

# 电工纯铁熔模铸造技术及缺陷防止

南昌航空工业学院材料科学与工程学院 (江西 710077) 聂小武

**【摘要】** 介绍电工纯铁的性能, 研究电工纯铁精密铸造中的熔炼及热处理工艺参数, 总结电工纯铁精铸件的质量控制措施, 并分析生产中常见的缺陷及产生原因, 提高了铸件质量。

电工纯铁是电磁继电器的主要结构材料, 其磁性能的优劣是产品的一项关键指标。我厂是一家军工企业, 生产电工纯铁精铸件已有多年的历史, 在生产中我们发现, 电工纯铁的铸造性能明显差于低碳钢, 表面气孔问题是电工纯铁精铸件的主要缺陷, 如我厂某项产品的结构虽然简单, 但多次由于表面气孔缺陷而出现成批报废, 且几乎没有这方面的铸造工艺文献供参考。为解决气孔缺陷, 我们曾尝试采用由工频炉熔炼后再到真空炉中浇注的工艺, 但效果依然不明显。最终, 经过调整配料及改进操作后, 目前已比较成熟地掌握了其生产工艺操作技术。

## 一、电工纯铁的特性

电工纯铁在常温下平衡组织为铁素体或铁素体加三次渗碳体, 具有较低的矫顽力, 高的磁导率, 高的饱和磁感应强度, 良好的塑性, 价格低廉。因此, 它已成为现代电信、电控、电真空技术等行业不可或缺的重要材料之一。

由电工纯铁的冷却曲线(如图1所示)可以看出, 纯铁在1538℃时结晶为 $\delta$ -Fe, 它是体心立方晶格结构; 当温度继续冷却到1394℃时,  $\delta$ -Fe转变为面心立方晶格的 $\gamma$ -Fe; 当温度继续降低至912℃时,  $\gamma$ -Fe转变为具有面心立方晶格的 $\alpha$ -Fe。因此, 电工纯铁铸件的浇注温度应大于1538℃, 退火温度应在912℃左右为宜。

## 二、电工纯铁的熔炼工艺

### 1. 电工纯铁的配料

在实际生产中我们发现, 电工纯铁的配料对铸件质量有重要的影响。根据自发磁化理论和技术磁化理论,

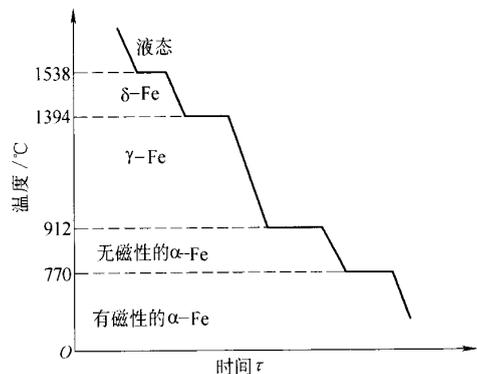


图1 电工纯铁的冷却曲线

电工纯铁中有害杂质的存在会影响晶粒长大, 当加上一个外磁场使畴壁移动时, 畴壁的面积增大, 能量增高, 会给畴壁迁移造成阻力。因此, 杂质的减少将改善金属的磁畴结构, 降低畴壁能, 使磁畴取向容易进行, 从而提高磁性能。我厂生产的电工纯铁精铸件的材质是ZDT-1, 配料原料采用DT-4棒料及合金元素。实际上, DT-4材料的化学成分是满足ZDT-1要求的, 但是从烧损及脱氧的角度出发, 我们进行了适当的调整。一方面, 增加C和Mn元素的含量, 将它们调整到 $w_C = 0.02\%$ 、 $w_{Mn} = 0.20\%$ ; 另一方面, Al元素的用量是关键因素, 对铸件质量好坏的影响很大。以往, 我们按照标准的要求取上限, 即取 $w_{Al} = 0.5\%$ , 结果发现铸件浇注后Al的含量(质量分数)总是 $< 0.12\%$ 。因此, 我们将Al的含量选为 $w_{Al} = 0.7\%$ , 光谱分析的化学成分结果为合格, 而且铸件表面气孔有明显减少的趋势。最终, 调整为 $w_{Al} = 0.8\%$ 较理想。

我厂采用在酸性炉衬内熔炼, 配料要求 $w_C \leq$

0.038%,  $w_{Si} \leq 0.1\%$ ,  $w_{Mn} \leq 0.20\%$ ,  $w_{Cu} \leq 0.12\%$ 。新料重量  $\geq 30\%$ , 回炉料重量  $\leq 70\%$ , 所有炉料均应干燥、清洁, 有污物锈蚀应经吹砂清理, 以防给金属液带入气体或杂质。此外, 若含硫量有微量超标时, 可加入  $w_{Mn} = 0.1\% \sim 0.15\%$  进行除硫。

