

铜合金-钢双金属柱塞液压泵转子材料的研制

王 飞, 田玉清

(钢铁研究总院, 北京 100081)

摘 要: 本文采用预合金化粉末, 在 400 MPa 压力下压制, 于 910 °C、H₂ 气中烧结 1 h, 获得了组织结构不同于铸造材料、可在 910 °C 下进行扩散焊和热处理、用于制造柱塞液压泵双金属转子的 F10-2-3 材料(本单位命名); 分析了成分相同、制备工艺不同的两种 10-2-3 材料在 910 °C 下扩散焊接, 前者材料不变形, 后者异常膨胀的机理; 本研究材料在 910 °C 与钢扩散焊接, 双金属扩散焊接的抗拉强度达到 260 MPa。模拟柱塞孔的脱出试验, 有色层脱出力达到 19.2 kN/cm², 可从根本上解决柱塞液压泵双金属产品结合力差的问题。

关键词: 粉末冶金; 铜合金-钢双金属; 扩散焊; 焊接强度

中图分类号: **文献标识码:** A

文章编号: 1006-6543(2013)03-0056-05

R&D OF F10-2-3 CU ALLOY/STEEL BIMETAL ROTOR FOR PLUNGER HYDRAULIC PUMP

WANG Fei, TIAN Yu-qing

(Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

Abstract: F10-2-3 is a material dedicated to bimetal rotor for plunger hydraulic pump. In this paper, F10-2-3 material was prepared by pressing prealloyed powder under a pressure of 400 MPa and then sintering at 910 °C in H₂ for 1h. The resulted material had a microstructure different from foundry material, and was feasible for diffusion welding and heat treatment at 910 °C. Two kinds of F10-2-3 material with the same composition but processed differently were diffusion welded at 910 °C, abnormal expansion was found for one material while no deformation was found for the other. The mechanism of this difference was analyzed. F10-2-3 material was diffusion welded with steel at 910 °C, and the tensile strength of the welding was 260 MPa. A test was performed to simulate the escape out of plunger hole, the escape force of colored layer achieved 19.2kN/cm². The poor binding force of bimetal material in plunger hydraulic pump was fundamentally solved.

Key words: powder metallurgy; Cu Alloy/Steel Bimetal; diffusion welding; weld strength

柱塞式液压泵不仅广泛应用于民用方面, 例如推土机、挖掘机、汽车起重机、液压机、轮船等液压系统, 而且在军工领域, 例如飞机、军舰、坦克等液压系统也大量使用。

泵内关键摩擦副为转子和滑靴, 它们承受着交

变应力、冲击载荷、表面摩擦磨损及介质的化学作用, 承担着传力、润滑、密封的功能, 工作条件最为恶劣。

关键摩擦副采用单金属结构, 如硅锰黄铜 (HMn60-3-1-0.75, $\sigma_b \geq 475$ MPa), 转子整体强度不

收稿日期: 2012-10-25

作者简介: 王 飞(1987-), 男(汉), 山西大同人, 在读硕士, 主要从事粉末冶金材料研究。

高,滑靴则易被柱塞拉脱,只限于用于柱塞泵马达,同时有色金属价格较高,成本也大大增加^[1]。采用双金属结构,即材料表层与材料基体各用不同材料,这样既满足了摩擦副材料的匹配要求又提高了材料的疲劳强度,它是一种表层摩擦学性能(材料配对相容性、减摩、耐磨性)与基体材料力学性能(强度、韧性、抗疲劳能力)相结合的,是解决磨损与疲劳双重问题的最好选择^[2]。

目前,双金属摩擦副的摩擦层普遍采用铜合金。国外有在钢基体(碳钢、合金钢)上浇铸锡青铜(类似ZQSn10-10)然后轧制成双金属的。在国内,工程机械泵用双金属转子多采用浇铸、炉中保护气氛扩散焊、粉末冶金工艺制成。铜合金主要采用ZQ-CuPb15Sn8^[3]和ZQSn10-2-3(Sn9-11, Pb2-3.3, Ni3-4, 余Cu)。

采用浇铸的方法生产双金属转子和滑靴,不同程度存在着青铜合金Pb偏析、结合力差、不耐磨、质量不稳定等问题。采用扩散焊方法生产双金属转子与滑靴,如浇铸锡青铜(ZQSn10-2-3)板与钢基体

(40CrNiMoA)扩散焊,在进行高温热处理时,有色金属层产生裂纹。柱塞泵的双金属柱塞孔主要采用镶嵌铜合金套的方法生产。这种方法由于双金属只是机械结合,在使用中,尤其在高速、高压工况下,极易将铜合金套拉出、打碎,造成泵体损坏。因此,目前生产柱塞泵转子和滑靴的主要技术难点就是如何研制出能提高烧结温度和焊接温度的耐磨减摩铜合金材料,解决双金属结合问题。

