

钛合金熔模铸造石墨型壳

钛合金熔模铸造工艺研究题目组

用熔模铸造法成形钛合金铸件,可提高金属利用率,减少机加工量,降低成本。因此,自七十年代中期,钛合金熔模铸件的产量逐年增加,应用范围逐步由静止结构件扩大到转动件。到目前为止,世界钛合金熔模铸件的年产量已达20多吨,其中绝大部分用于宇航和导弹工业。目前采用的铸型系统有三种:

1. 难熔金属粉(钨、钼等)面层复合陶瓷型壳系统;
2. 纯石墨型壳系统;
3. 氧化物陶瓷型壳系统(包括热解炭复层的普通陶瓷型壳);

根据我国铸态、航空和其他工业技术以及原材料来源的情况,我们研制成了一种石墨型壳系统。现简介如下:

1. 型壳及其主要性能

经过几年的实验研究,确定了该型壳系统的组份,配比及其制壳工艺。

该型壳系统以酚醛树脂作粘结剂,用不同颗粒度的石墨粉作耐火填料和撒砂。

它的整个制壳工艺过程与钢和耐热合金的熔模精密铸造过程相似,一般涂7~9层,强度就足够了。该型壳强度高,重量轻,不论离心或静止浇注均适宜。图1是该型壳的外观。该型壳系统的主要性能指标见表1。

表1 石墨型壳的主要性能指标

| 室温 抗弯强度 公斤/厘米 ² | 收缩率 % | 抗变形 能力 % | 透 气 率 厘米 ⁴ /厘米·厘米 米水柱·分 | 脱壳 性能 |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------|--|----------|
| 57.4~68.7 | 阻碍 3.5~4.0 自由 4.6~4.8 | 0.2~ 0.5 | (9.05~11.15) × 10 ⁻⁸ | 良好 |

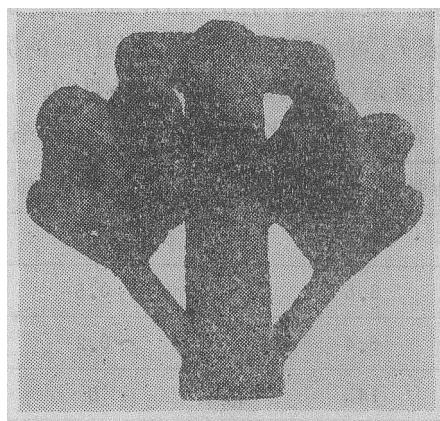


图1 石墨型壳

2. 熔炼和浇注

熔炼和浇注在真空自耗电极凝壳炉内进行,采用直径145~180毫米的二次重熔纯钛或各种钛合金棒料作自耗电极。熔炼制度:电弧电压32~36伏。电流7~10千安。真空度 $5 \times 10^{-2} \sim 10^{-3}$ 托。熔炼时间依据所需金属量确定。浇注方式根据铸件的结构和质量要求,采用静置浇注或离心浇注。

由于凝壳熔炼金属液过热度低,钛合金流动性比铸钢差,且易吸气,因而宜采用底注系统,尤其是离心浇注。总之,浇注系统的设计应使浇入的金属液充填型腔时,连续平稳,不产生紊流和飞溅,尽量避免多股金属流相汇,使型腔中的气体顺畅排出,只有这样,才能得到流痕、冷隔和搭接少,表面光洁、内部质量好的钛铸件。

当采用离心浇注时,根据铸件的结构,重量和质量要求,离心机的转速通常选用200~400转/分。

3. 铸件的成分、性能和质量

几年来,用这种型壳先后浇注出了表面光

洁，内部质量良好的传动机构壳体，透平机叶轮、涡轮壳体、350毫米长的一级风扇空心叶片、通风器转子、油滤器骨架、支架、转速表转接座、摩擦盘以及人工钛关节等近十多种另件。图2是用该型壳系统浇出的部分钛及其合金铸件。目前用此型壳系统浇出的铸件已达到的水平见表2，为了对比，表中还列入美、苏两国同类型壳系统浇注铸件的水平。表3是在该型壳系统中浇注的ZT₄铸件试样的化学成份，由表3可见，此型壳对铸件的化学成份无影响。



图 2 石墨型壳中浇注的部分钛及其合金铸件

表 2 石墨型壳中浇注铸件目前所达到的水平

| 国 别 | 铸件重量 (公斤) | 铸型尺寸 (毫米) | 浇注 方式 | 最小壁厚 (毫米) | 铸件表面沾污层深度 (毫米) | 铸件表面 光洁度 |
|--------------|--------------------|--------------------------------|----------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 621 所 | 2.0 ^[1] | 350×350 ×350 ^[2] | 静置 | 拔模斜度3°时 ≥2 | 0.10~0.14 | ▽4~▽5 ^[3] |
| 美国 Howmet 公司 | 23 | 609×609×609 | 或 | 拔模斜度3°时 可达1.5 | 吹砂酸洗后无 | ▽5~▽6 |
| 苏 联 | | 500×500×500 | 离心 | 拔模斜度3°时 可达1.7~2.2 | 0.115~0.18 | ▽4~▽5 |

注：〔1〕〔2〕这两项指标尚有很大潜力。〔3〕采用机加工标准评定的。

表 3 石墨型壳系统浇注的ZT₄叶片和试样的化学成分

| 试样 | 成 分 % | | | | | | | | |
|----|-------|------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|----|
| 来源 | Al | V | Fe | N | H | O | C | Si | Ti |
| 叶片 | 5.74 | 3.96 | 0.084 | 0.0167 | 0.0048 | 0.121 | 0.04 | — | 余量 |
| 试样 | 5.89 | 3.91 | 0.075 | 0.014 | 0.0025 | 0.101 | 0.033 | 0.0475 | 余量 |

