



交叉滚子轴承圈滚道 中频感应加热淬火

武汉船用机械厂 李进福

5CrMnMo 或5CrNiMo钢交叉滚子轴承,多用于各种旋转机械的回转支承,一般尺寸较大,结构复杂,并在重载和复杂应力条件下工作。本文着重讨论 $\phi 1665\sim 2878\text{mm}$ 轴承圈滚道表面中频感应连续淬火工艺及其质量控制。

轴承圈毛坯用水压机锻造,经等温退火、粗车、超声波探伤后调质处理,精加工后滚道进行表面淬火。

一、 45° 角单排滚道表面中频淬火

图1所示的5CrMnMo钢交叉滚子轴承外圈,调质处理后硬度HB230~270,晶粒度4~6级, $\phi 1665\text{mm}$ 外圈滚道表面淬火宽度为26mm,要求硬度HRC50~60,硬化层深度3.5~6mm,允许有宽度不大于30mm的硬度HRC35~40的淬火软带区,磁力探伤检查应无裂纹,椭圆度小于0.5mm,不平度小于0.15mm。采用BPSD-100/2500型中频发电机组,及淬火变压器(匝比为19:1)、

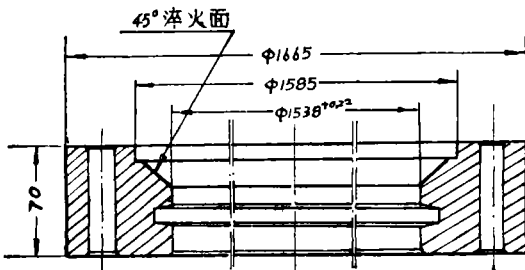


图1 外圈

补偿电容柜、专用淬火转台等辅助装置。

1. 输出功率 $P_{\text{出}}$

根据工厂经验,选用 $12\times 8\times 1.5\text{mm}$ 矩形紫铜管制做如图2所示的水冷式双回线感应器。设备所需输出功率 $P_{\text{出}}$ 与滚道表面加热面积 S 、比功率 ΔP 及淬火变压器效率 $\eta_{\text{变}}$ 和感应器效率 $\eta_{\text{感}}$ 有关。即:



图2 水冷式双回线中频淬火感应器

$$P_{\text{出}} = \frac{S \cdot \Delta P}{\eta_{\text{变}} \cdot \eta_{\text{感}}}$$

式中,取 $\Delta P = 2 \text{ kW/cm}^2$

$$\eta_{\text{变}} = 0.8$$

$$\eta_{\text{感}} = 0.8$$

滚道表面加热面积 $S_1 = 2.6 \times 1.2 \times 2 = 6.24\text{cm}^2$,考虑到感应器工作区间的限制,感应器邻近区域也程度不同的被加热,其面积为 $S_2 = (1 + 0.5) \times 1.2 \times 2 = 3.6\text{cm}^2$,
 $S = S_1 + S_2 = 6.24\text{cm}^2 + 3.6\text{cm}^2 = 9.84\text{cm}^2$ 。

$$P_{\text{出}} = \frac{9.84 \times 2}{0.8 \times 0.8} = 30\text{ kW}$$

设备输出功率可在35~50kW范围内调整。

2. 导磁体

众所周知,导磁体有明显的驱流作用,图2所示的感应器施感导体淬火加热回线部

分所镶嵌的导磁体是用厚度为0.1~0.35mm的硅钢片制做。硅钢片导磁体经磷化和浸绝缘漆,用醋酸洗净后,在施感导体加热回线部分分组镶嵌(3~5片一组)粘合,应插紧牢固,排列整齐,并用玻璃丝带或用其他方法捆紧。每隔3~5mm用云母片隔开,以提高预热回线的效率和预热温度。

3. 喷射淬火形式

双回线型滚道表面中频淬火感应器,可以做成直接喷射淬火和非直接喷射淬火两种形式。在感应器镶嵌有导磁体的淬火加热回线外侧壁小斜面上,钻一排与工作面相成30~35°角的 $\phi 1\sim 1.2\text{mm}$ 的喷液孔(孔间距2.5mm)。淬火液可冷却感应器本体并直接喷射淬火。