本文研制一种粉末冶金耐磨减摩铜合金材料(牌号F10-2-3),该材料与45钢焊接性能好,能在910℃下进行热处理,可从根本上解决液泵双金属产品结合力差的问题。

1 试验方法

1.1 试样制备

试验原料采用高压水雾化方法制备的Cu、Sn、Ni、Pb预合金化粉末,其化学组成和物理性能如表1所示。

表1 原料化学组成和物理性能

化学组成(质量分数)/%				物理性能		
Cu	Sn	Ni	Pb	粒径/ μm	松装密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	含氧量(退火后)/ $\times 10^{-6}$
余量	9~11	2~4	3~4	60~90	3.5~4.0	1700

采用上述粉末,在400 MPa压力下压制,于910℃、 H_2 气中烧结1 h,制得铜合金材料,样品尺寸 $\phi 25$,高30。

1.2 F10-2-3铜合金-钢双金属焊接试验

将烧结好的样品端面磨平,清理干净,放置在 $\phi 25 \times 30$ mm的45钢柱上,保证两圆柱同心,于规定温度(860、910℃)、 H_2 气中保温3 h,进行扩散焊,制得双金属试样,按照GB/T228-2002加工拉伸试样、按照YS/T485-2005加工剪切试样,进行双金属结合性能检测。

1.3 F10-2-3铜合金管脱出试验

将 $\phi_{\text{外}} 25 \times 4 \times 12$ mm的F10-2-3铜合金管压入 $\phi_{\text{外}} 50 \times 12.5 \times 30$ mm的45钢套内,在规定温度(860℃、910℃)下进行扩散焊,再将铜管从钢套内脱出,测定总的脱出力。

2 实验结果与讨论

2.1 F10-2-3材料性能分析

2.2.1 化学组成和物理性能

F10-2-3材料的化学组成和物理性能见表2。

表2 F10-2-3材料化学组成和物理性能

化学组成(质量分数)/%				物理性能		
Cu	Sn	Ni	Pb	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
83.3	9.7	3.9	3.0	260	12.5	8.69

2.2.2 显微形貌分析

用JSM-6400电镜观察的F10-2-3材料SEM形貌如图1所示,各点用EDAX能谱分析的成分如图2~图4所示,其成分分析结果如表3。为了与F10-2-3材料进行对比,将铸造生产的ZQSn10-2-3材料(本文代号B10-2-3)的SEM形貌及能谱成分分析点示于图5,成分分析结果示于表4。试样经腐蚀(腐蚀剂配比:10g FeCl_3 , 30mL HCl , 120mL H_2O),两种合金存在于晶粒边界的Cu-Sn-Ni合金状态如图6、图7所示。

由以上显微形貌和成分分析可知,F10-2-3合金中的Sn约有84%存在于晶粒中,只有少量Sn存

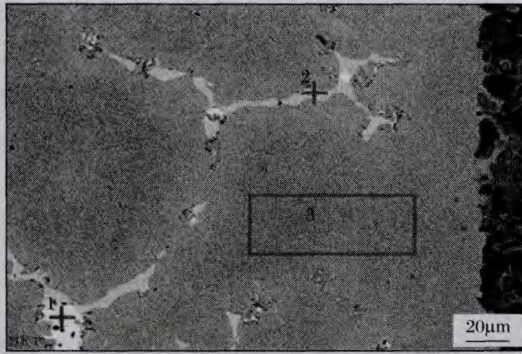


图 1 F10-2-3 材料 SEM 形貌(未腐蚀)

