

# 煤油泵低压壳体真空熔模精密铸造工艺

杨永平

中国航天科技集团公司第六研究院七一〇三厂

**摘要:** 在进行工艺研究的基础上, 通过重复性的工艺试验和系统分析, 解决煤油泵低压壳体真空熔模精密铸造过程中的关键工艺技术问题及原材料的选材、工艺装备的保证能力, 研究出一套用真空熔模精密铸造技术生产大型、复杂型腔零件的工艺方法。

**关键词:** 煤油泵低压壳体; 真空熔模精密铸造; 研究

**中图分类号:** V434

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2004)02-0037-04

## 1 引言

煤油泵低压壳体是液氧煤油发动机中的关键铸件之一, 这些铸件体积大, 材料采用新牌号, 而且质量要求相当高。传统的工艺技术生产的铸件满足不了其性能要求, 国内也从未涉及这一技术领域的研究。

在进行工艺研究的基础上, 通过重复性的工艺试验和系统分析, 解决了煤油泵低压壳体真空熔模精密铸造过程中的关键工艺技术问题, 研究出一套用真空熔模精密铸造技术生产大型、复杂型腔零件的工艺方法。

一些单位对高强耐热合金及真空熔模精密铸造工艺都有研究, 但大都局限于航空发动机上形状简单的无余量叶片等的研究, 而且铸件凝固采用了定向结晶的工艺技术。对于几何尺寸大, 结构复杂的高强不锈钢零件的真空熔模精密铸造工艺技术的研究却未开展。在国外, 前苏联对该领域进行了系统性的研究, 工艺上有突破性的进展。

## 2 工艺方案

### 2.1 铸件特点

煤油泵低压壳体铸件外廓尺寸为  $345 \times 300 \times 280\text{mm}$ , 这对精密铸造来说, 属于大型铸件, 且铸件型腔复杂, 为变截面腔体, 尺寸精度要求高, 铸件壁厚均匀性差, 最厚处  $45\text{mm}$ , 最薄处只有  $6\text{mm}$ , 容易产生裂纹、浇注不足和冷隔。铸造过程中易产生气孔、缩孔、氧化性夹渣等铸造缺陷。这些都需要在制定工艺方案时考虑, 气孔和氧化性夹渣则对合金的熔炼过程控制及设备提出了比较高的要求。

### 2.2 蜡模制作

在制定工艺研究方案过程中, 考虑到铸件体积大, 结构复杂, 而且处于研制阶段, 铸件的尺寸、结构有可能改变, 设计制作金属压型时间长, 成本高, 无法保证进度要求, 而且工艺方案如果改变, 压型的返修难度较大, 甚至可能造成全套压型报废。所以, 采用了 AFS 快速成型机制模, 再进行浸蜡、精整等工艺处理。在进度和质量上保证了工艺研究顺利进行。

