

液压泵转子双金属铸造工艺研究

贵阳液压附件厂 陈伟正

本文介绍了在 45 钢体上浇铸 ZQPb15-8 高铅青铜的适用铸造工艺。同时列出了对双金属转子所进行的各项理化性能、磨损试验、电子探针微区线扫描以及装机后台架寿命试验和实地工况考核数据。

Study on Casting Technology for Bimetallic Cylinder Block of Hydraulic Pumps

Chen Weizheng

(Guiyany Aviation Hydraulic Components Factory)

This paper introduces the casting technology of pouring bronze ZQPb15-8 on the cylinder block made of steel 45. The paper enumerates the testing datum of all kinds, such as physical and chemical properties, friction and wear, scanning electron microscope, boundary diffusion, life testing and site check. All proves that this casting technology is simple and reliable.

前 言

随着液压技术向高温、高压、大排量和大功率方向发展,油泵及马达转子(缸体)与配油盘工况愈加恶化,为满足高的强度和好的耐磨性能要求,出现了双金属复合结构转子。

1984 年我厂在研制为工程机械配套的柱塞式斜轴泵和马达时,工艺设计上采用了在钢体上直接浇铸耐磨铜合金的双金属结构转子。通过 1 年多的试验取得了成功,经各项检验,证明铜合金层耐磨性能良好,铜合金层与钢基体结合牢靠,符合设计技术要求。1985 年起转入批量生产。流程中选择了良好的活性保护剂,并采用振动浇铸成核结晶方法;超声波质量检验措施,使工艺更趋完善、稳定。从车间生产统计,5 年多来已生产双金属转子 2 万多件,平均合格率已达 95%,达到国内同行业领先水平。

工艺方法

1. 双金属转子

基体材料为 45 钢,表面浇铸复层为耐磨铅青铜(含 Pb12~17%、Sn7~9%、余量 Cu)。外形尺寸见图 1。与其配对摩擦偶件配油盘为 38CrMoAl 钢,表面经氮化, $HV \geq 700$ 。在油泵中工作液压介质为上稠—40 低凝液压油,转子与配油盘作相对圆周滑动摩擦,最高转速: 3750rpm,最大功率: 压力 35MPa 时为 109.7kW,理论排量: 55~160ml/r.。

2. 铜合金设计

铅青铜是一种耐磨铜合金,不仅具有良好的导热、抗

疲劳、减磨和抗咬合性能,而且在冲击载荷下也不易产生裂纹。在 ZQPb12-8 (GB1176-76) 基础上,进一步加入强化元素而研制成 ZQPb15-8 铜合金。合金含 Sn7~9%、Pb12~17%、Ni \leq 2%、Zn \leq 2% (工厂企业标准 Q/17DY07-86 见表 1)。

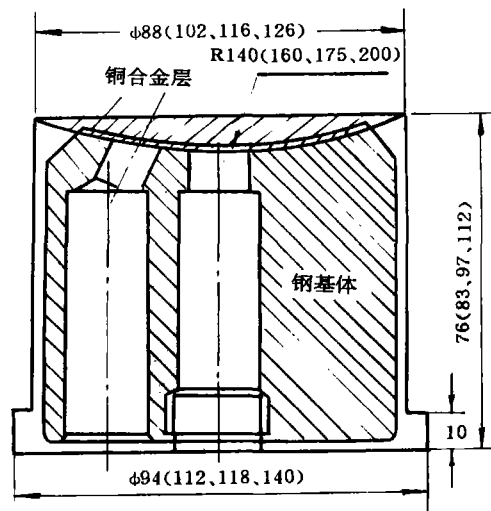


图 1 双金属转子零件、毛坯图

由 Cu-Sn 状态图可见, Sn 与 Cu 除形成 α 固溶体外,在连续冷却下将生成 δ 相组织, δ 相是以金属间化合物 $Cu_{31}Sn_8$ 为基的固溶体,呈灰白色硬脆相。合金的铸态组织为 $\alpha + (\alpha + \delta) + Pb$ 。在软的 α 相基体上,均匀分布 δ 硬性相和独立软的 Pb 相,形成一种软硬相间的抗摩擦组织结构。

