

# S-08 钢真空熔模精密铸造工艺研究

高怀胜

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 通过工艺试验和系统分析, 研究出一套用真空感应铸造炉生产 S-08 钢铸件的工艺方法, 解决 S-08 钢真空熔模精密铸造过程中的关键工艺技术问题, 使 S-08 钢铸造的液氧/煤油发动机低压壳体、氧主阀下壳体等关键铸件满足高压、高冲击的负荷指标。

**关键词:** S-08 钢; 液氧/煤油发动机; 真空熔模; 铸造工艺

**中图分类号:** V461      **文献标识码:** B      **文章编号:** (2004)05-0046-04

## Process of S-08 Steel Precision Cast by Molten Mould in Vacuum

Gao Huaisheng

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** After technical tests and systematical analysis, the process for S-08 steel vacuum induce furnace casting is found out, the key technology problems for S-08 steel vacuum molten mould precision casting are then solved. All of these make the key S-08 casting parts, such as low pressure and main Lox valve cases of Lox/kerosene LRE, fulfill the high pressure and impact loading requirements.

**Key words:** S-08 steel; LOX/kerosene engine; molten mould in vacuum; process of cast

### 1 引言

S-08 钢主要用于液氧/煤油发动机的低压壳体、氧主阀下壳体等关键铸件。该系列铸件不但体积大, 而且要求承受高压、高冲击的负荷, 使用传统的工艺技术满足不了其性能要求。这就对

材质及其生产工艺提出了更高的要求。

在国内, 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, 而且铸件凝固采用了定向结晶等工艺技术的研究。在国外, 前苏联对该领域进行了系统性的研究, 有成熟的工艺技术。我们在进行工艺研究的基础上, 通过重复

收稿日期: 2004-03-10; 修回日期: 2004-07-08。

作者简介: 高怀胜 (1965—), 男, 高级工程师, 研究领域为铸造工艺。

性的工艺试验和系统分析, 研究出一套 S-08 钢的真空熔模精密铸造工艺技术, 解决 S-08 钢真空熔模精密铸造过程中的关键工艺技术问题。

## 2 工艺研究条件

S-08 钢的主要成分有 Cr、Ni、Mo。在液氧/煤油发动机的铸件中 S-08 应用广泛, 主要有壳体类、阀类及其它一些结构形式的复杂零件。这些零件的工作条件恶劣, 对合金的常温和低温性能要求很高, 同时, 许多铸件存在有仅仅 2mm 左右的薄壁, 对合金的流动性及浇注温度要求亦很高。本工艺研究主要通过对设备的要求及熔炼工艺过程的研究, 总结出一套生产大型、薄壁、结构复杂的及设计要求很高的 S-08 钢铸件的铸造工艺。

工艺研究设备及材料地选用: 设备主要包括一台熔炼用 150kg 的半连续式真空感应熔炼炉和一台焙烧模壳用的高温焙烧炉等。熔炼用合金原材料选用成品合金棒料。主要的辅助材料是脱氧剂, 选用了纯铝、石墨碳、Ni-Mg 中间合金。

## 3 工艺试验

熔炼 S-08 钢的主要工艺流程是通过控制熔炼温度、真空度、精炼过程、脱氧过程、氩气保护、浇注温度等主要参数的有效控制, 熔炼浇注出符合使用要求的铸件。试样的热处理制度为: 固溶+时效+冷处理。

### 3.1 熔炼温度

熔炼温度的控制主要考虑为合金在熔化过程中内部气体能充分排出, 并保证原材料的元素烧损在允许范围之内。在熔化过程中, 主要采取熔炼前期低功率慢速熔化, 熔炼后期高功率快速熔化, 合金处理完毕迅速浇注。

### 3.2 真空度控制

当合金在熔化时真空度过高, 元素挥发严重, 导致合金化学成分不能满足要求; 而真空度过低, 合金液中的气体不能够充分排出, 带入到铸件中形成铸造缺陷。因此综合考虑各项试验因素, 确定应把熔炼过程中真空度控制在 1Pa~6Pa。

### 3.3 精炼过程控制

精炼是合金熔炼过程中的一个重要环节, 其主要目的是通过合金液的精炼处理, 消除在熔化过程中合金液内部残留的气体。主要的控制参数为: 真空度、功率、时间。具体如下:

真空度: 保持一定的真空, 气体容易从合金液内部逸出, 一般控制为 5Pa。

功率: 功率的控制主要以合金液保持平稳为目的, 控制为 80kW。

时间: 时间的控制主要是既要保证合金液中的气体能够充分逸出, 而又不能太长, 以免合金液停留时间过长, 元素烧损严重。最好控制参数为 15min~20min。

### 3.4 脱氧过程控制

脱氧的目的主要是将附着于主体元素上的氧元素去除, 避免产生缺陷带入铸件本体。其主要控制如下:

