

铸造 Ti-0.2Pd 合金 SF-1000 双级风机叶轮的研制

Development of Ti-0.2Pd Alloy Impller Casting for SF-1000 Model Two Stage Blower

孙福民 甘敬林 (北京航空材料研究院)
Sun Fumin Gan Jinglin (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] Ti-0.2Pd 合金 SF-1000 双级风机叶轮是大型盐酸再生设备的主要部件, 采用整体铸造方法制造, 无论在技术上还是经济上都是十分有利的。本文主要介绍采用加工石墨、铸铁组合型, 真空电弧凝壳熔炼铸造工艺, 成功地研制出整体铸造风机叶轮。

关键词 加工型 静压头 真空电弧凝壳熔炼

[Abstract] Ti-0.2Pd alloy impller for SF-1000 Model two stage blower is a major component of large scale chlorhydric acid reclaiming equipment. Manufacturing of the impller by means of integral casting is entirely favourable for both technique and economy. This paper mainly describes integral blower impller casting developed by the machined graphite and cast iron mould, vacuum arc skull melting and cast technology.

Keywords machined mould static pressure head vacuum arc skull melting

1 前言

含有微量钯元素的 Ti-0.2Pd 合金, 具有优异的抗盐酸腐蚀性能并已广泛使用。Ti-0.2Pd 合金的抗腐蚀速度远比工业纯钛优越 (表 1)。风机叶轮选用该合金制造, 其原因就在于此。

表 1 Ti-0.2Pd 合金和工业纯钛在盐酸中的腐蚀性能
Table 1 Corrosion resistance of Ti-0.2Pd alloy and CP titanium in chlorhydric acid

腐蚀 介质	浓度 %	温度	Ti-0.2Pd 耐蚀等级	工业纯钛 耐蚀等级	耐蚀等级说明
盐 酸	5	20	一级 (A)	一级 (A)	一级 (A): 0.13mm/y, 完全耐腐蚀 二 级 (B): 0.13 ~ 1.3mm/y 三级 (C): 1.3 ~ 2mm/y 四级 (D): 2.0mm/y 不 能使用
	5	60	一级 (A)	三级 (C)	
	5	沸点	一级 (A)		
	10	20	一级 (A)	二级 (B)	
	10	60	一级 (A)		
	20	20	一级 (A)	一级 (A)	
	20	60	二级 (B)		

风机叶轮是大型盐酸再生设备的重要部件, 也是一种易损件, 其平均寿命约 1 年。原件采用 15 个 Ti-

0.2Pd 板和棒加工件组合焊接方法制造, 这种方法的主要缺点是: 焊接时叶轮的几何尺寸难于保证, 焊缝耐腐蚀性能较差, 平面之间转接处不能圆滑过渡; 其次是制造周期长、成本高。若采用整体铸造成形方法制造, 就可有效解决这些问题, 而且制造成本低、生产周期短。但必须选择合适而经济的铸造方法。其关键在于整体铸造成形技术是否应用得当。通过对风机叶轮的结构特点进行分析后, 决定采用加工石墨、铸铁组合型, 以及真空电弧凝壳熔炼浇注工艺。

2 SF-1000 双级风机工作性能和叶轮结构

2.1 SF-1000 双级风机的工作原理
SF-1000 双级风机为一大型收集和输送盐酸气体的设备, 分左右两级, 由同一转轴带动两个装在密封涡壳中的叶轮高速旋转。拖动电机功率 380kW, 转速 2900r/min。介质分别由两叶轮的一侧中部吸入, 经加压后再汇合于同一管道输出。其流量为 210000m³/h, 工作温度约 80 。

2.2 叶轮结构特点
(1) 几何尺寸大。叶轮直径达 925mm, 轮毂高 291mm, 净重 (原件) 约 60kg, 前后轮盘间距叶根为 186mm, 叶尖为 111mm, 每个叶片长 400mm。

(2) 结构比较复杂。叶轮有12个直叶对称均布(但在吸气口平行于叶身部位有R48mm转弯),前轮盘(中部为吸气口)带圆弧,将叶片由宽186mm缩减至111mm,吸气口直径为430mm;后轮盘为封闭平板,轮毂两端均带密封装置,将介质与钢轴隔离。