合金中的 Pb 不溶于 Cu,而以点状、块状或连续点状

分布于基体 α 相枝晶间隙中, 使合金具有良好的减磨性能, 尤其在干摩擦条件下(油泵启动时), Pb 能以金属 Pb 或 Pb 的氧化物形式涂抹在表面形成“边界润滑剂”, 可使钢在干滑动时的摩擦系数降低 65%, 在油润滑条件下, 也形成固态膜而改善摩擦润滑条件。但 Pb 的比重远大于 Cu, 易产生“比重偏析”形成连续大块 Pb 相而降低铜合金强度。在合金中加入少量 Ni, Ni 溶于固溶体而强化基体, 使合金组织细化, 促使 Pb 相分布均匀。

Cu-Sn 合金凝固区间温度宽, 容易形成枝晶疏松, 合金中加入少量 Zn, 能有利于缩小凝固区间温度, 改善铸造性能, 降低合金产生分散疏松倾向, Zn 还能使合金中难以分离的 SnO_2 夹杂物还原, 清洁合金液而提高铸造质量。

3. 工艺流程

粗加工使球面成形→吹砂→涂布活性保护剂→转子预热+合金熔化→振动浇铸→清除熔渣→去应力热处理→车加工→超声波检查→检验入库。

4. 铸造工艺分析

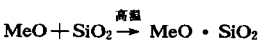
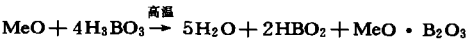
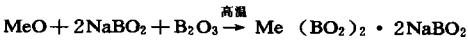
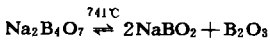
(1) 转子钢体预热

钢体预热是为促进铜合金层与钢体结合面原子互扩散提供条件, 增加结合强度。温度越高, 原子扩散越有利, 结合强度越高, 但过高的预热温度, 带来钢体氧化加剧, 组织粗化, 降低钢的力学性能, 反之亦然。恰当的钢体预热温度宜选择在约高于钢体材料的 AC_3 即可。

(2) 活性保护剂

钢体在空气中加热, 表面被激烈氧化, 在带有铁的氧化物膜的钢体上, 浇铸合金液是不可能结合牢靠的。合理选择活性保护剂是双金属浇铸成功的关键, 对其要求有: (1) 在高温下能与氧化铁反应形成熔渣, 消除原子扩散“屏障”; (2) 在高温下呈液态分布, 具有较好的覆盖性能, 防止钢体继续氧化; (3) 所形成的熔渣具有较好的流淌性, 铜合金浇入时易于上浮排除; (4) 熔剂及熔渣应无毒、无刺激、不损害工人健康, 也不腐蚀钢体。这里选择以硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 为基, 加入脱氧剂、浸润剂等, 熔点为 741℃。高温下脱氧造渣冶金化学过程可用下

述方程表示:



最终反应生成物为: $\text{Me}(\text{BO}_2)_2 + 2\text{NaBO}_2 + \text{MeO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 + \text{MeO} \cdot \text{SiO}_2$ 等复合熔盐。

(3) 动态浇铸

预热到高温的钢体上浇铸铜合金液, 过冷度小, 尽管采取加 Ni; 浇铸中加强搅拌、快速冷却等措施, 仍不能完全避免 Pb 呈网状或大块聚集偏析。于是我们采用了“动态浇铸”工艺方法: 即将预热到温的钢转子, 置于特制的振动台上振动, 同时浇注合金液, 合金成核和结晶是在频率为 14000 次/分的横向振动、振幅小于 1.5mm 的条件下完成的。借助于机械振动作用, 使合金液受到动力学激励, 使非自发核心增多, 有利于等轴晶粒形成; 同时晶核在三维空间长大过程中, 结晶前沿受流动液流剪切作用, 产生破碎或变形, 抑制晶粒自由生长, 又形成新的“脱熔”晶核。上述作用结果使晶粒明显细化, 阻碍 Pb 相聚集。