当感应器施感导体回线部分截面尺寸较小,淬火液储量又不多时,也可分开做成扁平喷嘴喷射淬火,用绝缘电木板将感应器与扁平淬火喷嘴连接起来,并保持两者间距在3~5mm。

4. 组合淬火装置

外圈的尺寸比较大,厚度比较薄,滚道表面淬火时易形成椭圆和翘曲变形,采用了图3所示的上、下压环与内环组合淬火装置。

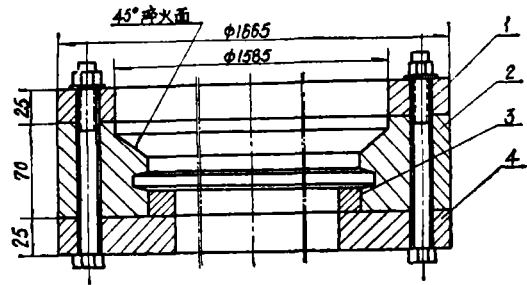


图3 组合淬火装置

当外圈滚道表面淬火结束后,不松开装置上的紧固螺栓,迅速装入大型油炉中回火,及时消除淬火应力,从而减少了外圈淬火变形。

5. 中频淬火工艺

在滚道表面连续渐进预热、加热喷射淬

表1 外圈滚道表面中频淬火热电参数

编号	功率(kW)	电压(V)	励磁电流(A)	电容柜电压(V)	主回路电流(A)	功率因数 $\cos\phi$	备注
1	34	515	3.7	280	70	0.95 (超前)	
2	50	520	3.1	290	115	0.85 (超前)	
3	37	475	2.8	270	112	0.7	补偿电容匹配不当, $\cos\phi$ 值偏低
4	35	475	2.9	270	105	0.7	

表2 外圈滚道表面中频淬火检查结果

编号	回火硬度(HRC)	接头宽度(mm)	接头硬度(HRC)	硬化层深度(mm)	椭圆度		不平度	
					淬火前内径(mm)	回火后内径(mm)	淬火前(mm)	回火后(mm)
1	54~58	边缘 18 中心 10	35~36	4.8	$\phi 1537.56$	$\phi 1537.35$	0.05	—
					$\phi 1537.26$	$\phi 1536.77$		
					$\phi 1537.325$	$\phi 1536.86$		
					$\phi 1536.91$	$\phi 1536.63$		
2	53~57	边缘 20 中心 12	34~35	4.7	$\phi 1537.405$	$\phi 1536.88$	0.05	0.09
					$\phi 1537.37$	$\phi 1537.10$		
					$\phi 1537.47$	$\phi 1537.09$		
					$\phi 1537.435$	$\phi 1536.94$		
3	53~57	边缘 18 中心 10	34~36	4.7	$\phi 1536.69$	$\phi 1536.61$	0.05	0.09
					$\phi 1536.74$	$\phi 1536.52$		
					$\phi 1536.65$	$\phi 1536.53$		
					$\phi 1536.72$	$\phi 1536.56$		
4	53~55	边缘 20 中心 13	35~37	4.5	$\phi 1536.76$	$\phi 1536.63$	0.05	0.1
					$\phi 1536.715$	$\phi 1536.61$		
					$\phi 1536.735$	$\phi 1536.79$		
					$\phi 1536.75$	$\phi 1536.735$		

注 表面淬火后金相组织为马氏体(5~6级),表面及接头区均无裂纹

火, 并调整下列参数:

(1) 用千分表调整校正置于专用淬火转台上的外圈对转台中心的不同心度和不平度到 0.1mm 以下;

(2) 感应器施感导体的工作面与滚道表面间距 $a = 2 \sim 2.5\text{mm}$;

(3) 连续淬火速度 $v = 180 \sim 200\text{mm}/\text{min}$;

(4) 流过淬火扁平喷嘴里的 4% 乳化液的工作压力保持 $2.5 \sim 3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

(5) 中频输出功率为 $35 \sim 40\text{kW}$ 时, 控制预热温度 $650 \sim 750^\circ\text{C}$, 淬火加热温度 $870 \sim 890^\circ\text{C}$ 。这样, 外圈滚道 (展开长度约 4800mm) 淬完一整圈共需 30min 。在大型油炉中进行回火, $160 \sim 180^\circ\text{C} \times 12\text{h}$, 空冷。外圈中频淬火电参数与检查结果列于表 1、表 2。

二、 90° 角双排滚道表面中频淬火

图 4 所示的内齿圈上 90° 双排滚道表面中频淬火, 技术要求和工艺过程与外圈相似。图 5 是内齿圈用 86° 角水冷式双回线双导磁体中频淬火感应器, 制做这种感应器时, 应注意以下两点:

