

AgPdCu/MX215 复合带材白亮带形成机理研究

陈永泰¹, 谢明¹, 郑旭阳², 巫小飞², 谢攀², 李爱坤¹, 杨有才¹, 刘捷^{3*}

(1. 昆明贵金属研究所 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106;

2. 贵研中希(上海)新材料科技有限公司, 上海 201603; 3. 昆明冶金高等专科学校, 昆明 650033)

摘要: 对 AgPdCu/MX215 复合带材白亮带形成机理进行分析。结果表明, 复合带材在热复合和热处理过程中形成了界面, 界面中含有大量脆性的 PdSn 金属间化合物, 与基带和贵金属覆层的变形不协调, 轧制过程中, 表面的界面位置被撕裂, 产生龟裂, 而显示出不同的颜色差, 外观上看来, 显示出两条明显的白亮带。只要有界面的存在, 白亮带不可能消失, 可以通过制备工艺的改进, 减小白亮带的宽度。

关键词: AgPdCu/CuNiSn 复合带材; 白亮带; 界面; 龟裂

中图分类号: TG146.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2018)S1-0021-04

Research on the Formation Mechanism of White Bright Band on AgPdCu/MX215 Composite Strip

CHEN Yongtai¹, XIE Ming¹, ZHENG Xuyang², WU Xiaofei², XIE Pan², LI Aikun¹, YANG Youcai¹, LIU Jie^{3*}

(1. State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals, Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650106, China; 2. SPM-Longsun (Shanghai) New Materials Tech Co. Ltd., Shanghai 201603, China;

3. Kunming Metallurgy College, Kunming 650033, China)

Abstract: The formation mechanism of white bright band on AgPdCu/MX215 composite strip was analyzed. The results show that the interfaces of composite strip was formed during the thermal compounding and heat treatment process. The interface contains a large number of brittle PdSn intermetallic compounds. Because of the interface, metal strips and precious metals cladding have different deformation ratio, the interface position of the surface is torn and brought chaps during the rolling process. Two white bright bands were clearly visible on the composite strip surface. As long as there is an interface, the white bright bands cannot disappear, but can reduce the width of the white bright bands by the improvement of the preparation process.

Key words: AgPdCu/MX215 composite strip; white bright band; interface; chaps

微型直流电机常用于控制系统中, 随着电子技术的广泛应用, 微电机向组件化方向发展广泛应用于从家庭到宇航业的众多领域。电刷和换向器直流微电机的关键部件, 两者相互接触并相对滑动, 实现电流的传输和换向, 驱动电机连续而平稳运行,

材料性能直接影响微电机的服役行为和寿命, 也关系到使用微电机的设备或系统的安全和稳定性^[1]。成本、高性能电刷和换向器材料的开发与应用一直是微电机行业共同追求的目标, 现在一般都采用贵/廉复合材料作为电刷和换向器材料, AgPd 系列合

收稿日期: 2018-08-22

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0305700), 国家自然科学基金(U1602271, U1602275), 云南省科技计划项目(2018ZE011, 2018ZE012, 2018ZE022, 2018ZE026, 2015IB012, 2016HB026)

第一作者: 陈永泰, 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 贵金属新材料。E-mail: cyt@ipm.com.cn

*通讯作者: 刘捷, 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 金属材料。E-mail: 114987164@qq.com

金以其优良的电学性能、力学性能以及抗氧化、耐腐蚀性能被广泛用作微机电刷的工作层，微机电刷工作层材料主要有 Ag-30Pd、Ag-50Pd、AgPdCu 和 AgPdCuAuPtZn 等，基带主要有 BZn15-20、BZn18-26、MX215、MX96。在 AgPd 合金基础上添加其它元素，如：Cu、Pt、Zn、Au、In 等^[2-5]，一方面降低材料成本，另一方面利用添加元素的固溶强化和析出强化提高材料硬度，改善合金的耐磨性能。因此，采用添加元素的 AgPd 合金作为贵金属覆层时，其硬态硬度($HV_{0.2}$)一般大于 250，基带则采用高硬高弹的 MX215 或 MX96。国内外关于添加元素对 AgPd 电刷材料的制备、组织、力学性能、耐磨性能都进行了研究^[6-9]。而在复合电刷片生产过程中，贵金属覆层的两侧存在白色的亮带现象一直困扰相关电刷材料生产厂家，白色亮带的存在，不仅影响产品的外观质量，对产品质量也存在影响，而关于白带的形成机理尚无相关研究。本论文将对 AgPdCu/MX215 复合带材白带形成机理进行分析，为生产工艺改进提供参考。