去应力热处理: 在钢体转子上浇铸铜合金液后, 与铜液接触处钢体表面温度迅速升高, 而钢体外圆温度较低, 在连续冷却过程中造成相变不一致所带来组织应力 and 温差热应力, 必须经热处理消除。采用 350℃~400℃去应力时效, 综合效果良好。

试验结果

1. 化学成分和力学性能

化学成分和力学性能见表 1。

表 1 铜合金层成分和力学性能

成分和性能 炉次和技术标准	化学成分 (%)				力学性能		备注
	Sn	Pb	Ni	Cu	HB	σ_b (N/mm ²)	
55-01	8.30	14.90	2.0	余量	65.5~68	195.0	
55-02	8.07	15.87	1.9	余量	68.8~76.3	209.8	
80-01						204.0	
80-02	8.2	12.25	1.7	余量	80.4	263.0	Zn1.3%
Q/17DY07-86	7~9	12~17	≤2	余量	≥65	≥180	Zn≤2%

注: 1. σ_b 结合强度: 由同炉合金浇铸成 $\phi 30\text{mm}$ 棒, 车制。试样从铜合金一端拉断, 结合面强度实际高于此值;

2. GB1174-87 中 ZQPb12-8 规定 $\sigma_b \geq 150\text{N/mm}^2$, HB ≥ 65

2. 显微组织

解剖双金属转子, 检查结合面的铅分布、铜合金层及钢体显微组织, 分别见图 2、图 3 和图 4。

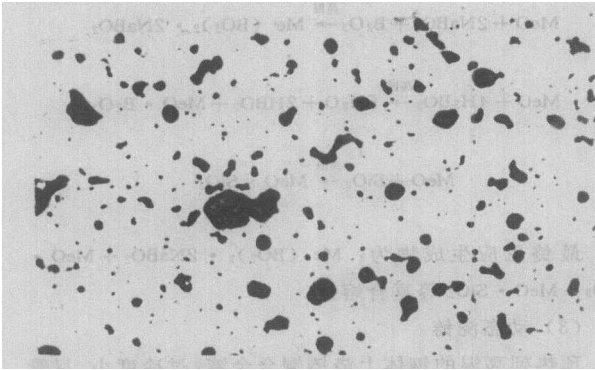


图 2 结合面铅分布 117×

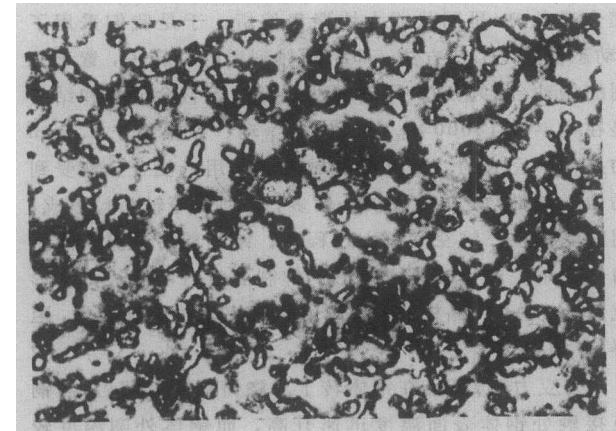


图 3 铜合金层组织 117×

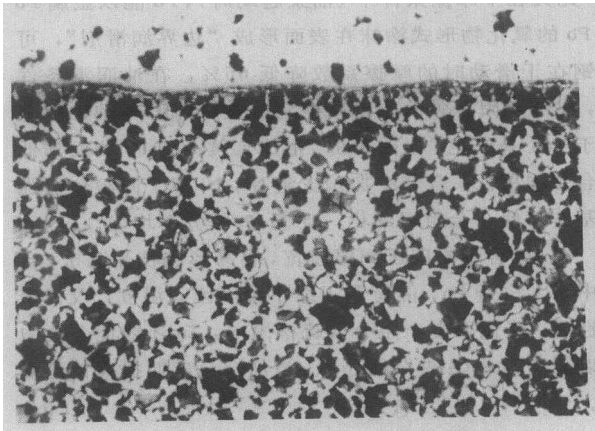


图 4 结合面钢基体组织 117×

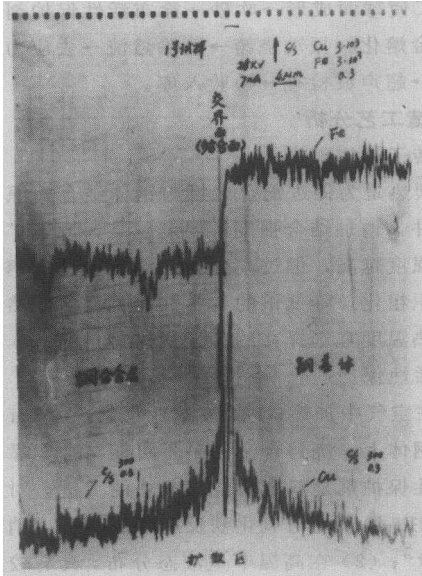


图 5 结合面 Cu、Fe 元素原子线扫描曲线

3. 电子探针微区扫描

对结合面进行微区成分线扫描, 测定双层金属原子互扩散, 结果见图 5 和表 2。

表 2 电子探针定性分析半定量值 (%)

位 元 素	钢基体 (距铜合金层), μm									结 合 线	铜合金 (距钢基体层), μm								
	200	100	80	60	40	30	20	10	5		5	10	20	30	40	60	80	100	200
