

浅析民机用铸件的设计通用要求及其发展趋势

石霞琳¹ 柳荣¹ 杨冬雨¹ 陈建²
(上海飞机设计研究院标准材料设计研究部,上海 200232
上海飞机设计研究院联合工程部,上海 200232)

Analysis of General Design Requirements and Development Trend of Civil Aircraft Casting

Shi Xialin¹ Liu Rong¹ Yang Dongyu¹ Chen Jian²
(1. Standard and Material Department of SADRI, Shanghai 200232, China;
2. Liaison Engineering Department of SADRI, Shanghai 200232, China)

摘要:分析了民机用铸件材料的选用要求及主要铸造方法,提出了民机用铸件的试生产批准、类别与级别的确定、拉伸试样选择以及补焊工艺、公差等通用设计要求。以精密铸造为例分析了民机铸造技术的发展趋势。

关键词:民机;铸件;设计;发展

【Abstract】 This paper analyzed the casting Alloys selection requirement and main cast methods of civil aircraft industry, put forward general requirements of casting, such as: Preproduction approval of casting, determination of classes and grades, tensile specimens selection, welding process, tolerance, etc. Investment castings were used as an illustration to analyze the development trend of civil aircraft cast technology.

【Key words】 Civil aircraft; Casting; Design; Development

0 引言

铸造作为一种古老、廉价的成型方法,特别适用于型腔复杂、薄壁多筋的零件制造,是航空工业中的关键制造技术之一。它无需机械加工或仅需少量机械加工,在缩短研制周期,降低生产成本方面具有无可比拟的优势。在航空工业中,复杂薄壁的高温合金、钛合金、铝合金整体精密铸件是飞机发动机和机体中的关键构件,这些构件的形状尺寸、组织结构和性能直接影响飞机和发动机的性能、结构重量系数、

寿命和制造成本等各种重要指标。因此,铸造技术是先进民用飞机向轻量化、精确化、长寿命、低成本方向发展的重要技术基础。

1 民机用铸件材料及铸造方法

民用飞机上采用的常用铸件材料主要有高温合金、不锈钢、钛合金和铝合金,使用的铸造方法有熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造和砂型铸造等。民用飞机上使用典型材料及铸造方法如表1所示。

表1 民机用典型铸件材料及铸造方法

半成品形式	牌号	材料规范	用途及部位
精密铸件	15-5PH	AMS5357	以固溶处理状态供应,用作需大量机加的复杂零件
砂型铸件	356.0	AMS4217	具有高强度及良好耐蚀性,极佳的铸造性能,用作优良的耐压铸件,如壳罩等
砂型铸件	D357.0	AMS4241	具有高强度及良好耐蚀性,极佳的铸造性能,用作优良的耐压铸件
精密铸件	356.0	AMS4260	成本高于砂型铸件,用于机加困难的复杂精密铝零件,可铸出精密复杂零件且公差小,如进气室、通气口
精密铸件	Ti-6Al-4V	AMS 4985	用于要求兼有高比强度和耐腐蚀的复杂零件,如襟翼滑轨、套筒等
离心铸坯	C95500	ASTM B 271	高强度、高硬度但塑性差;价贵、具有高的收缩性,机加困难耐腐蚀及抗疲劳性能优良,如起落架衬套等

与其它航空工业产品不同,民机用铸件材料的选择一般遵循以下原则:

(1)应满足飞机设计要求且符合 CCAR-25.603 有关条款的要求^[1]。

(2)应在国外民机上使用过且成熟可靠的材料;保证飞机的可靠性和安全性;注重飞机的耐久性和损伤容限设计准则对材料性能的要求。

(3)材料技术规范是在民机上普遍使用的、国际通用的材料标准,并兼顾其先进性和经济性。

(4)选用的材料应具备相应的工艺标准。

2 民机用铸件设计通用要求

适航条款中对铸件有单独的审查要求,所以民机用铸件在设计中必须制定、执行一些基本的设计通用要求以帮助设计出更好的符合适航要求的产品。

2.1 铸件的试生产批准

在铸件批生产前,如果使用新的或重新制作的模具、设计新浇道、冒口系统等,其铸件样品及铸造程序应经过试生产批准。试生产批准是对铸造零件的机械性能和物理性能的试验验证,评定供应商的工艺控制参数。