1 实验

实验材料的贵金属覆层为 AgPdCu，基层为 MX215。基层经开槽、热轧复合、扩散退火、酸洗、冷轧等工艺制备出厚度为 0.06 mm，宽度为 12 mm 的镶嵌复合带材。贵金属覆层的宽度为 2 mm，厚度为 0.005 mm。复合前贵金属覆层和基层的化学成分以及复合后硬度如表 1 所示。

表 1 AgPdCu/MX215 复合材料化学成分及复合后硬度

Tab.1 The compositions (mass fraction) and hardness of AgPdCu/MX215 composite strip

位置	化学成分/%					$HV_{0.05}$
	Ag	Pd	Cu	Ni	Sn	
基材	—	—	73.10	21.05	5.12	220
覆层	41	41	18	—	—	290

采用扫描电镜对复合带材的表面和横断面进行形貌观察以及能谱分析。

2 结果及分析

2.1 宏观形貌

复合带材的表面宏观形貌如图 1 所示。



图 1 AgPdCu/CuNiSn 复合带材宏观形貌

Fig.1 The macroscopic features of AgPdCu/MX215 composite strip

由图 1 可知，在贵金属覆层两侧均存在白带，白带宽度大约为 0.1 mm，说明白带的成分与贵金属覆层和基带的成分完全不同，才显示出不同的颜色。

2.2 表面微观组织及能谱分析

复合带材的表面微观形貌如图 2 所示。从图 2 中可以看出，表面由基体、龟裂区、界面、贵金属覆层组成，龟裂区类似于鳞片状金属镶嵌于基体上，颜色明显偏白，其宽度大约 10 μm ，这是由于此区域材料的塑性变形能力小或有脆性相的生成，在轧制过程中，产生了表面撕裂而形成。轧制过程中，鳞片状金属可能脱落，黏附于轧辊上，而碾伤带材的其他部位，导致整卷带材报废。将其加工成微型电机电刷片后，带电摩擦过程中，鳞片状金属容易产生脱落，而且易产生电弧，导致电机提早失效。因此龟裂区的存在对产品质量存在很大的危害。

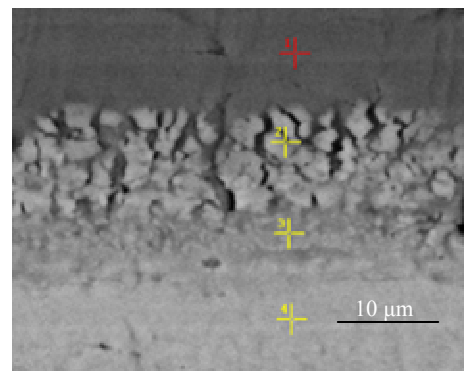


图 2 表面微观组织

Fig.2 The surface microstructure

带材表面的能谱分析如表 2 所示。基体(1 点)和贵金属覆层(4 点)的成分与标配成分基本相同，界面区(3 点)的成分基本是一个均匀混合区，但银含量偏低。龟裂区的 Sn 含量很高，达到 11.26%，远大于基体中 Sn 的含量(5%)，而银含量很低，只有 4%

左右, 由于基带本身由 Cu、Ni、Sn 组成, 此区域的 Ag 含量又很低, 因此可以断定龟裂区的脆性相主要是 Pd 与 Sn 的金属间化合物。

表 2 表面能谱分析

位置	$\omega(\text{Ag})$	$\omega(\text{Pd})$	$\omega(\text{Cu})$	$\omega(\text{Ni})$	$\omega(\text{Sn})$
1 点	—	—	73.96	20.83	5.21
2 点	04.08	29.18	43.93	11.55	11.26
3 点	9.73	22.46	49.81	13.51	4.45
4 点	48.50	35.78	15.72	—	—