Fe	98.2	98.4	97.3	98.1	96.5	95.6	96.3	95.4	94.1	49.5	3.3	2.3	1.9	1.7	1.3	1.1	1.0	0.9	0.7
Cu	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	2.1	4.4	38.1	91.4	93.3	93.7	92.5	91.7	91.1	90.6	89.2	88.9
Sn									微	0.6	4.2	4.2	5.1		5.9	7.5	7.6		
Ni									微	0.4	2.3	2.4	2.4		2.4	2.5	2.7		
Pb											0.1	0.1	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2

4. 磨损试验

设备: MG-200 型高速高温磨损试验机; 运动形式: 滑动摩擦; 润滑剂: YM-10 航空液压油; 润滑方式: 中心冷 200ml/min; 试验条件: 载荷 1039.5N、转速 2800rpm、比压 981626Pa、PV 值 863.8N·M/S·cm²、总转速 150 万转。试验结果: 平均摩擦系数 M=0.0149, 平

均体积磨损量为 $0.5 \times 10^{-3} \text{cm}^3$

5. 无损检测

超声波探伤检查设备为 CTS-23 型宽频探伤仪, 采用系统高阻片、窄脉冲探头, 耦合剂为机油或甘油。各类缺陷检查波形见图 6~图 9。

6. 台架寿命试验和装机考核

将双金属转子装入 ZM-H55FJ 液压马达和 2BN-H80FJ 液压双联泵, 按专用技术条件进行 1000h 台架寿命试验, 全部性能指标符合要求。分解检查: 铜合金层摩擦图象均匀, 磨损量很小。分别将 3 台 ZM-H55FJ 和

1 台 ZBN-H80FJ 联合同时装在合肥矿山机器厂生产的 85-031 号 WY-80 挖掘机上, 通过 20h 出厂性能考核后, 发往常熟县福圩砖瓦厂进行实地考察, 统计到 1988 年 4 月底, 已累计运转 6500h, 液压泵和马达性能稳定, 工作正常, 至今仍在工地上挖掘。

通过上述考核后, ZBN-、ZM- 系列柱塞式斜轴泵和马达, 在 1986 年 11 月通过航空部和城建部联合鉴定, 产品已转入批量生产。同时也建立了双金属转子浇铸生产线。