2.2 铸件的类别与级别

铸件的类别与级别按 AMS 2175 分为四类(1, 2, 3, 4 类)、四级(A, B, C, D 级)。类别取决于铸件功能对于飞机完整性的重要程度,用于控制检验的频率;级别用于控制铸件的质量及检验项目^[2]。

铸件的类别定义如下:

1 类——铸件的单独失效会危及乘员生命,或者会导致飞机、导弹或其它航空器的坠毁。

2 类——铸件的单独失效会导致重大的操作故障。就飞机、导弹或其它航空器而言,包括主要元件的失效,操作失灵,对投弹不利或意想不到的发射,军械装置元件的失灵。

3 类——未包含在 1、2 类内,铸件系数 ≤ 2.0 。

4 类——未包含在 1、2 类内,铸件系数 > 2.0 。

铸件的级别定义如下:

A 级——在铸件或铸件指定区域的射线照片上无明显可见缺陷。

B 级——重要区域或高应力区域的优质级别(推荐用于液压铸件)。

C 级——通用铸件中高质量级别。

D 级——最低质量级别,主要用于低应力或非关键区域。

设计时应明确每个铸件的类别与级别。铸件各

区域可根据应力分布情况确定不同的级别,需特别注意有应力集中或最终机加后会产生应力集中的区域(如尖锐的内棱角,有孔或缺口等区域)。

当设计未在铸造毛坯图上注明铸件的级别时,则对于 1、2、3 类铸件,级别为 C 级;对于 4 类铸件,级别为 D 级。

当设计采用 1 类铸件时,该铸件的所有区域的级别应等于或高于 C 级,其中高应力区域的级别应等于或高于 B 级。

2.3 拉伸试样的确定

铸坯的拉伸试样分为三种:单独铸造试样、附铸试样和从铸件上切取的试样。如采用后两种试样,铸造毛坯图上应规定试样的尺寸、数量和位置。一般除首件铸件采用从铸件上切取的试样外,通常采用附铸试样以控制成本。

2.4 补焊工艺、铸件的公差及表面粗糙度等

补焊是铸造厂用来修补铸件毛坯缺陷的工艺,仅当工程图纸上规定可补焊时,才对铸件进行补焊。铸件的尺寸公差应根据设计需求和铸造厂的生产能力给出,非重要尺寸或其后需机加的部位,其公差应放宽以降低成本。表面粗糙度可参照 ASME B46.1^[3]。设计如有其它要求,如压力试验、喷漆、阳极化等,应在工程图纸上注明。

3 民机铸造技术发展趋势

这里以熔模精密铸造技术为例,简述民机行业中铸造技术的发展趋势。

3.1 铸造新材料的研制

铸造新材料的研制一直是铸造技术发展的一个重要方面。民机材料要求能承受更高的工作温度、有更高的强度、并具有如持久、蠕变、断裂韧性以及高、低周疲劳强度等其他良好的综合力学性能,同时有良好的工艺性,以满足民机工业发展的需要。随着复合材料的大量应用,钛合金铸件的应用也越来越广泛。例如, Ti-5553 (Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr) 就是一种新型的钛合金铸件材料,相对于 Ti-6242、Ti-15-3-3-3 与 Ti-64,它具有更优良的强度和疲劳性能,如图 1、图 2 所示。

