

A50电动机轴锻件制造工艺技术

沈阳大洋锻冶研究所 (辽宁 110121) 郭志德

A50 电动机轴是核电小流量试验台专用件, 选材为 25Cr2Ni4MoV 钢 (JB/T 8708—1998 标准), 其锻件制造难点为: ①为防止出现“白点”, 要求 $\varphi_H \leq 10^{-6}$ (1ppm)。②酸洗或磁粉检测: 发纹缺陷长度 $\leq 1.5\text{mm}$ 。③超声波检测: 起始灵敏度 $< \phi 1.6\text{mm}$, 重要部位单个缺陷长度要求 $\leq 2\text{mm}$ 。

围绕以上难点, 对该轴锻件的制造采取如下工艺路线: LF + VD 精炼钢锭 → 锻造电渣重熔电极 → 退火 → 去皮 → 电渣重熔 → 除氢退火 → 化学成分检测 → 锻造 → 超声波检测 → 两次正火 → 粗加工 → 调质 → 理化性能检测 → 粗加工 → 超声波检测 → 交货。

1. 冶炼工艺

该轴制造的首要难点是降低有害气体氢含量, 要求 $\varphi_H \leq 10^{-6}$ (此钢产生白点的氢含量临界值是 1.8×10^{-6} 左右), 非精炼钢 $\varphi_H \approx 3 \times 10^{-6}$, 真空除气精炼后, 最好情况 $\varphi_H \approx 1.2 \times 10^{-6}$, 为达到 $\varphi_H \leq 10^{-6}$, 必须经过扩氢退火。具体工艺步骤如下。

(1) LF + VD 精炼 LF 精炼是为了除硫, 能使有害元素 S 降到 0.01% (质量分数) 以下, 减少硫化物夹杂。VD 精炼使钢液在真空室中进行脱碳、脱气、脱硫。通过 LF + VD 精炼浇注成 3.2t 八角钢锭。钢锭的化学成分如表 1 所示。

表 1 钢锭的化学成分 (质量分数) (%)

元素	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	V
实测值	0.20	0.24	0.26	0.006	0.009	3.27	1.56	0.16	0.22	0.065
标准值	≤ 0.25	0.15 ~ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.015	≤ 0.018	3.25 ~ 4.00	1.50 ~ 2.00	≤ 0.20	0.20 ~ 0.50	0.05 ~ 0.13

(2) 锻造电渣重熔电极 电渣重熔自耗的电极棒要求 $\phi 380\text{mm}$, 故将 3.2t 钢锭经自由锻锻成 $\phi 400\text{mm} \times 2590\text{mm}$ 。锻造工艺为: 加热至 1200°C , $1150 \sim 1200^\circ\text{C}$ 开锻, 终锻温度为 850°C , 锻后石灰中缓冷。电极棒去皮至 $\phi 380\text{mm} \times 2590\text{mm}$ 。

(3) 电渣重熔 由于该轴最终要经过酸洗或磁粉检测, 显示发缺陷长度要求 $\leq 1.5\text{mm}$ 。所谓“发纹”即钢中夹杂物, 经热变形呈沿轴向分布的条链, 这类夹杂物主要有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MnS 、 $(\text{MnFe})\text{S}$ 、 Cr_2O_3 等。

前面提到此轴先经 LF 精炼将硫含量降到 0.01% 以下, 再经电渣重熔进一步脱硫, 所以 MnS 、 $(\text{MnFe})\text{S}$ 夹杂物可以不足为虑, 其他氧化物夹杂要依赖电渣重熔, 经过渣洗将这些夹杂物吸附于液态渣系中, 由于电渣锭结晶速度快, 使之形态呈细小分散, 在之后的锻造中, 不能形成条带, 所以电渣钢又叫

“无发纹钢”, 通常经电渣重熔后“发纹”可以免检, 人们称之为“工艺保证”。

经去皮后 25Cr2Ni4MoV 钢棒为 $\phi 380\text{mm} \times 2590\text{mm}$, 以此作为自耗电电极进行电渣重熔成 $\phi 600\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 电渣锭。