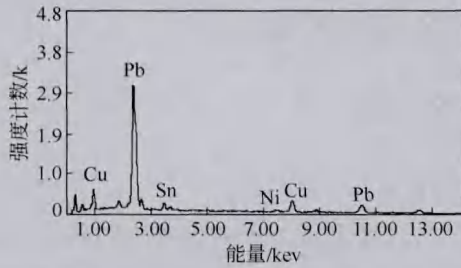


图 2 试样的白色部分(点 1)成分分析

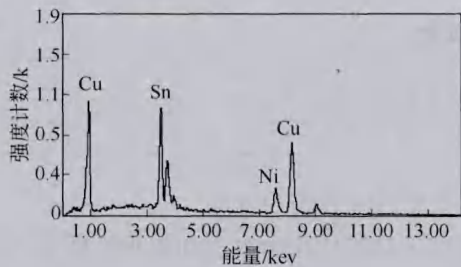


图 3 试样的浅灰色部分(富锡合金,点 2,)成分分析

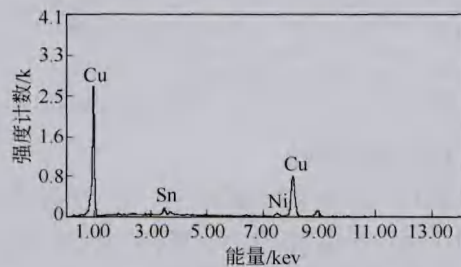


图 4 试样的深灰色部分(基体,点 3)成分分析

表 3 成分半定量分析结果(质量分数) %

分析位置	Ni	Cu	Sn	Pb
图 1 浅灰色	12.7	46.2	41.1	—
图 2 白色	2.1	13.2	7.6	77.1
图 3 灰色	4.9	86.7	8.4	—

在于晶粒边界;而铸造 ZQSn10-2-3 合金中的 Sn 仅有 48%存在于晶粒中,约有一半的 Sn 存在于晶粒

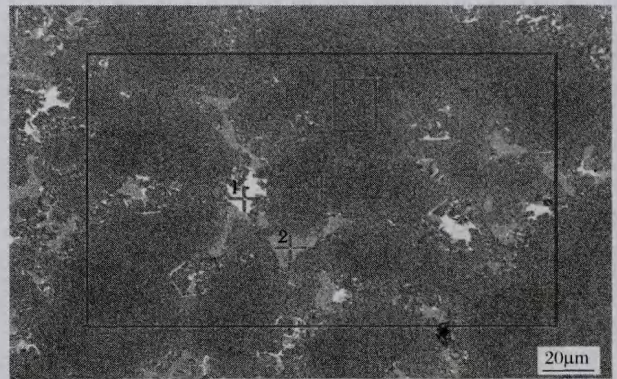


图 5 未腐蚀铸造 B10-2-3 试样的显微形貌和成分分析
(第 2 点为富锡合金成分,第 3 点为基体成分)

边界。

表 4 成分半定量分析结果(质量分数) %

分析位置	Ni	Cu	Sn	Pb
1	—	3.7	—	96.3
2	10.4	50.5	39.2	—
3	5.0	90.2	4.8	—
4	4.6	81.9	10.4	3.1

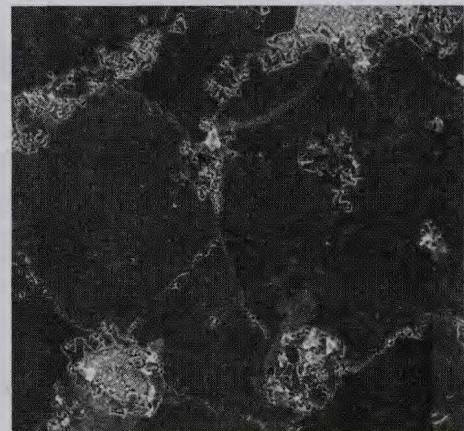


图 6 腐蚀后的粉末冶金 F10-2-3 合金组织

无论是晶粒中,还是晶粒边界,Sn 都是以 Cu-Sn-Ni 合金形式存在的。但晶粒边界的 Cu-Sn-Ni 合金中,Sn 含量很高,在 40%左右,使其熔点大大降低。晶粒边界 Cu-Sn-Ni 合金越多,铜合金材料的熔点越低。

从图 6 和图 7 可明显看出,粉末冶金的 F10-2-3 材料晶粒边界 Cu-Sn-Ni 合金少,而铸造的 B10-2-3 材料晶粒边界 Cu-Sn-Ni 合金多,因此,F10-2-3 材料熔点较高,而 B10-2-3 材料熔点较低。这就是在 910℃条件下与钢焊接,F10-2-3 材料不变形,而铸造 ZQSn10-2-3 材料却异常膨胀的原因所在。

