺	52
4.2.1	上涂料和撒砂	52
4.2.2	型壳的干燥和硬化	53
4.2.3	脱蜡	57
4.2.4	型壳的焙烧	58
4.3	结晶氯化铝硬化剂和制壳工艺	60
4.3.1	制壳工艺特点	61
4.3.2	型壳强度性能	63
4.4	氯化镁硬化剂硬化工艺	64
4.5	水玻璃型壳的质量和缺陷分析	65
4.5.1	型壳的表面质量	65

4.5.2	型壳的尺寸稳定性	68
4.5.3	型壳的强度性能	69
4.5.4	水玻璃型壳的其他缺陷	72
第5章	硅酸乙酯型壳	77
5.1	硅酸乙酯黏结剂	77
5.2	硅酸乙酯涂料	79
5.3	硅酸乙酯型壳制壳工艺	80
第6章	硅溶胶型壳	82
6.1	硅溶胶黏结剂	82
6.2	硅溶胶涂料	84
6.2.1	涂料的种类、组成及作用	84
6.2.2	涂料配方	86
6.2.3	涂料配制	88
6.2.4	涂料性能控制	88
6.3	硅溶胶型壳制壳工艺	88
6.3.1	模组清洗	88
6.3.2	制壳原理及工序	89
6.3.3	具体工艺	90
6.3.4	影响型壳干燥的因素	92
6.3.5	型壳干燥的控制和测试	93
6.4	快干硅溶胶制壳工艺	93
6.4.1	新型快干硅溶胶概况	94
6.4.2	快干型壳制壳工艺	94
第7章	复合型壳	95
7.1	硅酸乙酯—水玻璃复合型壳	95
7.2	硅溶胶与硅酸乙酯交替硬化工艺	96
7.3	硅溶胶—水玻璃复合型壳工艺	96
第8章	型芯	98
8.1	熔模铸造型芯的基本要求、工艺特点和应用范围	98
8.1.1	熔模铸造型芯的基本要求	99

8.1.2	熔模铸造型芯的工艺特点和应用范围	99
8.2	陶瓷型芯的基体材料和矿化剂	100
8.2.1	陶瓷型芯的基体材料	100
8.2.2	矿化剂	102
8.3	制芯工艺	103
8.3.1	增塑剂	105
8.3.2	表面活性剂	105
8.3.3	浆料成分和配制	106
8.3.4	陶瓷型芯的压制	107
8.3.5	陶瓷型芯的焙烧	107
8.3.6	陶瓷型芯的强化	108
8.3.7	从铸件中脱芯的方法	109
8.4	其他制芯方法	110
8.4.1	注浆法	110
8.4.2	干压法	110
8.4.3	热塑性树脂为增塑剂的热压注法	111
第9章	铸件工艺设计	112
9.1	概述	112
9.2	铸件结构工艺性分析	113
9.2.1	壁厚和壁的连接	113
9.2.2	平面	115
9.2.3	孔和槽	115
9.3	工艺方案和工艺参数的确定	116
9.3.1	铸孔	116
9.3.2	基准面选择	117
9.3.3	工艺筋	118
9.3.4	工艺孔	118
9.3.5	铸件的精度和表面粗糙度	120
9.3.6	加工余量	123
9.3.7	铸造斜度	124
9.3.8	铸造圆角	125
9.4	浇、冒口系统设计	125
9.4.1	熔模铸造浇注系统的作用和要求	125