## 2. 电工纯铁的熔炼

(1) 按配料单领取炉料, 加料顺序为先加新料再加回炉料, 补加的合金元素可放在炉台上预热。

(2) 使用工频感应电炉熔炼时, 先放炉块, 炉料一次不能加完时, 可在熔化过程中逐渐加入。炉料一旦开始熔化要立即加熔剂覆盖金属液面, 熔剂的成分可选用含量为 100% 的硅砂或硅砂与碎玻璃的混合物。熔剂应清洁, 使用前需在 200 ~ 300℃ 的温度下焙烧, 除去水分, 防止因含有水分而在熔化的过程中产生气体。在整个熔化的过程中, 应经常使用带有绝缘橡皮的钳子活动炉料, 以防炉料搭桥。

(3) 当合金全熔后进行除渣, 在温度达 1560 ~ 1570℃ 时加入锰铁、硅铁等进行撇渣和脱氧 (见下表)。升温至 1630℃ 时迅速除渣并出炉浇注, 这是很关键的一环, 这个过程要迅速升温, 不能耽搁的时间太长, 否则容易造成合金液吸气, 使铸件表面的气孔增加。此外, 应在预热的浇包中加入金属液重量 0.04% ~ 0.05% 的硅钙和 0.04% ~ 0.05% 的铝进行补充脱氧。

脱氧剂	加入温度/℃	用量 (占炉料重量, %)
锰铁	1585	0.10 ~ 0.15
硅铁	1600	0.03 ~ 0.05
硅钙	1615	0.08 ~ 0.10

另外应注意, 加入硅钙终脱氧时, 由于与金属液反应激烈, 应在炉子上加盖子以防金属液溅出伤人。

## 三、电工纯铁精铸件的热处理

电工纯铁精铸件热处理的主要目的是为了消除铸造应力, 稳定组织, 以获得理想的力学性能和磁性能。电工纯铁退火的通用工艺规范如图 2 所示。

(1) 装箱 待热处理的铸件应去掉型壳、锈蚀、油污等, 且应该是干燥的。退火箱由  $w_C < 0.25\%$  的钢板焊制, 长方形, 有盖, 上口外部边缘周围有砂槽, 便于上盖后密封。在退火箱底铺一层厚约为 40mm 的砂子, 且砂子应洁净、干燥, 粒度为 1.70 ~ 3.35mm (6/12 目)。铸件整齐排列在箱内, 铸件之间应保持适当的间隙, 用

砂子填实, 在最上层铸件覆盖不小于 50mm 厚的砂子。轻轻震动箱子, 盖上箱盖, 箱盖与退火箱之间的间隙用砂子密封。另外, 易变形的铸件要用夹具进行装箱。

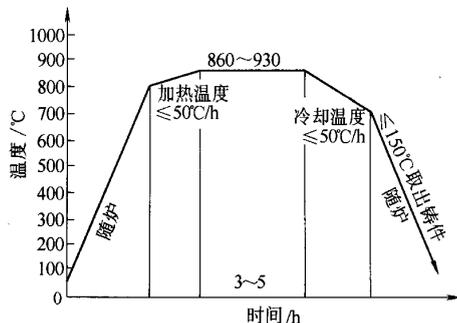


图 2 电工纯铁退火的通用工艺规范

(2) 装炉 退火炉为砖砌箱式电阻炉。采用电加热方式, 既方便控制温度, 又无有害气体产生, 对提高磁性能有利。铸件装炉温度不超过 600℃, 退火箱之间及退火箱与炉膛壁应保持有适当距离。

(3) 退火温度与时间 我们将铸件的退火温度选定为  $910\text{℃} \pm 10\text{℃}$ , 保温时间为 3h。

(4) 冷却 随炉冷却到 500℃ 出炉空冷, 至 150℃ 以下开箱。

## 四、电工纯铁精铸件的检验

### 1. 化学成分

我厂生产的该铸件的材质为 ZDT-1, 化学成分要求如下:  $w_C \leq 0.04\%$ ,  $w_{Si} \leq 0.30\%$ ,  $w_S \leq 0.03\%$ ,  $w_P \leq 0.025\%$ ,  $w_{Mn} \leq 0.30\%$ ,  $w_{Cu} \leq 0.20\%$ ,  $w_{Al} = 0.15\% \sim 0.50\%$ ,  $w_{Ni} \leq 0.20\%$ ,  $w_{Cr} \leq 0.10\%$ 。