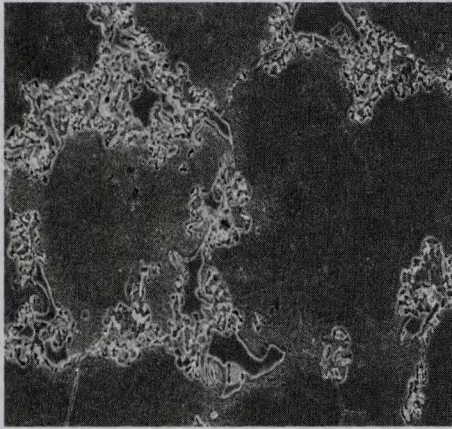


图7 腐蚀后的铸造 B10-2-3 合金组织

2.2 F10-2-3 铜合金-钢双金属焊接试验结果

经过扩散焊的 F10-2-3 铜合金-钢双金属样品,其双金属结合部的组织形貌如图 8,成分分析结果见表 5。

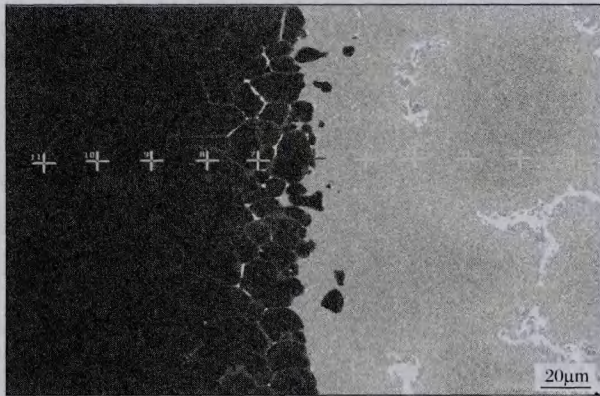


图8 粉末冶金 F10-2-3 试样未腐蚀的
双金属结合部 SEM 形貌
(左:钢;右:F10-2-3)

表5 成分半定量分析结果(质量分数) %

分析位置	Si	Mn	Fe	Ni	Cu	Sn	Pb
1			25.4	4.4	62.8	7.0	0.5
2			1.0	4.4	83.1	11.5	
3			0.9	4.6	81.8	12.7	
4			0.7	4.5	85.9	8.9	
5			0.8	4.7	85.1	9.4	
6			0.6	3.7	80.1	15.6	
7	0.6	1.0	97.2		0.7	0.5	
8	0.5	0.9	97.1		0.8	0.6	
9	0.5	0.9	97.8		0.7		
10	0.7	0.9	97.8		0.6		
11	0.6	0.9	97.9		0.6		
45 钢基体成分	0.7	0.9	98.0		0.4		
铜合金基体成分			0.3	4.2	79.7	12.2	3.6

从结合部显微形貌和成分分析结果可以看出, F10-2-3 铜合金向 45 钢呈网状扩散,扩散深度约 60 μm ;45 钢向铜合金的扩散约 40 μm 。因此,双金属结合属于冶金结合。本研究双金属焊接样品的拉伸强度(σ_b)和剪切强度(τ_b)见表 6^[4]。

表6 F10-2-3 铜合金-钢双金属的焊接性能

试样编号	工艺条件	抗剪强度(τ_b) / 抗拉强度(σ_b) /	
		MPa	MPa
1	860 $^{\circ}\text{C}$ 扩散焊接	161	205
2	910 $^{\circ}\text{C}$ 扩散焊接	210	260

其中经过 910 $^{\circ}\text{C}$ 扩散焊接的 2 号样品拉伸试样断口位于铜合金部位,说明 F10-2-3 铜合金与钢焊接的结合强度达到了表 2 所示的 F10-2-3 铜合金本身抗拉强度。

由表 6 可知,2 号样品焊接强度高于 1 号,这是因为钢与铜合金结合强度主要取决于双金属相互扩散的程度,双金属的相互扩散程度与温度密切相关^[5]。因此,要想获得高的双金属结合强度,需提高双金属的焊接或烧结温度。但是,采用铸造工艺或一般烧结工艺生产的铜合金,例如铸造的 B10-2-3,超过一定温度(850 $^{\circ}\text{C}$)即产生异常膨胀,使焊接性能受到一定限制。

3 F10-2-3 铜合金套脱出试验结果

按照 1.3 试验方法测定脱出力的结果见表 7。为了进行对比,表中列出了某厂采用大紧度镶压柱塞铜套工艺进行脱出试验的研究结果^[6]。

脱出试验结果表明:焊接温度越高,脱出力越大,与 2.2 中焊接试验结果吻合,证明提高扩散焊温度是提高焊接强度的有效途径。

生产厂对液压泵双金属转子柱塞孔有色金属层(B10-2-3)脱出力的要求 $\geq 0.6 \text{ kN/cm}^2$,而 F10-2-3 铜合金与 45 钢套的结合力远远大于这一指标,可完全避免液压泵转子柱塞孔有色金属层被拉出。

5 结 论

(1)采用所开发的、包括预合金化、原料预处理、烧结、扩散焊在内的新技术,获得了组织结构不同于铸造材料、可在 910 $^{\circ}\text{C}$ 下进行扩散焊和热处理、用于制造柱塞泵双金属转子的 F10-2-3 材料。