9.4.2	浇注系统各单元设计	126
9.4.3	浇注系统各单元尺寸的确定	137
9.4.4	冒口、补贴和冷铁的应用	142
9.5	典型铸件浇、冒口系统实例分析	145
9.5.1	套筒类铸件	145
9.5.2	圆环类铸件	146
9.5.3	框架板条类铸件	147
9.5.4	轮盘类铸件	148
9.5.5	叶片类铸件	150
9.5.6	壳体类铸件	152
9.5.7	三通不锈钢零件	155
9.5.8	支座零件工艺应用实例	156
第 10 章	压型的设计与制造	159
10.1	机械加工压型的结构设计	159
10.1.1	概述	159
10.1.2	分型面的选择	161
10.1.3	成型部分的设计	163
10.1.4	定位构件的设计	168
10.1.5	锁紧机构的设计	170
10.1.6	注蜡系统的设计	170
10.1.7	压型分类	171
10.2	压型工作图	172
10.2.1	概述	172
10.2.2	综合线收缩率 K 值的确定	173
10.2.3	型腔尺寸的确定	177
10.2.4	压型图	179
第 11 章	凝固模拟、快速成型技术在熔模铸造中的应用实例	181
11.1	不锈钢精铸阀体铸造工艺方案优选	181
11.2	铝合金导流器铸造工艺方案优选	181
11.3	快速成型技术在熔模铸造中的应用	182
11.4	加工陶瓷型芯	184

第 12 章 铸件质量分析	185
12.1 铸件常见缺陷分析	185
12.1.1 黏砂	185
12.1.2 夹砂、鼠尾和凹陷	187
12.1.3 橘子皮	189
12.1.4 结疤(又称癞蛤蟆皮)	190
12.1.5 麻点	191
12.1.6 鼓胀	191
12.1.7 金属刺(毛刺)	193
12.1.8 金属珠	194
12.2 孔洞类缺陷	195
12.2.1 气孔(集中气孔)	195
12.2.2 弥散性气孔	196
12.2.3 缩孔	196
12.2.4 缩陷	197
12.2.5 缩松	198
12.3 裂纹和变形	199
12.3.1 热裂	199
12.3.2 冷裂	201
12.3.3 铸件脆断	202
12.3.4 变形	203
12.4 其他缺陷	205
12.4.1 砂眼	205
12.4.2 渣孔	206
12.4.3 冷隔	207
12.4.4 浇不到(欠铸)	207
12.4.5 跑火	208
12.4.6 表面脱碳	210
参考文献	212

第 1 章 绪 论

熔模铸造是用易熔材料制成尺寸精确、表面光洁的可溶性模样,在模样上涂以若干层耐火材料,经过干燥、硬化后,将其中的模样熔失而制成型壳,再经过焙烧制成耐火型壳,然后进行浇注,待冷却后获得铸件的一种方法。其铸件精密、复杂,接近于零件最后的形状,可不经加工直接使用或经很少加工后使用,熔模铸造是一种近净形成形工艺。

在近几十年新模料、新黏结剂及制备型壳的新工艺不断涌现,在制模、制壳、焙烧、浇注等方面则向着机械化、自动化生产线方向发展,铸件的质量逐步得到提高。现在熔模铸造不仅用于航空、军工,几乎应用于所有工业部门,特别是电子、石油、化工、能源、交通运输、轻工、纺织、制药、医疗器械、泵和阀等部门。

1.1 熔模铸造的发展概况

1.1.1 发展概况

熔模铸造的历史可以追溯到 4000 年前,埃及、中国和印度是最早的起源国家。中国古代留下很多熔模铸件精品,如春秋晚期的王子午鼎、铜禁,战国的曾侯乙尊、盘,汉代的铜错金博山炉、长信宫灯,隋朝的董钦造弥陀鎏金铜像,明代浑天仪、武当真武帝君像,清故宫太和门铜狮等。在 16 世纪时,熔模铸造工艺被艺术家和雕刻家们广泛运用。19 世纪末期,牙医用熔模铸造工艺,结合离心浇注技术生产牙科铸件。20 世纪初,为生产出更精密的牙科铸件,人们开始研究影响蜡模和型壳尺寸稳定性的因素,以及一些金属和合金的凝固收缩性能,20 世纪 30 年代初调整了熔模使用的材料。

在恶劣环境中工作的航空发动机零件如涡轮增压器,若采用传统合金,则不能满足性能上的要求。20 世纪 30 年代末,人们发现研制的钴基合金在高温下有优异的性能,可用于涡轮增压器。但这类合金很难加工,熔模铸造就成为该类合金成形的工艺方法,迅速地发展成工业技术,进入航空、军工部门,并迅速地应用到其他工业部门。