脱氧剂: 纯铝和 Ni-Mg 中间合金。

加入量: 纯铝为合金液的 0.15%~0.25%, Ni-Mg 中间合金的加入量为合金液的 0.2%~0.3%。

加入方式: 真空状态下通过加料室加入。

加入过程控制: 脱氧剂的加入时机必须掌握恰当, 才能既取得好的脱氧效果, 又不至于带来其它的副作用。由于脱氧剂的熔点与合金液相差太大, 必须使合金液表面结膜才可加入脱氧剂。

其中使用 Ni-Mg 中间合金脱氧时由于反应剧烈必须采取氩气保护措施, 氩气的充入值为  $4.799 \times 10^4$  Pa 以上。

### 3.5 浇注温度

浇注温度的选择要依据铸件的结构及壁厚情况进行确定。此处一般选择参数为: 熔点 60 ~ 80 。

## 4 S-08 钢的真空熔模精密铸造工艺

### 4.1 制模

研制阶段用快速成型技术制模, 批生产阶段用高压液态压蜡机制模, 模料选用进口原料, 射蜡温度控制在  $60 \pm 2$ , 射蜡压力依据蜡模的大小进行适当调整。

### 4.2 制壳

制壳采用全硅溶胶工艺，主要工艺参数如下：

粉液比：面层 3.2~3.6；加固层：2.4~3.2，粉料选用锆英粉。

制壳层数：依据铸件大小不等，一般控制在7~10层。

模壳焙烧：最高温度 1100℃，保温 30min~60min。

### 4.3 模壳浇注

模壳浇注温度：依据铸件的大小及壁厚情况，模壳出炉温度一般控制在 900℃~1000℃。

### 4.4 铸件清理

使用震壳机完成清壳，铸件表面通过三元震动处理及水吹砂达到进一步提高铸件表面质量的目的。

## 5 试验结果及分析

在对 S-08 材料真空熔模精密铸造的工艺研究过程中，主要进行了成分控制和性能检验，并对材质的铸造工艺参数进行了验证。

### 5.1 化学成分

在多次试验验证的基础上，依据 S-08 钢铸件的技术要求在铸件本体上切取试样，编号为 1、2、3、4、5、6，分别进行光谱分析。测试数据与要求的化学性能指标见图 1、图 2、图 3，从图中曲线对比可以看出，采用合理的真空熔炼工艺所铸造出的合金成分完全满足了设计要求，这就为确保性能指标提供了可靠的前提保障。