### 2. 磁性能

电工纯铁铸件磁性能除了与组织结构有关外, 还与化学成分有关, 有害杂质 (如 C、P、S 等) 是影响磁性能的重要因素。首先取一根试样按 GB3656 的要求测定矫顽力, 对于需保证无磁时效的电工纯铁铸件, 除测定矫顽力外, 还应进行人工时效后检查矫顽力的增值。人工时效的规范为 100℃ 下保温 100h, 然后出炉空冷到室温, 计算矫顽力的增值, 计算的公式为: 时效增值 =  $[(\text{人工时效后的矫顽力} - \text{退火后的矫顽力}) / 95.49] \times 100\%$ 。

退火后铸件的矫顽力  $H_c \leq 95.49\text{A/mm}$ , 人工时效后矫顽力增值  $\leq 10\%$  为合格。

(下转第 66 页)

受力合理,提高了推块部件的刚度,起到安全、平稳、连续输送砂箱和铸型的作用。

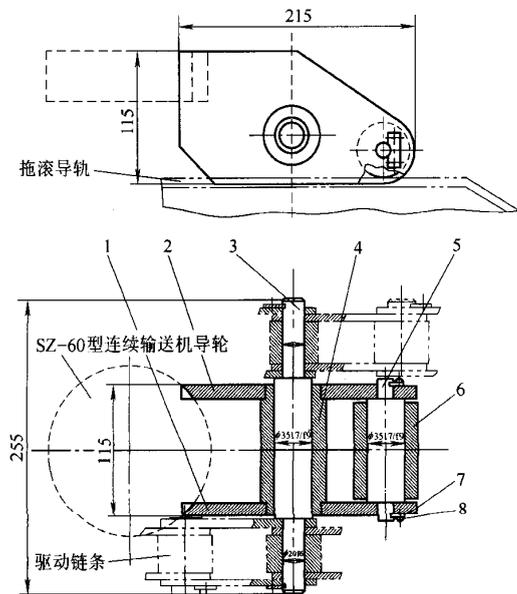


图 3

1. 左推板 2. 右推板  
3. 驱动轴 4. 导轨  
5. 托轴 6. 拖滚 7. 挡板 8. 螺钉

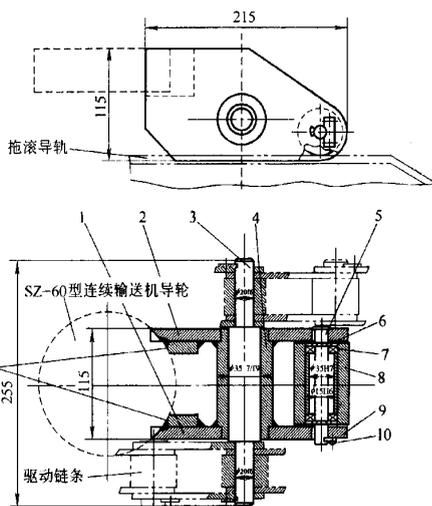


图 4

1. 左推板 2. 右推板 3. 驱动轴 4. 导套 5. 托轴  
6. 轴向挡圈 7. 轴承 8. 托滚 9. 挡板 10. 螺钉

### 3. 使用效果

改进后,经我公司十几年的实际生产应用,冲天炉炉底未因此而漏炉;SZ-60型铸型输送机真正起到了安全、平稳、连续输送砂箱和铸型的作用,且结构合理、简单,满足了使用性能的要求,提高了经济效益,具有较高的实用价值。 (20050820)

(上接第 64 页)

为保证磁性能,铸件经机加工后,应进行退火处理;对于容易引起变形的铸件,应在粗加工后进行高温退火,精加工后进行低温退火。

### 3. 表面质量

铸件表面上不允许有裂纹、冷隔、夹渣、缩松、缩孔及机械损伤等影响使用性能的缺陷存在。

### 4. 内部质量

铸件应组织致密,无影响使用性能的缩孔、裂纹、夹渣及气孔等缺陷。

通过以上工艺改进,电工纯铁精铸件的质量有很大提高,工艺出品率稳定在 80% 以上。

## 五、电工纯铁精铸件的其他缺陷及防止

### 1. 严重氧化

产生的原因:①箱子密封不好、漏气。②铸件表面不清洁。

防止措施:应检查箱子,干燥密封填料,改进装箱方法;应在热处理前清理铸件表面。

### 2. 磁性能不合格

产生的原因:①配料成分不合格。②退火不充分。

防止措施:应复验原材料成分;应再次进行热处理,同时还需检查化学成分。

### 3. 铸件弯曲处出现桔皮状

产生的原因:退火的温度过高,铸件晶粒发生再结晶后晶粒长大、变粗。

防止措施:应在铸件未发生弯曲前进行 700~750℃ 的低温退火,弯曲后可按图 2 温度退火补救。

### 4. 铸件脆性增大

产生的原因:①有针状夹杂物。②退火温度过高。

防止措施:应检查原材料,并对原材料进行吹砂处理;应按规范选定恰当的温度进行退火。

(20051020)