(1) 为了保证内齿圈双滚道的根部淬火质量, 感应器的头部做成 $82 \sim 86^\circ$ 角, 以便深入到双滚道的底部。

(2) 硅钢片导磁体可在感应器施感导体的双回线部分疏密程度不同的镶嵌成三角

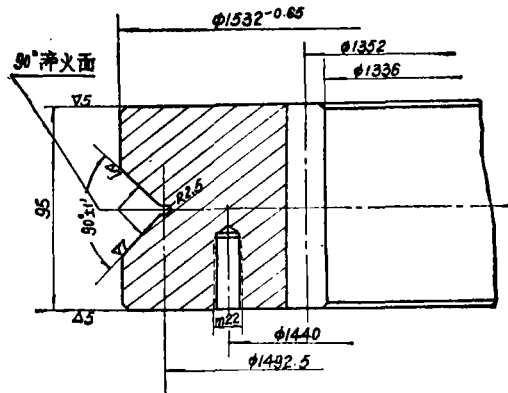


图 4 内齿圈



图 5 86° 角水冷式双回线双导磁体中频淬火感应器

形, 使感应器尖部的磁场增强。

当中频输出功率为 $35 \sim 45\text{kW}$, 淬火温度为 $860 \sim 900^\circ\text{C}$, 感应器与滚道表面间隙 $a = 2.5 \sim 3\text{mm}$, 连续淬火速度 $v = 160 \sim 180\text{mm}/\text{min}$ 时, 内齿圈双层滚道表面中频淬火热电参数与检查结果见表 3、4。

表 3 内齿圈中频淬火热电参数

编号	功率 (kW)	电压 (V)	励磁电流 (A)	电容柜电压 (V)	主回路电流 (A)	功率因数 (cos ϕ)	备注
1	44	570	1.2	310	110	0.7	补偿电容匹配不当 cos ϕ 偏低
2	34	570	2.9	310	60	-0.98	

表 4 内齿圈中频淬火检查结果

编号	表面硬度 (HRC)	硬化层深度 (mm)	接头宽度 (mm)	接头区硬度 (HRC)	椭圆度		不平度		冷却介质	喷射形式	淬完一整圈时间 (min)
					淬火前外径 (mm)	回火后外径 (mm)	淬火前 (mm)	回火后 (mm)			
1	54~57	4.5	边缘 15 中心 10	35~38	$\phi 1535.5$ $\phi 1535.6$	$\phi 1535.7$ $\phi 1535.7$	0.04	0.06	4% 乳化液	喷嘴喷射 火	30
2	56~60	5.5	边缘 18 中心 12	36~40	—	—	0.05	0.06	0.1% 聚乙 烯醇淬火液	感应器直接 喷射淬火	60

三、滚道表面中频淬火质量控制

轴承圈滚道表面中频淬火质量控制因素有淬火温度、连续淬火速度、冷却介质、起步与接头等。

1. 淬火温度

滚道表面中频淬火时，淬火温度愈高，硬化层马氏体就愈粗大，文献[1]指出，采用0.05~0.1%聚乙烯醇淬火液喷射淬火时，不同淬火温度对金相组织及淬火硬度的影响列于表5。

表5 淬火温度对金相组织和淬火硬度的影响

淬火温度 (°C)	金相组织	淬火硬度 (HRC)
1000	粗针状马氏体 + 残留奥氏体	59~65
950	板条状马氏体	64~65
900	针状马氏体	62~63
850	针状马氏体	61~62
830	细针状马氏体	61~62
790	马氏体 + 屈氏体 + 索氏体	55.5

淬火温度超过950°C时，接头区形成淬火弧形裂纹的敏感性增加，淬火温度低于790°C时，硬化层将出现马氏体 + 屈氏体 + 索氏体的混合组织，淬火后硬度降低。5CrMnMo或5CrNiMo钢制轴承圈滚道表面中频淬火温度以850~900°C为宜。

2. 连续淬火速度

在中频输出功率、感应器结构、间隙 a 、淬火温度及喷射淬火介质固定的条件下，连续淬火速度直接影响硬化层深度。淬火速度愈快，硬化层深度越浅。当滚道表面淬火宽度为76mm、输出功率为70kW，间隙 a 为4.5mm，采用0.05~0.1%聚乙烯醇淬火液喷射淬火时，中频连续淬火速度对硬化层深度的影响如图6所示[1]。

中频连续淬火速度选用150~200mm/

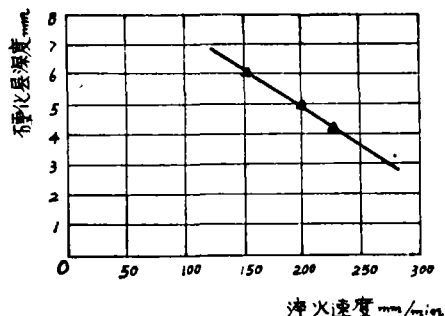


图6 中频连续淬火速度对硬化层深度的影响

min，常用150~180mm/min。

3. 冷却介质

轴承圈滚道表面中频连续喷射淬火液常用0.05~0.3%聚乙烯醇淬火液、4%乳化液或锭子油、机油。其中，以聚乙烯醇淬火液冷却能力最强。

4. 起步与接头

起步与接头是滚道表面中频淬火的关键，往往由于起步与接头不好，形成弧形裂纹或开裂，造成轴承圈报废。

(1) 起步

轴承圈滚道表面中频淬火开始瞬间形成肉眼可见的弧形淬火起步线，并从此开始沿淬火方向形成连续的硬化层。喷射淬火形式不同，淬火起步有两种形式：

① 采用4%乳化液经扁平淬火喷嘴喷射淬火，可在轴承圈运行中起步，转旋速度 $v = 150 \sim 180 \text{ mm/min}$ ，调整中频输出功率，在1~2s内达到额定值(35~50kW)。