半个多世纪中熔模铸造工业一直以较快的速度在发展着。20 世纪末,世界熔模铸造业年产值约 70 亿美元。20 世纪 90 年代美国熔模铸造业年产值从 23.2 亿美元增至 34.2 亿美元,增长 47.4%。英国 1999 年的产值为 1993 年的 1 倍多。而中国 2000 年产值是 1988 年的 11.5 倍。可见熔模铸造业发展之迅速。从产品看熔模铸造分为两大类:军工、航空类产品和民品类产品。但民航、大型电站及工业涡轮增压发动机的发展,使得军工、航空类产品所占比例变

化不大(见表 1-1)。

表 1-1 熔模铸件产品结构比例

%

年	国家及地区 产品	美国		英国		欧洲		日本	
		军工 航空	商品	军工 航空	商品	军工 航空	商品	军工 航空	商品
1982		50	50	67	33	55	45	—	—
1988		60	40	70	30	60	40	—	—
1991		60	40	70	30	55	45	—	—
1997		60	40	70	30	55	45	15	85

1.1.2 发展现状与高新技术

熔模铸造的迅速发展是依靠技术发展和进步取得的。对熔模铸造发展有较大影响的新材料、新工艺、新技术很多,如水溶型芯、陶瓷型芯、金属材质改进、大型铸件铸造技术、铁合金精铸、定向凝固和单晶铸造、过滤净化、热等静压、快速成形等。随着技术发展,熔模铸造已可以生产更大、更精、更薄、更强的产品。

1. 更大更薄的产品

熔模铸造不仅可生产小型精密铸件,也能生产较大型精密铸件,最大轮廓尺寸可达 1.8 m,而最小壁厚却不到 2 mm,最大铸件重接近 1 000 kg。大型熔模铸件的生产技术是建立在制模、制壳、熔炼等工艺发展,以及优质材质、先进设备的基础上的。除黏结剂、耐火材料改进外,在涂料、制壳工艺研究上也取得较大进展,同时石膏型熔模铸造等新工艺的兴起也促进了大型精密铸件的生产。

2. 更精的产品

熔模铸件已越来越精确,除线性尺寸公差外,铸件还能达到较高的形位公差。如 ISO 标准中的一般线性尺寸公差是 CT4~CT6 级,特殊线性尺寸公差高的可达 CT3 级,而熔模铸件表面粗糙度值也越来越小,可达到 $Ra0.8 \mu\text{m}$,甚至 $Ra0.4 \mu\text{m}$ 。

3. 更强的产品

由于材质的改进和工艺技术的进步使得铸件的力学性能越来越好。同时因凝固技术的发展和应用,使所生产的涡轮叶片从传统的等轴晶到定向凝固的柱状晶,再发展到单晶叶片,加

上设计改进,从而使涡轮叶片的工作温度大为提高,由 980 °C 提高到 1 200 °C 以上,钛合金强度高,已成为现代工业中一种重要的结构金属,钛合金精铸技术使生产复杂钛合金铸件成为可能,特别是制造大型复杂钛合金铸件可代替很多零件的组装件,大大减轻产品的重量而又提高了产品的强度。

另外,熔模铸件内部常存在缩松等缺陷,为获得致密的熔模铸件,热等静压技术已被广泛用于涡轮叶片及其他熔模铸件上。热等静压处理可使镍基高温合金、钛合金和铝合金的高温低周波疲劳性能提高 3~10 倍;使镍基高温合金和钛合金的应力断裂寿命提高 2 倍;使铸件性能波动和分散程度降低到原来的六分之一。热等静压是利用高温和高压,靠金属蠕变和塑性变形让铸件内部缩松热裂等缺陷愈合。从而降低铸件废品率,减少焊接后产生的裂纹,改善熔模铸件性能,使之可取代锻件。钛合金熔模铸造技术的发展,使现代工业中的重要结构材料钛合金能用熔模铸造方法生产出精密复杂零件,特别是大型整体钛熔模铸件的出现,它代替组装件减轻机器的重量、提高寿命,取得很好的效果。