表 7 F10-2-3 铜合金套脱出试验结果

材料牌号	扩散焊接 温度/℃	脱出力/ kN	脱出侧面积/ cm ²	单位面积脱出力/ kN·cm ⁻²	备注
F10-2-3	860	120.97	9.42	12.8	扩散焊接
F10-2-3	910	209.68	10.92	19.2	扩散焊接
QSn7-0.2(Sn7%,P0.2%, 余 Cu 的锡青铜材料)	-	37	69.08	0.53	大紧度镶压柱塞铜套, 未焊接
B10-2-3	-	-	-	≥0.6	镶嵌未焊接

(2)成分相同、制备工艺不同的粉末冶金和铸造两种 10-2-3 材料在 910 ℃下扩散焊接,前者材料不变形,后者异常膨胀变形的机理。粉末冶金 F10-2-3 材料的晶粒边界 Cu-Sn-Ni 合金少,材料的熔点高,910 ℃下不易发生变形;铸造 B10-2-3 材料的边界 Cu-Sn-Ni 合金多,使材料熔点降低,910 ℃下容易产生异常膨胀。

(3)F10-2-3 材料在 910 ℃与钢扩散焊接,铜合金向 45 钢呈网状(沿晶界)扩散,扩散深度约 60 μm,45 钢向铜合金的扩散约 40 μm。因此,双金属结合属于冶金结合。抗拉强度达到 260 MPa。模拟柱塞孔的脱出试验,F10-2-3 铜合金-钢双金属材料有色层脱出力达到 19.2kN/cm²,远远大于工厂对铸造材料 B10-2-3 脱出力的要求。

(4)粉末冶金 F10-2-3 铜合金-钢双金属材料

具备优异的与钢基体烧结扩散焊接结合性能,可从根本上解决柱塞液压泵双金属产品结合力差的问题。

参考文献

- [1] 金中茂,王雷,张学珍. 烧结扩散法制取的高压轴向柱塞泵双金属缸体[J]. 粉末冶金技术,1984(1):33-38.
- [2] 唐仁辉,王琼礼,徐培恩. 液压泵双金属摩擦副材料的研究[J]. 机械工程材料,1987(2):25-27.
- [3] 陈伟正. 液压泵转子双金属铸造工艺研究[J]. 材料工程,1992(4):26-29.
- [4] 王飞,陈广志. 离合器用铜基烧结摩擦片的研制[J]. 粉末冶金工业,2011(3):17-18.
- [5] 吴涛,田鹏. 铜与钢的异种材料扩散焊接技术[J]. 黑龙江冶金,2007(4):30-32.
- [6] 王振桃. 油泵缸体镶压大紧度柱塞铜套的试验研究[J]. 液压工业,1991(2):24-25.

· 行业动态 ·

巴斯夫公司计划在中国建立新的工厂

中图分类号:TF124 文献标识码:D

巴斯夫(BASF)公司计划在亚洲太平洋地区建立两处新的金属注射成形行业设施:其一,巴斯夫公司将在中国台湾桃园县观音乡(Kuanyin)建立一个金属注射成形生产用注射料的生产工厂,这个新工厂的设计产能超过了 5000 吨/年,按计划这个工厂将于 2013 年下半年投入运营。其二,巴斯夫公司还在中国上海为其注射料(Catamold)业务建立了一个新的技术服务中心,这个新建的技术服务中心位于上海浦东巴斯夫公司的亚洲太平洋创新园区内,其职责是提供技术支持和客户培训。现在亚洲太平洋地区约占全球金属注射成形制品市场份额的 50%,巴斯夫公司有关方面表示:巴斯夫公司希望借此机会加强其在亚洲太平洋地区金属注射成形领域的力量。巴斯夫公司主管金属类业务的副总裁 Stefan Koser 博士说:“巴斯夫公司估计:到 2020 年亚洲太平洋地区约占全球金属注射成形市场份额的 60%,因此,亚洲太平洋地区是我们 Catamold 业务的主要增长推动力之一。这项投资表明:我们非常关注亚洲地区金属注射成形业务的发展,并将推动这项技术的进一步发展”。巴斯夫公司亚洲太平洋地区金属类业务的负责人 Steven Hung 表示:新建的实验室可以使巴斯夫公司能向客户提供更快更好的服务。Catamold 是巴斯夫公司开发的可以用于金属注射成形和陶瓷注射成形生产的注射料,可以用于生产低合金钢、不锈钢、特殊合金和陶瓷等。信息摘译自《金属粉末报告》网站 <http://www.metal-powder.net/view/29729/basf-builds-two-new-mim-plants/2012-12-7/2013-2-28>

(孙世杰)