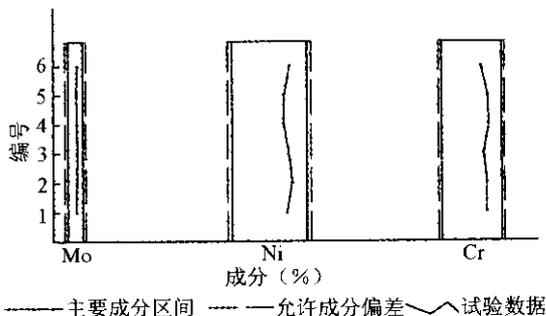


图 1 化学成分试验结果一

Fig.1 Chemic element experiment result 1

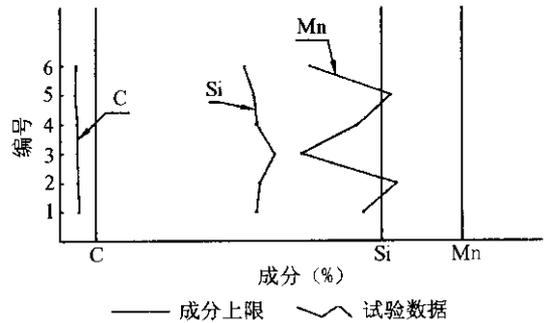


图 2 化学成分试验结果二

Fig.2 Chemic element experiment result 2

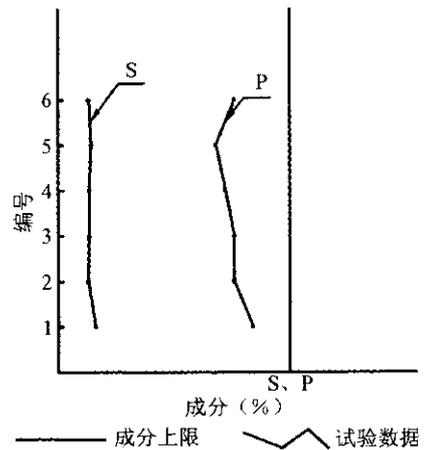


图 3 化学成分试验结果三

Fig.3 Chemic element experiment result 3

### 5.2 性能指标

一般来讲，铸件的浇冒系统的组织及性能要差于铸件本体。为了能够更准确的反映铸件本体的实际性能参数，在铸件的浇冒系统上切取试样，编号为 1、2、3、4、5、6，并对试样分别在室温和低温条件下进行性能测试。测试数据与要求的性能指标见图 4、图 5、图 6。从图中数据曲线进行对比可以明显看出，真空感应熔炼后的 S-08 材质性能值优于原材料性能指标，完全能够满足对铸件机械性能的设计要求。

### 5.3 物理性能

工艺研究过程中，受到客观因素的限制，只

是对铸造工艺中最常用的收缩率及密度进行了测量计算。

密度值:  $7850\text{kg/m}^3$ 。

收缩值: 根据模壳对合金液收缩过程中的阻碍程度不同,S-08 钢材质的收缩值为  $1.3\% \sim 2.4\%$ 。

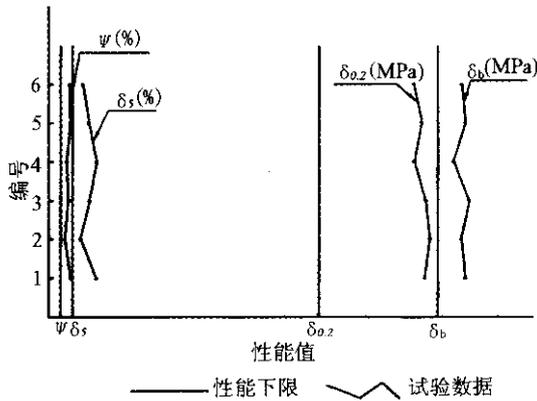


图 4 性能试验结果一

Fig.4 Performance experiment result 1

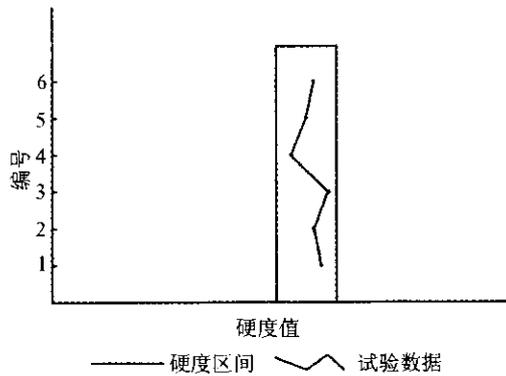


图 5 性能试验结果二

Fig.5 Performance experiment result 2

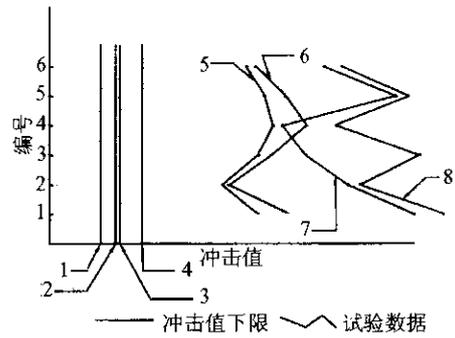


图 6 性能试验结果三

Fig.6 Performance experiment result 3

- 1—低温最小值下限; 2—室温最小值下限;
- 3—低温平均值下限; 4—室温平均值下限;
- 5—低温最小值; 6—低温平均值;
- 7—室温最小值; 8—室温平均值

## 6 结论

通过对环境条件、真空度、精炼、脱氧、浇注温度进行调整和通过重复性试验,可以得出以下结论:

- (1) 制壳过程中环境温度控制范围可以放宽到  $20^{\circ}\text{C} \sim 27^{\circ}\text{C}$ ; 湿度  $35\% \sim 75\%$ ;
- (2) 合金的浇注温度最佳值控制范围为: 熔点  $50^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ;
- (3) 精炼真空度控制为  $2\text{Pa} \sim 6\text{Pa}$ ; 浇注真空度可以放宽要求, 一般为:  $2\text{Pa} \sim 10\text{Pa}$ ;
- (4) 使用有效的后处理工艺方法, 提高铸件的表面质量;
- (5) S-08 材质的铸造性能良好, 在确保母合金质量的前提下, 使用真空熔模精密铸造工艺可以使成分及性能得到保证。

(编辑: 侯早)