为缩短生产周期,简化工序,熔模铸造与 20 世纪 80 年代出现的快速成形技术(RPT)结合,使用 RPT 的立体光刻法(SLA)、选择性激光烧结法(SLS)、熔融堆积制造法(FDM)或分层实体制造法(LOM)等工艺所制塑料、蜡和纸原型代替传统蜡模,或使用直接型壳生产法(DSPC)工艺生产的陶瓷型壳进行熔模铸造生产,增强了市场竞争力。

1.2 熔模铸件的尺寸公差、工艺流程

1.2.1 熔模铸件的尺寸公差

铸件尺寸公差是指铸件公称尺寸的两个极限尺寸之差。GB/T 6414—1999《铸件尺寸公差与机械加工余量》规定铸件尺寸公差分 16 级,即 CT1~CT16 级,CT1 级精度最高。表 1-2 为铸件尺寸公差值,通常公差带对称分布,即公差的一半取正值,另一半取负值。

表 1-2 铸件尺寸公差数值(GB/T 6414—1999)

mm

铸件 基本尺寸		公差等级 CT ^①															
大于	至	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 ^②	14 ^②	15 ^②	16 ^{②③}
—	10	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1.0	1.5	2.0	2.8	4.2				
10	16	0.1	0.14	0.20	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1	1.6	2.2	3.0	4.4				
16	25	0.11	0.15	0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6.0	8.0	10.0	12.0
25	40	0.12	0.17	0.24	0.32	0.46	0.64	0.90	1.3	1.8	2.6	3.6	5.0	7.0	9.0	11.0	14.0
40	63	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	10.0	12.0	16.0

续表

铸件基本尺寸		公差等级 CT ^①															
大于	至	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 ^②	14 ^②	15 ^②	16 ^③
63	100	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.0	9.0	11.0	14.0	18.0
100	160	0.15	0.22	0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8	2.5	3.6	5.0	7.0	10.0	12.0	16.0	20.0
160	250	—	—	0.34	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8.0	11.0	14.0	18.0	22.0
250	400	—	—	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9.0	12.0	15.0	20.0	25.0
400	630	—	—	—	0.64	0.90	1.2	1.8	2.6	3.6	5.0	7.0	10.0	14.0	18.0	22.0	28.0
630	1 000	—	—	—	—	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	6.0	8.0	11.0	16.0	20.0	25.0	32.0
1 000	1 600	—	—	—	—	—	1.6	2.2	3.2	4.6	7.0	9.0	13.0	18.0	23.0	29.0	37.0
1 600	2 500	—	—	—	—	—	—	2.6	3.8	5.4	8.0	10.0	15.0	21.0	26.0	33.0	42.0
2 500	4 000	—	—	—	—	—	—	—	4.4	6.2	9.0	12.0	17.0	24.0	30.0	38.0	49.0
4 000	6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	7.0	10.0	14.0	20.0	28.0	35.0	44.0	56.0
6 300	10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.0	16.0	23.0	32.0	40.0	50.0	64.0

注:① CT1~CT5 中,对壁厚采用粗一级公差。
 ② 对于不超过 16 mm 的尺寸,不采用 CT13~CT16 的一般公差,对于这些尺寸应注个别公差。
 ③ 等级 CT16 仅适用于一般公差规定为 CT15 的壁厚。

不同的铸造方法所得到铸件公差不同。熔模铸造属精密铸造,一般铸件可达到 CT4~CT6 级,高精度铸件可达 CT3 级。铸件壁厚、铸孔及转接圆弧半径公差也可参考表 1-3~表 1-5。

表 1-3 熔模铸件壁厚公差(前苏联)

mm

铸件基本尺寸	铸件壁厚				
	1~3	≥3~6	≥6~10	≥10~18	≥18~30
< 30	0.4	0.75	1.5	—	—
≥30~80	0.4	0.75	1.5	1.8	—
≥80~120	0.6	1.2	1.5	1.8	2.1
≥120~250	0.6	1.2	1.5	1.8	2.1
≥250~400	1.0	1.6	2.0	2.2	2.5
≥400~500	—	1.6	2.0	2.2	2.5