2.3 横断面微观形貌及能谱

复合带材的横断面显微形貌如 3 所示。由图 3 可知, 其横断面由基带、扩散界面和贵金属覆层组成, 扩散界面和贵金属覆层厚度分别为 2 μm 和 5 μm , 贵金属覆层的界面较基层界面比较平直, 而基带界面凹凸不平。

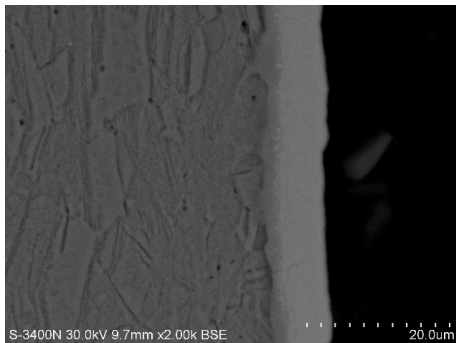


图 3 AgPdCu/MX215 复合带材横断面形貌
Fig.3 The cross-sectional morphology of AgPdCu/MX215 composite strip

图 4 为界面处的线扫描能谱。从图 4 可知, 在界面处, Ni、Cu 的能谱线呈线性变化, 是逐渐过渡结合, Ag 能谱线有一个突降, 这与图 2 中的 2 点和 3 点相对应, Pd 和 Sn 的能谱线同时增高, Sn 的能谱变化幅度强于 Pd 的变化幅度, 在界面的两侧, Pd 和 Sn 含量有一个明显下降的阶段, 说明 Pd 和 Sn 是一个互扩散的过程, Pd 和 Sn 同时存在时, 两者的扩散速率增大, 形成 Pd 和 Sn 金属间化合物, 属于反应扩散范畴。

从 Pd-Sn 相图可知, 钯和锡能形成很复杂的金属间化合物, 包括 PdSn、PdSn₂、PdSn₃、PdSn₄、Pd₂Sn、Pd₃Sn、Pd₈Sn₂₄、Pd₄Sn₁₆、Pd₁₆Sn₃₂ 等, 其

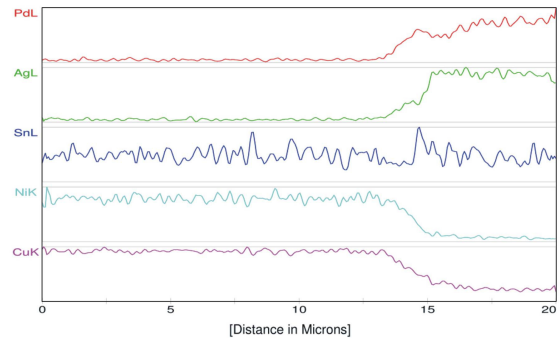


图 4 界面线扫描能谱
Fig.4 The line scanning of interface

中 PdSn₂、PdSn₃ 和 PdSn₄ 为低温生成相, 形成温度分别为: 600 $^{\circ}\text{C}$ 、345 $^{\circ}\text{C}$ 和 295 $^{\circ}\text{C}$ 。热覆合和扩散退火温度一般在 600~800 $^{\circ}\text{C}$, 冷却方式为自然冷却, 在此温度下热加工和热处理, 空冷的条件下, 形成低温相的可能性比较大, 如 PdSn₂、PdSn₃、PdSn₄ 等, 而且 PdSn₄ 形成的可能性最大。

2.4 白带形成机理

图 5 为贵金属覆层和基体侧面连接处的金相组织。从图 5 可知, 在侧面交接处, 贵金属覆层和基体呈三角形搭接(反燕尾槽搭接), 贵金属覆层越来越薄, 在表面交接处, 基本全部转变为界面, 而且界面有向外铺展的迹象。

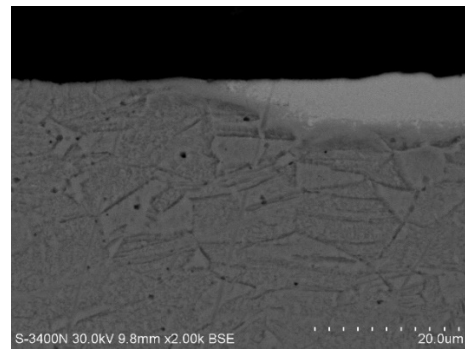


图 5 连接处金相组织
Fig.5 The microstructure of connection position

白带形成机理如图 6 所示。在复合之前, 贵金属覆层厚度大于基体开槽的深度, 而其宽度小于基体开槽的宽度, 是间隙配合, 这是热复合时的定位公差。热复合过程中, 由于基带硬度小于覆层硬度, 首先是贵金属覆层被压入基带, 被排挤的基体进入侧面的间隙, 形成小的三角形过渡, 覆层的底部被固定, 但覆层和基体侧面还是存在间隙的, 对于贵