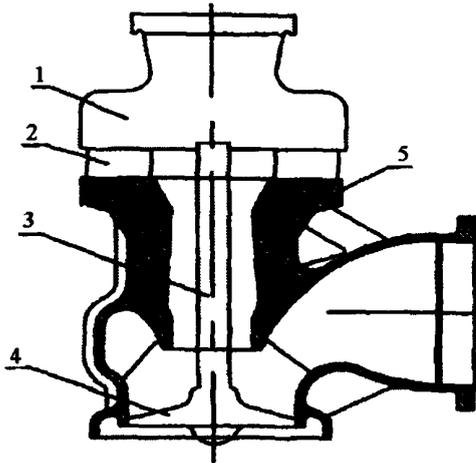
### 2.3 工艺方案的确定

#### 2.3.1 工艺施工图

工艺施工图见图 1、图 2 所示, 两种方案对比试验选择合理的工艺。

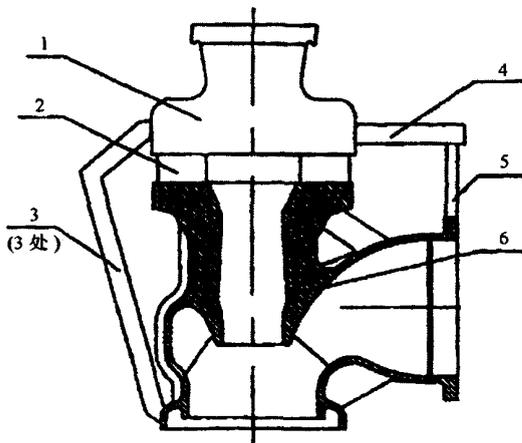
收稿日期: 2003-11-18; 修回日期: 2004-01-30。

作者简介: 杨永平 (1971-), 男, 工程师, 研究领域为铸造技术。



1—浇冒口；2—上内浇口；3—直浇道；  
4—下内浇道；5—铸件

图1 工艺施工图A



1—浇冒口；2—上内浇口；3—侧浇道；  
4—横浇道；5—直浇道；6—铸件

图2 工艺施工图B

在工艺施工过程中，根据合金的凝固特性及铸件结构特点，保证金属液平稳、快速充型，利用浇注系统和冒口对易产生缩孔的部位进行补缩。在铸件毛胚的结构处理上，增加补贴块，以使金属液补缩通道畅通。

图1主要考虑使金属液充型平稳，避免飞溅和冲击型腔，采用上下两个内浇道，使底注和顶注结合，在上内浇口加冒口进行补缩，以避免铸件内产生缩孔（松）。

图2采用侧浇道代替图1的直浇道，主要因为图1中直浇道与铸件间的间隙很小，制壳时不便于挂浆、撒砂、干燥，且型壳厚度受限，浇注时易破裂，使铸件浇不足。

### 2.3.2 制壳工艺

铸件尺寸和表面质量主要靠型壳保证，因此型壳面层和加固层全采用了硅溶胶粘结剂及制壳工艺，以获得优质型壳。通过对面层涂料粉液比的调整，以使涂料有良好的涂挂性，能均匀紧密地涂挂在熔模表面，厚度适宜，不堆积、流淌，保证型壳表面光滑。通过对加固层涂料粉液比的调整，确定合适的参数使模壳具备高的高温强度，保证浇注时不破裂，同时具有低的残留强度，以减少脱壳清理的劳动强度。

方案一：面层涂料粉液比：3.1；加固层涂料粉液比：3.0~2.7；

方案二：面层涂料粉液比：3.3；加固层涂料粉液比：3.1~2.7。

### 2.3.3 撒砂粒度及种类确定

撒砂粒度的确定需要考虑级配合理，才能够保证型壳强度和透气性兼而有之。在研究过程中确定如下：

- 一层：70/140目锆英砂；
- 二层：60/80目上店砂；
- 三层~四层：20/40目上店砂；
- 五层~六层：8/10目上店砂；
- 七层~九层：3/5目上店砂；
- 十层：封浆。

对于材料的选用依据2.4.2的要求执行。

### 2.3.4 熔炼工艺主要针对真空度、精炼过程、浇注温度进行对比试验，寻找合适参数

方案一：真空度1Pa；精炼时间10min；浇注温度1580℃。

方案二：真空度5Pa；精炼时间15min；浇注温度1550℃。

方案三：真空度1Pa；精炼时间20min；浇注温度1550℃。

## 2.4 原材料选用

原材料包括金属材料和非金属材料两大类，在原材料选用方面，主要依据资料中提供的数据和进行了系列工艺调研，选用了优质的原材料进

行工艺研究。

#### 2.4.1 金属材料

我们自己不具备材料研究的技术能力, 主要根据设计提出的要求, 委托北京钢铁研究总院六室进行该方面的研究, 双方就研究的内容和技术指标签定了技术协议, 协议号为: S—08—03—98。合金要求采用真空熔炼以与我们的工艺研究方式保持一致, 对材料的质量要求, 在协议中明确规定。