表 1-4 铸孔参考公差

mm

孔径	12.5	25	38	50	64	125	200	250
公差	±0.13	±0.13	±0.23	±0.25	±0.30	±0.64	±1.0	±1.3

影响熔模铸件尺寸精度的因素归纳起来分为四大方面:铸件结构形状、大小、压型和生产工艺。铸件收缩是否受阻与铸件结构形状有关,复杂铸件的不同部位分别存在着受阻、半受阻

和不受阻状态,因而要细加分析,并给以不同的收缩率,才能获得高精度铸件。收缩率的大小不仅取决于合金的收缩,还取决于蜡模的收缩及型壳的膨胀,故常称之为综合收缩率。另外,熔模铸造工序多,每个工序参数的波动均会影响到铸件尺寸精度,为不断提高铸件精度,降低因尺寸超差造成的废品,始终是熔模铸造工作者应予重视的课题。

表 1-5 转接圆弧半径的尺寸公差值

mm

圆弧半径	<3	≥3~6	≥6~10	≥10~16	≥16~25	≥25~40	≥40~63	≥63~100
尺寸	CT3~CT5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8
公差	CT6~CT8	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0

1.2.2 熔模铸造的工艺流程(图 1-1)

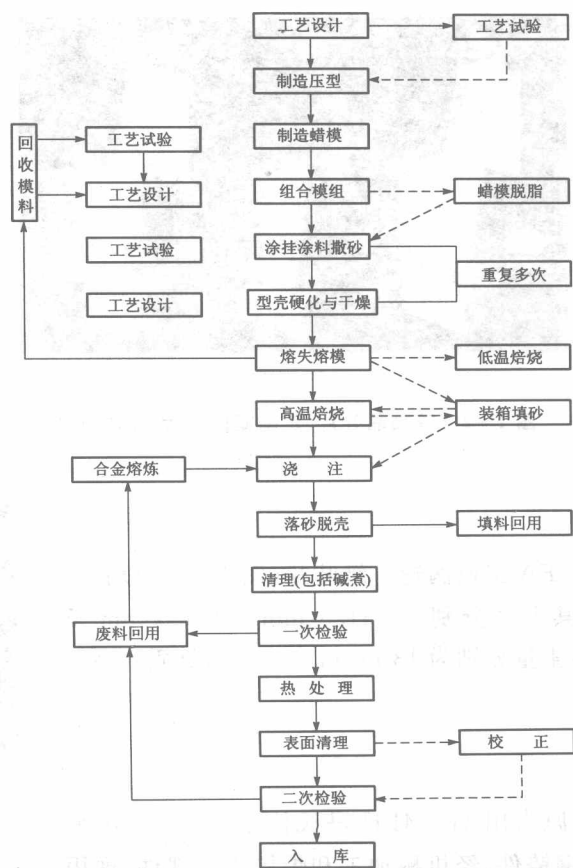


图 1-1 熔模铸造的工艺流程

1.3 熔模铸造应用实例

熔模铸造几乎应用于所有工业部门,特别是航空航天、造船、汽轮机和燃气轮机、兵器、电子、石油、化工、核能、交通运输、轻工、纺织、制药、医疗、仪器仪表、机械、泵和阀、运动器械、家用电器等。熔模铸件按其服务对象可分为两类:一类用于航空、航天及军品;一类用于其他行业。现将典型熔模铸件应用实例列举如下。