为确保 $\varphi_H \leq 10^{-6}$, 电渣锭经扩氢退火, 工艺如图 1 所示。

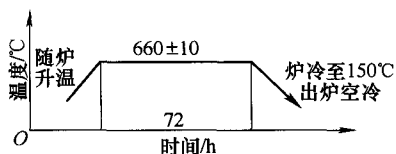


图 1

电渣锭退火后, 经检测 $\varphi_H = 0.000\ 07\%$, 满足轴制造的要求。电渣重熔后钢化学成分如表 2 所示。

表 2 电渣锭化学成分 (质量分数)

(%)

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	V	H
0.228	0.15	0.22	0.002	0.0077	3.269	1.575	0.138	0.224	0.056	0.000 07

电渣重熔后, 化学成分指标合格, 硫含量大幅降低。

2. 锻造工艺

由于该轴的超声波 (UT) 检测要求严格, 起始灵敏度 $\phi 1.6\text{mm}$, 重要部位单个缺陷长度要求 $\leq 2\text{mm}$, 为满足此要求, 要求锻造变形充分, 实际总锻造比 > 6 , 锻造加热工艺如图 2 所示。

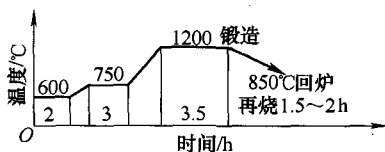


图 2

锻造工步如图 3 所示。

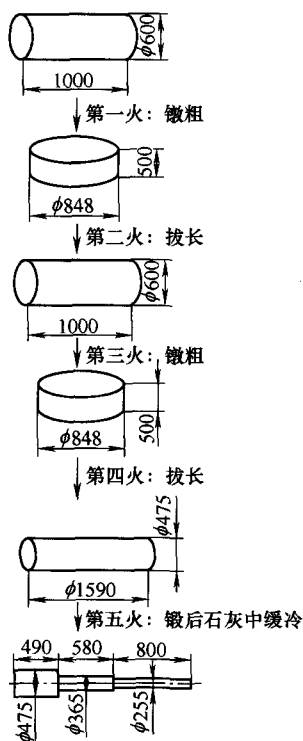


图 3

因第四火未出成品锻件, 第五火锻打时, 在 $\phi 475\text{mm} \times 490\text{mm}$ 段形成空烧而出现粗晶, 在超声波检测时呈现较严重的“草状波”, 经金相检验表现为粗大的过热组织 (见图 4), 但这种组织可以通过正火改善。



图 4 锻造空烧部位的粗晶组织

由于 $25\text{Cr}2\text{Ni}4\text{MoV}$ 钢合金化程度较高, 存在过热组织的遗传现象, 故正常正火 ($860 \sim 880^\circ\text{C}$) 不足以消除粗晶, 我们采用二次正火, 具体工艺如图 5 所示。

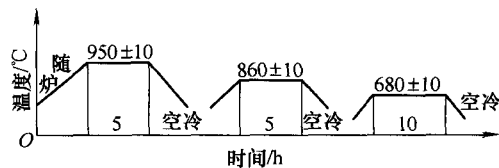


图 5

经二次正火后, 超声波检测完全消除了粗晶“草状波”, 切片金相检验晶粒明显细化 (见图 6)。

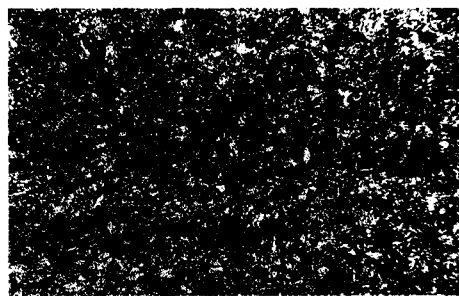


图 6

3. 一次粗加工与调质

锻后轴经两次正火 + 高温回火已经使晶粒充分细化, 满足了超声波检测要求, 在进行调质之前, 要进行一次粗加工, 以使锻造表面缺陷 (氧化皮、坑、折叠及微裂纹弯曲等) 全面清除, 以免在淬火中缺陷扩大, 一次粗加工单面留量 8mm (考虑调质变形), 一次粗加工后按图 7 所示工艺进行调质处理。调质后布氏硬度达 $240 \sim 250\text{HBW}$ 。