#### 2.4.2 非金属材料

非金属材料主要包括硅溶胶、锆英粉、锆英砂、上店砂、润湿剂及消泡剂

硅溶胶: 对武汉华工厂、河南省长垣县精细化工厂、西北工业大学生产的产品进行了对比性试验, 选用了河南省长垣县精细化工厂的产品。

锆英粉、锆英砂: 主要技术指标控制  $ZrO_2$  的含量在 66% 以上, 选用了澳大利亚生产的锆英粉、锆英砂。

上店砂选用耀县的产品。

润湿剂及消泡剂: 润湿剂使用秦皇岛铸业达公司的产品, 消泡剂使用正辛醇。

### 3 工艺试验过程

#### 3.1 工艺流程

制模→精整→涂料制壳→脱模→低温焙烧→造型→高温焙烧→浇注→清理→X 光透视→热等静压→X 光透视→荧光检查→热处理→终检

#### 3.2 制模

首先使用 EDS 公司的 Unigraphics 三维软件 (简称 UG) 生成铸件的三维 CAD 模型, 然后将其转化输出成快速原型制造系统所能接受的数据模型 (STL 文件格式)。用专用软件给模型放综合收缩率, 加上防止蜡模变形、开裂的工艺筋, 为了防止脱蜡时胀裂型壳, 对模样壁厚处进行镂空, 将模型沿 Z 方向“切”成设定厚度的一系列的片层, 将每片片层的信息传送到快速成型机中去, 由成型机中的工控机控制激光束, 按片层的信息在热塑性材料的粉末上扫描, 将粉末烧结成片, 下一层以同样的方法制造。直至制成整个立体模样。再经过精粉、浸蜡、表面打磨, 得到成品蜡模。经检测, 尺寸和表面光洁度符合铸件要求。

#### 3.3 制壳

##### 3.3.1 硅溶胶涂料的配制

涂料配制是让涂料中各组分均匀分散, 充分相互混合和润湿。加料顺序为硅溶胶、润湿剂、锆英粉、消泡剂。加锆英粉时一定要将粉料分散搅开, 防止结块。搅拌时间应大于 24 小时才能使用。工艺研究过程中, 按照 2.3.2 的参数, 针对不同的层选取不同的比值配料, 进行了对比试验。粉料和硅溶胶根据 2.4.2 的要求采购。

##### 3.3.2 制壳过程

在制壳过程中, 粉液比按 2.3.2 的两种方案各进行一组, 撒砂粒度及种类依据 2.3.3 的参数进行, 其它主要工艺参数控制如下:

环境温度:  $21^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ; 湿度: 50%~70%;

涂料流动性: 使用流量计进行测量

一层~二层: 100s~130s;

三层~四层: 70s~90s;

五层~十层: 60s~80s。

每一层涂完后的干燥时间不低于 12h, 并根据具体情况决定使用电风扇吹风, 以使空气对流, 加强干燥效果。

同时制壳过程中, 为保证层与层之间的连接强度, 在二到六层涂料前, 用硅溶胶溶液润湿型壳表面。

##### 3.3.3 型壳焙烧

型壳焙烧分为低温和高温两种。低温焙烧的主要目的是为了型壳具有一定的强度, 以便对型壳进行检查和工艺处理; 高温焙烧是为了使型壳具有抗高温金属液冲击的强度。研究过程中的主要工艺参数控制如下:

###### 3.3.3.1 低温焙烧

(1) 型壳装炉时, 炉膛温度应不高于  $300^{\circ}\text{C}$ ;

(2) 将测温仪表定于  $1100^{\circ}\text{C}$ , 送电升温至设定温度;

(3) 在设定温度根据模壳大小保温 1h~2h;

(4) 断电, 使型壳随炉冷却。

###### 3.3.3.2 高温焙烧

(1) 型壳装炉时, 炉膛温度应不高于  $300^{\circ}\text{C}$ ;

(2) 在  $350^{\circ}\text{C}$ 、 $550^{\circ}\text{C}$ 、 $750^{\circ}\text{C}$ 、 $950^{\circ}\text{C}$  温度段保温时间不低于 1h;