(3) 壁薄且表面积大。叶片厚4mm,吸气侧面轮盘厚5mm,后轮盘厚6.5mm;经计算,两轮盘和12个叶片的总面积之和达 2m^2 。

3 铸造工艺和造型方法的确定

对于这样一种叶轮,采用整体铸造成形方法制造,其技术难度很大。据了解目前国内外尚未发现有铸造尺寸700mm以上薄壁风机叶轮的先例。而且该产品使用昂贵的Ti-Pd合金,目前需求量较少。因此采用铸造法研制要冒大的风险。为此决定采取以下措施进行研制。

3.1 对幅板和叶片的等厚尺寸作适当调整

由于电弧凝壳熔炼的钛液过热度低,钛合金的结晶间隔窄,加上冷模浇注凝固速度快,流动性差,要将总面积达 2m^2 的大型等厚薄壁叶轮在3~4s内浇注充满是很难的。为此将叶片和轮盘靠轮毂部位的截面适当增厚,而轮缘部位减薄,从而形成一定的铸造斜度,以有利于充填和铸造成形。这种改变基本上不增加叶轮的结构重量,也不影响其工作性能,而且还会提高叶轮的刚性和增强叶轮本身抗离心力的强度。

3.2 从轮毂中心开直浇道,以静止、底铸方式浇注

不宜采用离心铸造,因为此时内浇口必须开在叶轮的轮缘或轮毂的端头(即铸钛要求的底铸法),而轮缘周边很长、壁薄,需要的浇道很长,因此铸造成形更为困难;若开于轮毂端头,则轮盘和叶身会形成严重的冷隔和流痕缺陷。

本研究采取的浇注工艺方案是:在轮毂中心设置浇道,其底部开圆环形内浇口,采用静止底铸方式进行浇注。在此情况下浇道最短,钛液充填的流程也最短,热量损失少;加之叶片和轮盘靠轮毂处最厚,有利于向轮缘流动;同时静止浇注的金属液流动平稳,有利于顺序充填和排气,铸件表面连续光洁。因此这种工艺设计应属最佳方案。

3.3 在型腔底部顺着12个叶片开设辅助横浇道

由于前轮盘的中心部位为吸气口,与轮毂不相连,不能靠叶片输送钛液来充填前轮盘成形。因此决定顺着12个叶片吸气口端面开设12个辅助横浇道,既可满足前轮盘所需钛液,又有利于叶片和后轮盘的成形。

3.4 采用加工石墨、铸铁组合型系统

在现行铸钛造型系统中,熔模精密型壳造型方法,适合于那些结构复杂、壁薄、精度要求高和大批量生产的中小型铸件的生产;而石墨捣实型造型法,适合于那些结构比较简单,壁较厚,对几何尺寸和质量要求不太严格的中小型铸件的批生产。这两种造型方法均要求成套的专用造型设备,而且造型工序多、周期长,影响铸型质量的因素多。尤其前者,还需要用昂贵的造型材料,从而大大提高了制造成本。对于本风机叶轮的研制而言,这两种造型方法均不可取。因此,决定采用加工型造型方法,其优点十分明显:(1)造型材料便宜,不需要成套专用设备,成本低;(2)造型方法简便,周期短;(3)铸型刚性好,铸件尺寸易控制;(4)铸型“干净”、对钛液润湿性好有利于成形,而且不污铸件;(5)基于以上优点,此法最适合于大中型铸件的单件试制和小批量生产。

4 研制方法和程序

4.1 Ti-0.2Pd 母合金自耗电极的制备

采用海绵钛加纯钯丝配制电极,在真空电弧炉中熔炼成200mm的Ti-0.2Pd合金锭作为母合金自耗电电极。

4.2 铸型的设计、加工和处理

按上述确定的铸造工艺和造型方法,结合叶轮的结构特点、尺寸要求和铸钛特性来设计铸型。其中上模和下模分别采用整块铸铁件加工制造,便于芯子定位,铸型装夹和搬运。铸铁模在使用前需经过烘烤处理;型芯由人造石墨电极制作,由12块同样尺寸的扇形块组合加工而成。以扇形块之间的间隙作为叶片和轮毂的型腔。石墨芯在使用前经过真空除气处理。图1为经过加