1. 定向凝固和单晶叶片

近年来,用控制凝固技术得到定向凝固的铸件和单晶铸件。图 1-2(a)是等轴晶叶片,(b)是定向凝固叶片,(c)是单晶叶片,材质是高温合金。

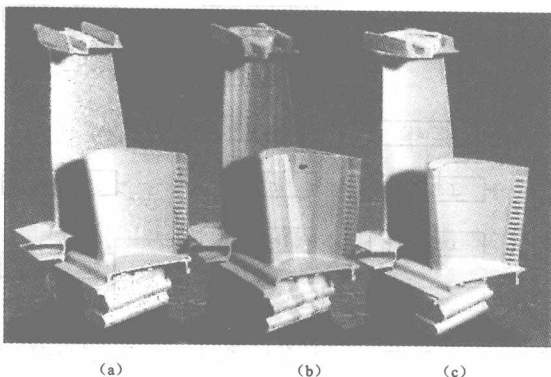


图 1-2 等轴晶叶片、定向凝固叶片、单晶叶片

2. 工业涡轮叶片

GE 燃气轮机 MS90 FA 工业涡轮一级叶片(图 1-3(a))和二级叶片(图 1-3(b)),其尺寸分别为 431.8 mm×216.5 mm 及 558.8 mm×203.2 mm,重量分别为 13 kg 和 12.6 kg,材质为高温合金。

3. 前机匣

前机匣见图 1-4。原为用 17-4PH 马氏体不锈钢(美国牌号)生产的较小的不锈钢铸件,经机械加工和焊接成一部件,现用一个整体钛合金精铸件,最外轮廓尺寸为 1 320.8 mm,代替 88 件

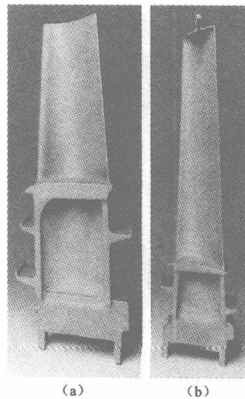


图 1-3 工业涡轮叶片

组装部件,零件强度得到改善,尺寸控制好,重量减轻。

前机匣是装在通用电器公司 CF-6-80C 发动机上,该发动机用于 A310、A300、波音 747、767 和 MD-11 多种飞机上。用此支撑涡轮叶片的部件,并将之连接固定于压缩机部分。

4. 主屏蔽罩

火箭发射器的铝合金主屏蔽罩,见图 1-5。其轮廓尺寸为 381 mm×355.6 mm×190 mm。该件采用了大量薄壁结构,最薄处 1.02 mm。用它代替三个需加工、再组装的组装件,使重量由 2.16 kg 减至 1.24 kg,几乎减轻了一半。这是大型薄壁箱体件的代表。

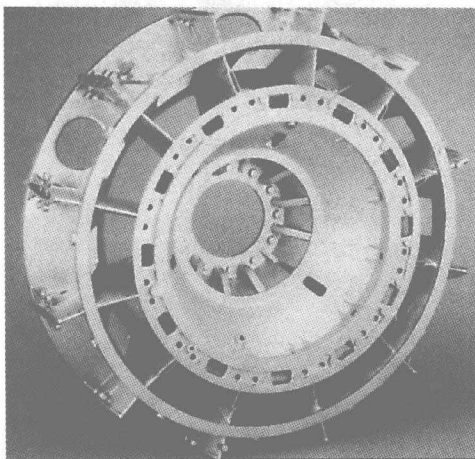


图 1-4 前机匣

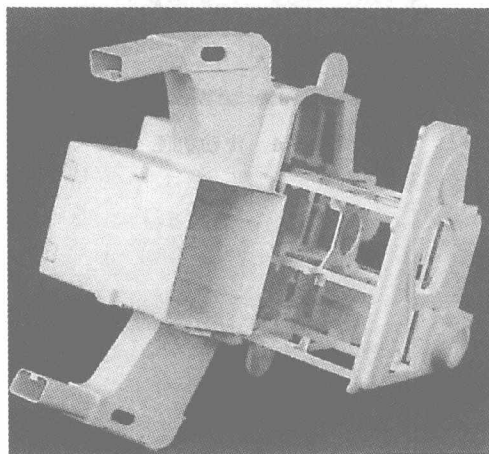


图 1-5 主屏蔽罩

5. 传动机匣

图 1-6 为 V-22 直升机传动机匣,为大型整体的钛合金精铸件。

6. 显示器框架

M1A2 坦克用显示器框架(见图 1-7),此件质量要求高,需经 X 射线探伤,原分成两件用砂型铸造方法生产,经机械加工后组装起来。加工工作量大。改成铝合金整体精铸件后,可靠性增加,性能提高,并减少机械加工量,显著地减轻了重量。