(3) 在 1100℃保温时间不低于 4h;

(4) 在 950℃保温等待浇注。

### 3.4 熔炼浇注

按照 2.3.4 的参数进行对比试验

合金的熔炼浇注过程是在型号为 ZGJB1.4—250—2.5 的真空感应铸造炉中进行, 主要工艺参数控制如下:

(1) 真空度: 按 2.3.4 要求进行对比试验。

(2) 合金精炼: 按 2.3.4 要求进行对比试验。

精炼过程在合金全部化清后进行, 主要控制温度和真空度。温度通过调整功率进行控制, 精炼时的功率控制为 60kW~80kW; 精炼阶段的真空度越高合金的精炼效果越好。

(3) 浇注: 浇注时间: 60s; 浇注温度: 工艺值为 1580℃、1550℃, 浇注完成后必须静置 20min 以上才能出壳。

### 3.5 铸件的检验及后处理

(1) 铸件检验: 铸件必须经过目视表面检查、X 光透视检查、荧光检查。铸件检查依据 S—08 铸件技术要求的 I 类 A 级。

(2) 铸件后处理: 铸件后处理主要包括热等静压、热处理、水吹砂。目的是提高铸件的表面质量和机械性能。

## 4 试验及其结果分析

### 4.1 表面质量

铸件的表面质量主要受到型壳表面质量的影响, 由于在制壳过程中对表面的控制比较好, 研制的铸件表面状态良好。

### 4.2 内部质量

在研制过程中, ZGJB1.4—250—2.5 真空感应铸造炉状态一直不好, 主要体现在真空度不能够满足工艺要求, 测温系统不能投入使用。以至于生产过程中对铸件影响最大的两项参数得不到有效控制, 制约了通过工艺改进提高铸件内在质量的效果。使得 X 光透视检查时发现铸件的内部缺陷严重, 必须采取补救措施才能够满足使用要求。

### 4.3 机械性能指标

依据 S—08 铸件技术要求的指标要求, 在铸件浇冒系统上按技术要求的规格切取试棒, 送交计量理化部门进行测试, 性能指标均高于技术要求中的标准值。

### 4.4 结果分析

通过反复工艺试验, 我们发现对铸件质量影响最大的工艺参数主要有真空度、浇注温度和精炼过程控制, 但由于客观因素制约对这三个参数虽然我们制定了试验方案, 并没有取得最终结果, 需进行进一步工作。而对于制壳的工艺参数, 由于没有试验仪器进行测量, 我们主要通过对铸件的表面状况和清理时的模壳强度进行观察, 做出判断, 确定了 2.3.2 的方案一。对工艺施工图 1、2 进行试验后, 在对铸件内部质量对比的基础上确定为工艺施工图 1 的方案。

目前, 虽然对煤油泵低压壳体的真空熔模精密铸造工艺有了一定的认识, 但生产的铸件质量存在有许多问题, 其产生的主要原因在于设备保证能力不足, 当然也有在工艺上我们没有认识到的因素。还需要在此方面进行研究工作, 对设备进行改造, 提高抽真空能力, 使其能够满足工艺要求; 改进测温机构, 使熔炼过程的控制更有效。同时在工艺设计上需要进行更进一步的研究工作, 提高铸件的凝固过程的合理性, 增加补缩效果, 进一步的提高铸件的内在质量。总之, 生产高质量的铸件, 一方面需要高质量原材料保证, 工艺必须合理可行。另一方面, 对熔模精密铸造而言, 环境和设备的保证能力是非常重要的。

## 5 结论

通过对环境条件、真空度、浇注温度进行严格的控制, 再选用优质的原辅材料, 配以合理的工艺技术, 能够生产出高质量的真空熔模精密铸造件。在研究过程中受到许多客观条件的限制, 结果并不理想, 但为以后使用真空熔模精密铸造工艺生产高要求的大型、复杂内腔铸件奠定了基础。