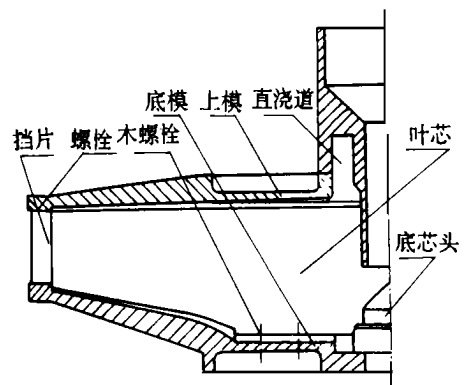


图1 风机叶轮加工型铸模装配示意图

Fig.1 Scheme of assembled machined mold for casting of blower impeller

工后组装的风机叶轮铸型示意图。

4.3 熔炼浇注

铸钛风机叶轮的熔炼浇注在 80kg 真空电弧凝壳炉中进行,其主要工艺参数为:电弧电流 17~18kA,浇注时间 3~5s,电弧电压 39~42V,合金浇注量 75~80kg,真空度 1.33~6.7Pa。

4.4 铸后处理

铸件经过清型、切除浇冒口、打磨飞边毛刺后,仔细检查铸件表面情况,目视检查能看到的缺陷,如冷隔、流痕、钛豆等并进行烧焊(一般不用填料),使铸件表面平整光洁。然后进行打磨、退火、吹砂处理和检查几何尺寸。

从直浇道上取样分析铸件的化学成分;从 22mm×37mm 横浇道上切取试样,测试铸件的室温力学性能。并将分析和测试结果与国外有关标准对比(国内尚无 Ti-0.2Pd 合金标准)。

5 研制结果和讨论

5.1 风机叶轮的表面质量

铸造的风机叶轮轮廓清晰、成型完整,叶片和轮盘表面平滑光洁,平面之间交接圆滑过度。叶轮以退火后表面吹砂状态交付。

5.2 风机叶轮的化学成分

风机叶轮的化学分析结果列于表 2。可见,其化学

成分完全符合 ASTM B367-83(Ti-Pd 铸件)的标准^[2]要求,而且其中杂质元素含量均比标准规定值低得多。

5.3 风机叶轮的力学性能

从 22mm×37mm 横浇道上取样,测得的室温力学性能列于表 3。可见,铸造风机叶轮的力学性能完全满足 ASTM B367-83 Ti-Pd 7B 铸件的标准^[2]要求,各项数据相当均匀稳定,分散度小,特别是冲击韧性高,约为常用铸造钛合金的 3~4 倍。还值得一提的是,由于试样取自厚的横浇道,所得数据相应偏低,对于壁薄的叶片和轮盘而言,其实际强度和塑性数据还要高一些。

5.4 影响风机叶轮整体铸造成形的主要因素

如前所述,对于单件试制和小批生产的大型薄壁风机叶轮,试图采用整体铸造成形方法制造,其技术难度很大。必须遵循钛合金的熔炼铸造规律,根据铸件的结构特点、要求,来选用造型材料、造型方法和浇注方式。尤其是铸型和浇注系统的设计具有决定性意义。归纳起来其实质内容是:(1)铸型结构要合理搭配组合,保证其刚性和尺寸精确。(2)金属液的浇注温度要高(采用大电流),并保证具有足够的金属静压头。(3)要尽量缩短浇道,并采用静止底铸方式浇注,以实现金属液自下而上,由中心至轮缘顺序快速充填。(4)调整叶片和轮盘的等厚尺寸,使其具有相应的铸造斜度,以及增

表 2 风机叶轮的化学成分分析结果

Table 2 Chemical composition of blower impeller

元素	合金元素, %		主要杂质元素, %						备注
	Ti	Pd	Fe	Si	C	N	H	O	
分析数据	基体	0.16	0.04	0.03	0.012	0.024	0.0028	0.086	从直浇道上取样
	基体	0.15	< 0.05	< 0.05	0.020	0.020	0.0030	0.11	
ASTM B367-83	基体	0.12	0.20	—	0.10	0.05	0.015	0.40	铸件标准

表 3 风机叶轮室温力学性能测试结果

Table 3 Room temperature mechanical prpoerties of blower impeller

项目名称	试样状态	b	0.2	s		a _k	HB
		MPa	MPa	%	%	kJ/m ²	5/ 750/ 30
测试数据	退火	459	374	20.9	42.7	1279	151 160
		458	375	20.0	45.7	1414	150 162
		464	386	20.0	42.2	1361	157 166
ASTM B367-83	退火	345	275	15.0	—	—	210