② 采用0.05~0.3%聚乙烯醇淬火液经感应器本身直接喷射淬火时，可在轴承圈处于静止状态下起步，滚道表面温度达到780~800°C时，轴承圈立即按规定的淬火速度旋转，并迅速喷射淬火液淬火。这时，中频淬火温度恰好是860~890°C。

无论上述那种起步淬火形式，都可以清楚地看到，刚刚起步淬火的与起步线相重合的滚道表面，产生明显的弧状突起，而且，

伴随着起步时硬化层深度的增加，这种弧状突起更加明显。现场测得，900℃喷射0.1%聚乙烯醇淬火液淬火时，所形成的弧状突起约比软带区高出0.1~0.15mm左右。当淬火温度超过950℃时，这种弧状突起就有可能在接头宽度比较窄时演变成弧形裂纹。

(2) 接头 轴承圈中频淬火即将结束时，只要接头区域的起步线再重叠淬火一次，就有可能在起步线产生弧形裂纹或开裂。

模拟外圈中频淬火接头破坏性工艺试验表明，当滚道淬火宽度较小(5~10mm)，接头淬火时，只要起步线不重叠淬火，并采取相应的有效遮盖措施，产生裂纹的倾向性并不严重；反之，滚道表面淬火宽度很宽，且硬化层深度较深，起步淬火时所形成的弧状突起高出软带区0.15mm时，起步线只要重叠淬火，产生裂纹和开裂的危险性就十分严重。

相切接头是一种比较好的接头方法。起步淬火时，在滚道表面上可以看到起步线外侧8mm左右邻近区有紫兰色的弧形线；接头时，当紫兰色终了弧形线与起始弧形线恰好相切时，立即递减中频输出功率，在1~

1.5s内切断中频输出电流，并立即在接头区感应器与淬火滚道表面的间隙强力喷射淬火液，可以保证接头区硬度HRC35~40，接头宽度10~15mm不致产生裂纹。

四、 结语

(1) 轴承圈滚道表面中频淬火时，采用4%乳化液喷射淬火，硬度可达HRC53~58，采用0.1%聚乙烯醇淬火液喷射淬火，硬度可达HRC57~63。

(2) 单排滚道表面淬火接头宽度以10~15mm为宜。双排滚道表面淬火接头宽度不应小于15mm。

3. 滚道表面局部预热中频连续淬火时，轴承圈的变形量比采用火焰表面淬火小，可控制椭圆度0.1~0.5mm，不平度0.06~0.1mm。

参考文献

- [1] 洛阳轴承厂：重大型轴承圈的中频感应淬火试验总结报告(未发表)1980, 8

大功率高压硅整流器在高频感应加热设备上的应用

沈阳机床齿轮厂 唐永林

过去各型高频电热设备，均采用闸流管作整流元件，存在耗能大(灯丝加热、压降损失大)，工作环境温度要求比较严格(+15~35℃)，反峰压低(15KV)，运输、储

藏条件要求比较高，使用寿命短，易产生逆弧等缺点，很有必要改进。

我们采用大功率高压硅整流堆代替闸流管作整流元件，将原GP100-C3型高频设备

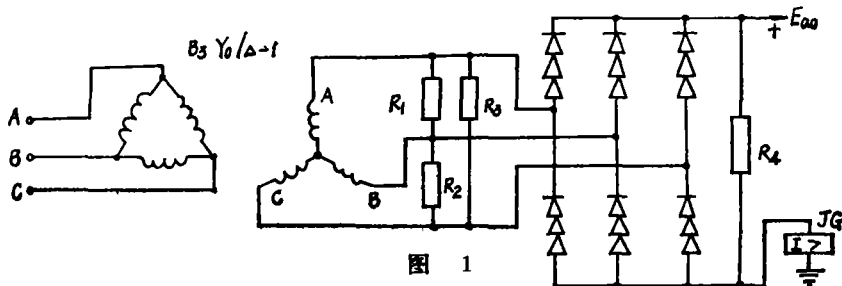


图 1