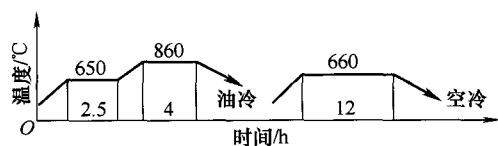


图 7

4. 取样和理化检验

该轴调质后进行取样分析：力学性能项目包括：

- ①在轴的两端各取轴向拉伸、冲击试样 2 个。
- ②在轴的 A 端取切向拉伸试样 4 个、冲击试样 2 个，在 B 端取切向拉伸、冲击试样各 2 个。
- ③在轴的两端各取径向拉伸试样 4 个、冲击试样 2 个。
- ④在轴的两端各取径向脆性转变温度试样 2 个。另在轴的 A 端取磁性能试样 1 个。晶粒度试样取自冲击试样。残留应力试样取自 A 端 $\phi 290\text{mm}$ 处。

各项检验结果如下：

- (1) 力学性能 如表 3 所示。

表 3

取样方向	取样位置	$R_{p0.2}$	R_m	A (%)	Z (%)	KV_2 /J	FTTS0 (-23℃) 塑性断口 (%)
轴 向	A 端	645	740	25.0	76.0	290	—
		670	750	25.0	76.0	290	
	B 端	665	760	22.5	76.5	274	—
		670	765	24.0	75.0	290	
切 向	A 端	655	750	25.5	75.0	244	—
		645	745	26.0	76.0	250	
		650	745	26.0	75.0	—	
		655	750	25.5	75.0	—	
	B 端	660	755	25.5	73.5	220	—
		665	760	22.0	70.5	230	
径 向	A 端	655	750	25.0	75.0	260	100
		655	745	26.0	76.0	236	100
		650	745	26.0	73.0	244	—
		645	740	27.5	74.0	238	
	B 端	665	755	24.0	70.0	—	100
		665	755	21.0	68.5	—	100
		660	755	21.0	70.5	—	—
		675	755	22.5	72.0	—	
JB/T 8708 (I 级) 要求		590 ~ 690	≥670	≥18	≥55	≥100	≥50
径向 $R_{p0.2}$ 、 R_m 波 动值应 ≤40MPa							

- (2) 磁性能 如表 4 所示。

- (3) 晶粒度 7 级 (JB/T 8708—1998 要求不粗于 5 级)。

表 4

H/ (A/m)	B/T	
	实测值	标准值
5000	1.68	≥ 1.6
15 000	1.88	≥ 1.8
50 000	2.09	≥ 2.05
120 000	2.22	≥ 2.13

- (4) 夹杂物 经电渣重熔后，显著改善了钢的夹杂物数量与分布。

- (5) 残留应力 3.708MPa (JB/T 3708—1998 要求残留应力 $\leq 60\text{MPa}$)。

- (6) 酸洗或磁粉检测 在用户半精加工后进行酸洗检查，未发现超标缺陷。

5. 二次粗加工及消除应力处理

全部检查项目合格后，进行第二次粗加工，加工至图 8 尺寸。为消除加工应力，最后还要进行一次消除应力热处理，工艺如图 9 所示。

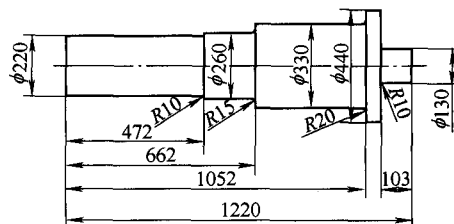


图 8

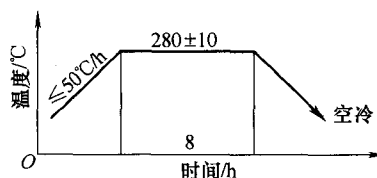


图 9

6. 最终超声波检测和酸性检测

检查规程按 JB 1581 标准，判定标准按 JB/T 8708—1998，起始灵敏度 $\phi 1.6\text{mm}$ ，检测频率 2.5MHz，结果未发现超标缺陷，工件合格。酸洗检测在半精加工后进行，结果无发纹缺陷。

7. 结语

根据 JB/T 8708—1998 技术条件对 A50 电动机轴要求所设计的工艺技术框架，全程实施结果表明，其制造工艺施工方案正确。

A50 电动机轴两端的轴向/径向/切向力学性能、磁性能、晶粒度及残留应力等方面均满足 JB/T 8708—1998 标准要求，且均匀性良好。MW

(20120724)