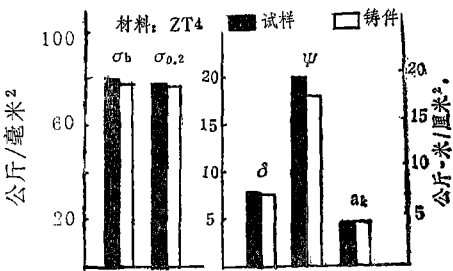


图 3

图3是在该系统中浇注试样和铸件的机械性能。由此可见，该型壳系统对合金试样与铸件的机械性能无影响。

由于熔融钛的高化学活性，浇进石墨型壳后，要与型壳发生一定程度的相互作用，使铸件表面受沾污，并含有大量间隙元素（氢、氧、

氮），而且有高的硬度。图4是在此型壳系统中浇注的04炉叶轮的表面层距离与显微硬度的关系。由图4可见，其表面沾污层厚度在0.10~0.14毫米范围内，它通过吹砂、酸洗即可去除。

（下转第7页）

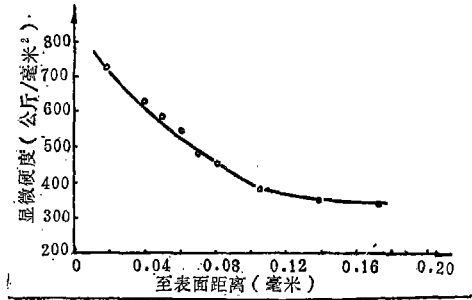


图 4 石墨型壳中浇注钛铸件的表面沾污程度

4. 装表试验

(1) 试验内容和方法

用520℃时效4小时的轴尖装表六只;600℃时效4小时的轴尖装表三只。

1) 在安装半径为1.5米、转速为54.5转/分的离心机上作X—X、Y—Y、Z—Z三个方向的线加速度(5g)试验,每个方向试验5分钟。

2) 用压力真空试验器,在760~200毫米汞柱的压力范围交变耐磨2万次。

3) 仪表在2S-100DS型电磁振动试验台上沿X轴线振动 22×10^6 次,其振动参数见表2。

表 2

| | | | |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 频率, 赫芝 | 2.5 | 50 | 185 |
| 振幅, 毫米 | 0.5 | 0.2 | 0.028 |
| 振动次数 | 4×10^6 | 9×10^6 | 9×10^6 |
| 振动时间, 小时 | 44 | 50 | 14 |

4) 仪表在冲击试验台上沿X轴线以加速度4g冲击一万次,加速度8g冲击一万次。

5) 仪表在DZ-150型电磁振动台上沿X轴线作加速度14g抗振1分钟。

(2) 试验结果

1) 每作完一个试验项目检查仪表误差,均符合产品技术条件。

2) 仪表试验后轴尖的损坏情况分析表明,经520℃时效的轴尖,磨损很小,优于CoW25

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

(上接第25页)

图5是用石墨型壳浇注的开式透平叶轮的低倍组织,由图可见,其内部质量接近于国外同类型壳铸件的一、二级水平。

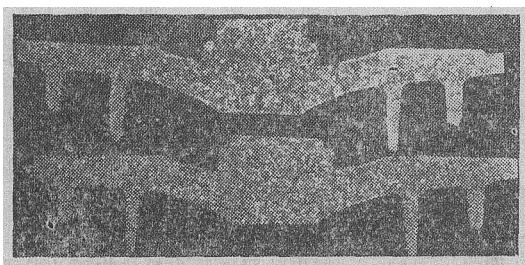


图 5 石墨型壳中浇注开式叶轮的低倍组织。

(上面为离心浇注的,下面是静置浇注的。)

和3J22合金。采用600℃时效的轴尖,磨损较大,轴尖头部被墩平,说明合金只有采用峰值时效规范才能充分发挥其优越性。经600℃4小时时效的轴尖,虽保持较高的硬度($H_v > 750$ 公斤/毫米²),但其性能却不如具有相同硬度的CoW25合金。

3) 仪表试验后,轴尖各部分仍保持光亮无蚀,CoW25却有明显的锈蚀斑点。

三、结 论

试验表明,镍铬铝轴尖合金综合了CoW25和3J22合金的主要优点,达到航空仪表所要求的各项技术指标。

1. 合金时效热处理工艺简便可靠,性能稳定,不易产生过时效,在500~570℃范围内时效4~5小时,维氏硬度大于800公斤/毫米²。

2. 轴尖合金采用500~540℃时效4~5小时,具有最佳的耐磨、抗冲、抗振性能。

3. 合金具有优良的抗氧化及耐腐蚀性,与CoW25合金相比是一独特优点。

4. 从经济效果来看,NiCrAl合金的原材料价格约为CoW25合金的八分之一,是目前最廉价的航空仪表轴尖材料之一。

5. 缺点是粘性大,磨削时粘结刚玉砂轮,降低砂轮寿命。

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

钛合金熔模铸造石墨型壳的研究成功是我国在这方面比较成功的第一代型壳,适宜于浇注一些中小型比较复杂的另件,这种型壳系统原材料来源丰富,成本低,型壳比重小,强度高,可单壳浇注,浇注铸件质量优良,这对推广应用于工业生产极为有利,可满足当前航空工业和其他工业部门的使用需要。

该型壳系统的不足之处是收缩较大(约4~5%)浇注前不能预热到高温。但这两方面均可通过采取适当措施加以克服。

(谢成木 执笔)