3.2 铸造工艺的发展

随着民机工业的发展,对铸件的要求越来越高,从而促进了铸造工艺技术的发展。

(1)对铸件的要求越来越大型、精密、复杂

图 3 是某公司生产的的驾驶舱仪表盘精密化铸件。该件原为由 300 个零件通过 600 个连接件组合而成,现通过 11 个精密铸件就可以实现,产品成本

减少了50%。目前,这类大型精密复杂整体件已不罕见,如图4所示的发动机机闸精密铸件。

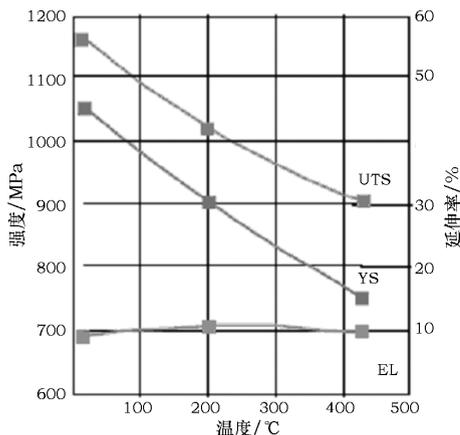


图1 Ti-5553 铸件拉伸强度曲线

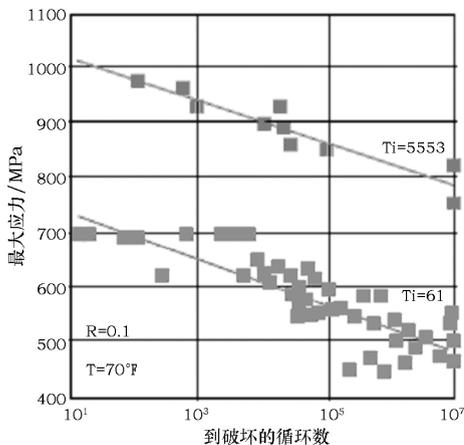


图2 Ti-5553 与 Ti-64 铸件高周疲劳曲线

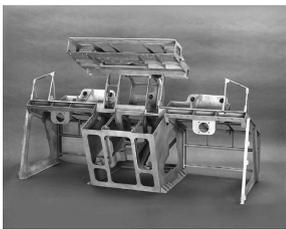


图3 驾驶舱仪表盘精密铸件

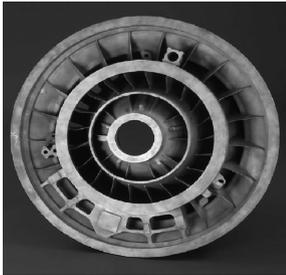


图4 发动机机闸精密铸件

铸件精密程度也越来越高,除线性尺寸公差外,还对形位公差有要求。如 ISO 标准中熔模铸件一般线性尺寸公差为 CT4 ~ CT6 级,特殊线性公差可达

CT3 级,其铸件表面粗糙度值也越来越小,可达 Ra=0.8 μ m。铸件结构越来越复杂,如图5所示的飞机控制系统精密铸件,形状复杂,内腔有许多空心通道,铸件基本不加工就可使用。



图5 飞机控制系统精密铸件

(2) 铸造工艺技术进展

对熔模铸造发展影响较大的工艺技术有大型熔模铸造技术、钛合金精铸技术、型芯技术、均匀化凝固技术、过滤技术、热等静压技术、快速成型技术、计算机在熔模铸造中应用及机械化和自动化等^[5]。图6为快速成型技术铸造的精密铸件。

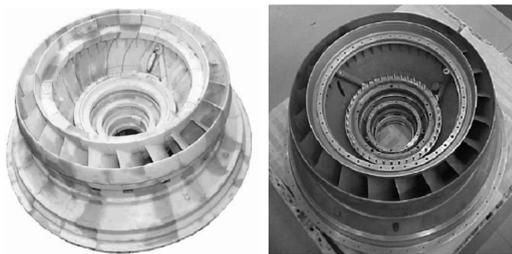


图6 快速成型技术铸造成的零件

4 结论

铸件在国外民机上的应用已经十分普遍,甚至在某些型号上已经采用了钛合金铸件作为主承力结构件。民机铸件应同时满足适航和设计要求,并且兼顾先进性和经济性。我国的民机工业正处于起步阶段,在民机铸件的设计、制造以及适航方面的经验积累还比较匮乏,所以开展民机用铸件的设计要求及铸造工艺研究意义深远。

参考文献:

[1] 运输类飞机适航标准. 中国民用航空规章, 第 25 部, CCAR-25-R4. 中国民航总局, 2009.
 [2] AMS 2175 Castings, Classification and Inspection, 2003. 7.
 [3] ASME B46.1 SURFACE TEXTURE (SURFACE ROUGHNESS, WAVINESS, AND LAY), 1996. 6.
 [4] 姜不居, 吕志刚. 铸造与航空工业[J]. 金属加工, 2008. 13:14-16.