重要的影响。图3给出了四种成分样品形状恢复率随预应变量的变化,由图可见,即使在 $\epsilon = 1.0\%$ 左右时,合金也没有达到完全恢复。并且 $\epsilon < 3\%$ 时,随 ϵ 增加DSR迅速减小, $\epsilon > 3\%$ 后DSR逐渐趋于饱和,这是由于Fe基形状记忆合金在预应变较低时,奥氏体基体上析出的马氏体片未产生较大的晶格畸变和过多的缺陷;少量的孪晶、层错缺陷提供了马氏体转变的形核中心,对相变是有利的,此时产生的宏观变形,大部分由相变提供。但进一步形变,除产生滑移导致永久变形外,还使得钉扎在相界附近及存在于变体内部的空位增加,大量空位在形变过程中有可能聚集、崩塌,形成空位环或位错环,从而对马氏体的进一步生成及对加热时马氏体逆相变起到阻碍作用,使得合金的形状记忆效应下降。这表明空位型缺陷对马氏体相变过程以及形状记忆效应是不利的。且由图1、图2可见,空位型缺陷的变化对样品成分没有明显的依赖性,因此成分变化对Fe基合金的形状记忆效应没有显著影响。

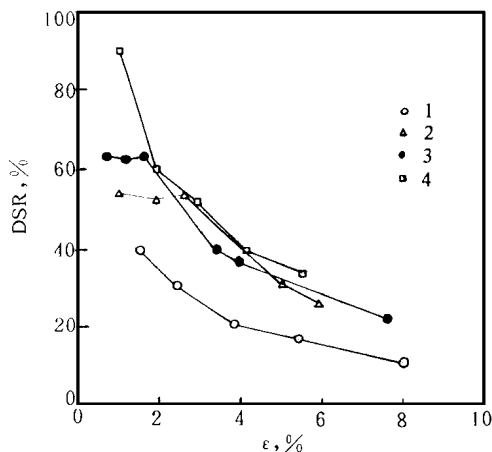


图3 形状恢复率与拉伸应变关系

Fig. 3 The degree of shape recovery (DSR) as a function of tensile strain, ϵ_p

4 结论

利用正电子湮没寿命谱、多普勒展宽谱联合谱仪,研究了几种Fe基形状记忆合金的预应变过程。结果表明,应变初期的变形由相变提供,产生的空位型缺陷较少;当施加应力达到母相屈服强度时,产生的塑性变形伴随大量的空位型缺陷,这种单空位型缺陷对形状记忆效应有重要的影响。

参考文献

- 1 A. Sato, E. Chishima. Acta metal, 1982, 30 (6): 1177

- 2 A. Sato, E. Chishima. Acta Metal. 1984, 32 (4): 539
- 3 何元金等译. 正电子湮没技术. 北京科学出版社, 1983, 222
- 4 I. Hurtado et al. Scripta metall. Mat. 1995 (33): 741
- 5 Wang Jing-cheng et al. Scripta Metall Mat. 1990 (24): 1847
- 6 I. K. Mackenzie et al. Phys. Lett., 1970, 33 (5) (A): 279
- 7 J. Baram et al. Phys. Stat. Sol., 1973, 16 (a): 263
- 8 Wang Jing-cheng et al. Scripta Metall Mat., 1990 (24): 1511
- 9 J. H. Yang et al. Metall. Trans. A. 1992 (23A): 1431

收稿日期: 1997. 3. 4

本课题由国家自然科学基金资助, 59371019

夏瑞东, 女, 1963年10月生, 讲师(在职博士生), 研究方向—形状记忆合金。联系地址: 北京朝阳区育慧里二区8#楼三门602号(100101)。

(上接第31页)

设必要的辅助横浇道等。

6 结论

(1) Ti-Pd合金大型薄壁风机叶轮的整体铸造研制获得了圆满成功。无论从铸造叶轮的尺寸和壁厚程度, 还是从单件重量来衡量, 都达到先进水平。

(2) 采用加工石墨铸铁组合型, 真空电弧凝壳熔炼、静止、底铸方式铸造工艺研制风机叶轮是科学的成功的途径。铸件的化学成分和力学性能均符合ASTM B367-83的要求; 铸件的质量和几何尺寸都符合图纸要求。

(3) 铸造风机叶轮的实际工作性能达到了焊接叶轮的同等水平, 这说明用整体铸造代替焊接获得了完全成功。

(4) 以整体铸造代替焊接制造大型薄壁风机叶轮, 具有良好的技术经济效益, 为进一步推广应用创造了有利条件。

收稿日期: 1996. 12. 9

孙福民, 男, 工程师, 在北京航空材料研究院从事铸钛研究工作。联系地址: 北京市81信箱15分箱(邮编100095)