# 电磁阀用软磁合金热处理工艺

首都航天机械公司 （北京 100076） 王昌辉 刘晓霏 刘 权

采用软磁合金材料制作的阀芯、挡铁、导向筒及线圈骨架等是发动机电磁阀上的主要零部件，其制造工艺的好坏直接影响电磁阀功能的实现。电磁阀通电、断电时，衔铁产生线性位移，实现打开或关闭管路，从而控制发动机中有关阀门的动作。采用软磁材料制造的这些零件因为具有良好的磁性能，发动机才能正常工作。热处理是提高此类材料磁性的关键工序之一，热处理方案的选取，参数的择优，以及操作的规范等都将影响材料性能。

## 1. 软磁材料特性分析

软磁合金是重要的金属功能材料之一，在航空航天、航海以及国防科技领域都得到了普遍应用，尤其在关键零件制造上更是发挥了至关重要的作用。

电磁阀中所用的磁性材料，对其磁性能的要求始终是最重要的。在实际应用中，材料的磁性与其他性能（如耐蚀性、力学性能等）之间有着复杂的制约关系。另外，由于冶金技术、材料使用环境等因素，使得材料在提高磁性能上显得更加复杂、易变。因此，抓住热处理这个影响材料磁性的主要因素便显得十分重要。

在发动机生产中，所用的磁性材料主要有 1J50 和 1J117 两种，其化学成分见表 1。

**表 1 软磁合金 1J50 和 1J117 化学成分**（质量分数） （%）

| 材料 | Ni | C | S | P | Mn | Si | Cu | Cr | Ti | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1J50 | 49.0～50.5 | ≤0.03 | ≤0.02 | ≤0.02 | 0.30～0.60 | 0.15～0.30 | ≤0.2 | — | ≤0.2 | 余 |
| 1J117 | 0.50～0.70 | ≤0.03 | ≤0.02 | ≤0.02 | 0.30～0.70 | ≤0.15 | — | 17.0～18.5 | 0.30～0.70 | 余 |

1J50 属于铁镍软磁合金，而 1J117 属于耐蚀软磁合金，此类合金进行高温退火的目的是将合金加热到再结晶温度以上保持一定时间，随后以一定的速度进行冷却，从而达到充分消除内应力，改善组织，净化材质，控制一定的有序度，达到获得所需磁性能的目的。

根据设计技术条件的要求，所需 1J50 和 1J117 的性能见表 2、表 3。

**表 2 软磁合金 1J50 磁性能要求**

| $\mu_{0.4}$/mH·m$^{-1}$ | $\mu_{max}$/mH·m$^{-1}$ | $B_s$/T | $H_c$/A·m$^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| ≥3.1 | ≥31.3 | ≥1.5 | ≤14.4 |

**表 3 软磁合金 1J117 磁性能要求**

| $B_{240}$/T | $B_{800}$/T | $B_{3200}$/T | $H_c$/A·m$^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| ≥0.9 | ≥1.0 | ≥1.25 | ≤80 |

注：240、800、3200 代表磁场强度，单位 A/m。

## 2. 软磁合金热处理工艺试验

（1）软磁材料加工流程 典型软磁合金的热处理加工流程为原材料→粗加工→去应力→精加工→高温退火→磁性能检测→装配。高温退火工序为最终热处理，一旦出现失误，必然导致零件的报废，造成损失。由于高温退火是在零件精加工之后，为保证零件表面质量，只有采取真空热处理和可控气氛热处理两种方式。

虽然可控气氛热处理中的还原气氛对材质的净化效果更为明显，磁性能的增长效果比真空热处理要略好一些，但综合考虑到控制精度、操作方便性及成本，最终采取了真空热处理方式。

（2）真空退火 高温、长时间退火可以使软磁材料的磁性能得到很好的发挥，但是对设备的要求极高。若真空设备长时间高温运转，很容易产生各种故障，从而导致零件的报废。综合考虑选用退火工艺（1100～1140）℃ ×（4～7）h，既能保证产品性能，又有利于设备的正常运转。

（3）冷却 在退火降温过程中，软磁合金内部晶

# 感应淬火技术在风电增速齿轮箱内齿圈上的应用

南京高速齿轮制造有限公司 （江苏 211100） 袁 强 刘 臻

在齿轮强化的方法中，感应淬火与调质、渗碳、渗氮一起构成四大基础工艺。考虑到生产实际，在风电增速齿轮箱内齿圈的批量生产中，采用渗氮或感应淬火工艺可以获得比较高的生产效率及较低的生产成本。具体采用何种工艺主要由客户要求、自身工艺控制水平及生产效率成本等因素而定。根据ISO 6336标准，对于模数大于16的齿轮件就不再推荐使用渗氮工艺来提高表面硬度，故对模数大于16的内齿圈推荐采用感应淬火工艺进行加工。

## 1. 感应淬火工艺

风电增速齿轮箱内齿圈一般采用逐齿/隔齿沿齿沟扫描技术进行感应淬火。感应器采用仿形法设计制造，其中一种可行的方案大体结构如图1所示。

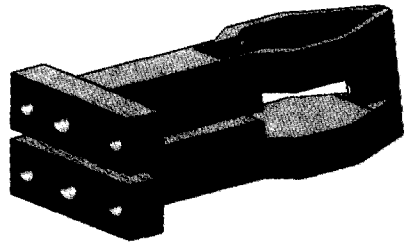
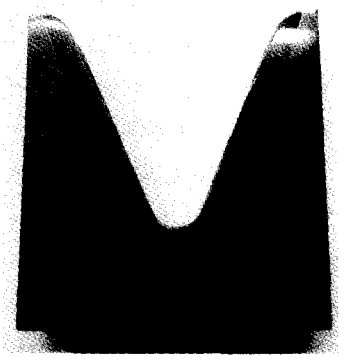


图1 内齿圈感应淬火用感应器结构示意

采用设计制造合理的感应器，配合精确的工艺参数控制，可以生产质量优良、稳定的感应淬火齿圈。目前，我公司内齿圈感应淬火技术已接近成熟，可加工出沿齿槽层深均匀，组织细密，深度满足设计要求的零件。切割齿圈制样，腐蚀后热形显示如图2所示。



2 感应淬火内齿圈齿槽截面热形图

为达到较好的感应淬火结果，生产时需根据感应淬火设计要求针对如下工艺参数进行选择。

（1）电流频率 由感应电流透入深度计算。针对内齿圈数毫米级的工艺层深要求，一般采用中频感应电源进行加热。

（2）感应器与零件间隙 由工艺试验确定。考虑到现场生产控制水平，机床精度限制及零件热辐射对感应器的影响，推荐各处间隙保证在1.5mm以上。

（3）加热功率及扫描速度 由工艺试验确定。扫描速度影响生产效率，加热功率影响零件开裂风险，因此要综合考虑各因素后选择最合适的参数。

（4）加热－淬火间隔 影响零件开裂风险。通

---

粒得到有序排列，进而增强磁性能。尤其在500～600℃阶段，需缓慢降温，使晶粒有序排列充分，才能最大限度地发挥材料的性能。

整个退火过程中，操作也是一个不容忽视的问题，每个细节都应该精心考虑，比如零件的摆放位置、所用夹具的材质，以及洁净的操作空间等。

## 3. 结语

用于磁性能检测的试件与零件进行同炉热处理，其圆环平均直径与径向宽度比应≥8。经检测，采用上述退火工艺的两种软磁材料磁性能完全满足设计要求指标。**MW**

（20120416）