结 论

1. ZQPb15-8 是一种在 ZQPb12-8 合金基础上改进的铅青铜, 通过大量性能、磨损、产品试验证明是一种适合于工程机械高负荷工作的中高压油泵马达双金属转子浇铸的优良耐磨铜合金。

2. 双金属浇铸工艺中所采用的活性保护剂、动态浇铸工艺实用新颖, 质量稳定, 操作简单, 是一种可适用推广的双金属浇铸工艺。

3. 采用国产 CTS-23 型超声探伤仪, 利用窄脉冲技术方法, 能有效地对双金属转子毛坯进行质量检测控制。

参加试验的还有尹克里、彭石球、费贻先等同志; 情报站杨万树同志协助提供资料, 特此致谢。

参考文献 (略)

(上接第 11 页)

YS-30 可用于制造印刷线路板, 柔性复铜板。YS-30 层压板可用于制造电器底座等。

六、结 论

1. 新型聚醚酰亚胺 YS-30 塑料是一类综合性能优良、可利用通用设备注塑成型、在 180℃ 下连续使用的特种工程塑料。应用范围广泛, 具有广阔的发展前景, 已取得较显著的经济效益。

2. 制造 YS-30 树脂基本原料来源广泛。

3. 聚醚酰亚胺塑料 YS-30 具有独特的结构, 填补了国内空白。

参考文献

1. Chemical Engineering News, 60 (8), 23~24, 1980
2. Modern Plastics International, 12 (6), 38~39, 1982
3. グラスチックス, 35 (8), 117~1222, 1984
4. Plastics World 42 (4), 68~79, 1984
5. 塑料工业, (5), 41~44, 1984
6. 玻璃钢/复合材料 (4), 8~11, 1985
7. 工程塑料应用, (1), 32~36, 1985
8. 水处理技术, 14 (1), 42~47, 1988

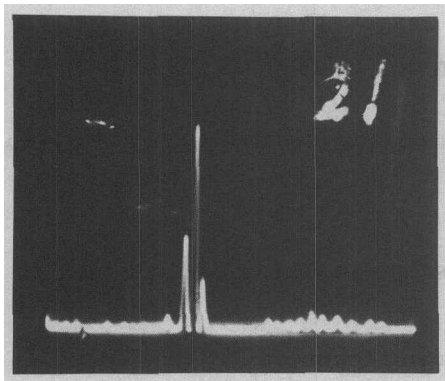


图 6 钢体裂纹波形

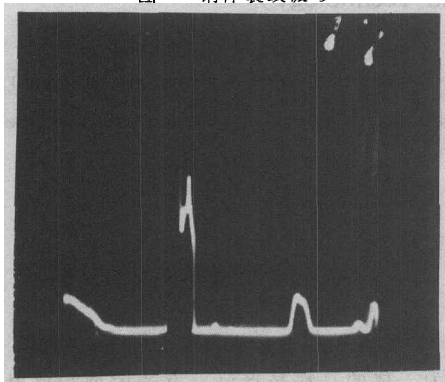


图 7 结合不良图象

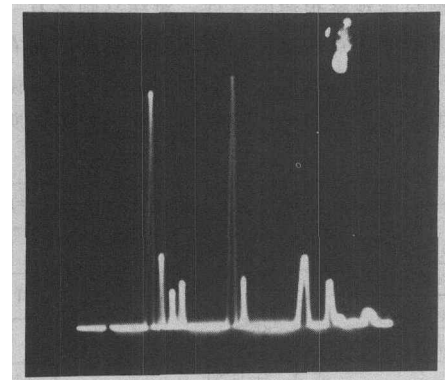


图 8 铜合金层密集针孔波形

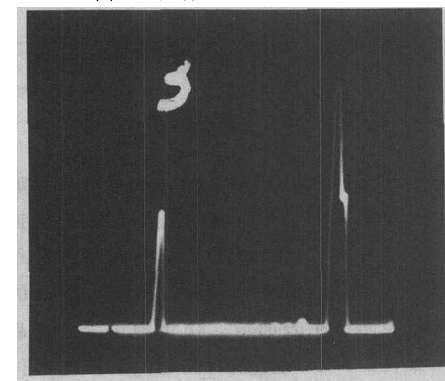


图 9 铜合金层单个孔洞波形