金属覆层而言,形成了类似于底部宽度固定,上部为自由轧制,随着轧制变形量的进一步增大,覆层变薄,从上到下出现了倒三角形的宽展,越接近表面,贵金属覆层越薄。在压力和热的作用下,贵金属覆层与基带各元素相互扩散,形成了一层很薄的界面,在随后的扩散退火过程,界面层增厚。冷轧过程中,随着带材的整体变薄,界面也逐渐变薄,

尤其是表面交接处,界面最薄。界面中含有大量的 PdSn 金属间化合物,其塑性变形能力没有基体和贵金属覆层强,随着变形量的增加,交接处界面被拉扯,产生了龟裂,并有向外扩展的迹象,由于视觉或界面本征颜色差的原因,在表面交界处明显可见两条平行的白带。

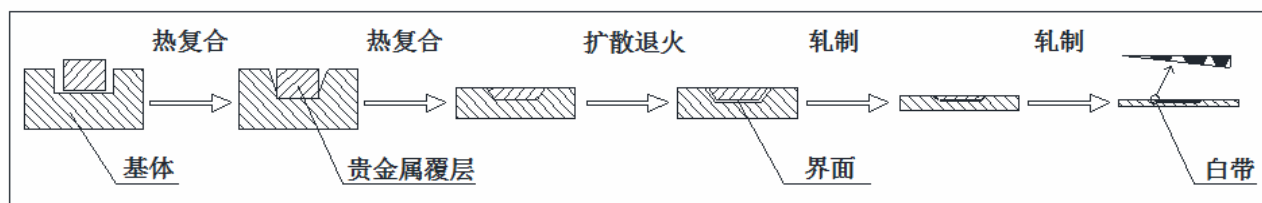


图 6 白带形成示意图 Fig.6 The formation schematic diagram of white bright band

3 结论

1) 白带的形成机理:在热复合和热处理过程中形成了界面,界面中含有大量脆性的 PdSn 金属间化合物,其与基带和贵金属覆层的变形不协调,轧制过程中,表面的界面位置被撕裂,产生龟裂,而显示出不同的颜色差,外观上看来,显示出两条明显的白带。因此,只要有界面的存在,白带不可能消失,只可能尽量减小白带的宽度。

2) 应对措施:在保证复合成功的前提下,尽可能降低热复合和热扩散温度,从而减小界面层厚度,这是最有效的方法。也可采用表面打磨、减少两次退火之间的累积变形量等方法来减小白带的宽度。

参考文献:

- [1] 章应,徐永红,廖国君,等. 微电机用环保复合金属材料现状及发展趋势[J]. 电工材料, 2008(3): 33-37.
[2] 武海军,谭文进,万吉高,等. Pd-Ag-Sn-In-Zn 合金时

效特性[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(4): 667-670.

- [3] 王勇,胡建旗,徐永红,等. 电刷材料 Ag-Pd-Cu-X 合金的热变行为分析[J]. 重庆大学学报, 2014, 37(3): 10-15.
[4] 周世平. 高强度 Pd-Ag-Cu 合金电刷材料[J]. 贵金属, 1999, 20(4): 23-26.
[5] 田茂江,王勇,喻文新. 合金元素对电刷材料 AgPd50 组织及性能影响[J]. 电工材料, 2017(4): 3-5.
[6] YH BAEK, BM CHUNG, YS CHOI, et al. Effects of Ni₃Sn₄ and (Cu,Ni)₆Sn₅ intermetallic layers on cross-interaction between Pd and Ni in solder joints[J]. Journal of alloys & compounds, 2013, 579: 75-81.
[7] 赖康木,张永俐. Pd-Ag/BZn 复合材料及其在微电机上的应用[J]. 贵金属, 1993, 14(4): 34-39.
[8] 陈黎莉,张康侯. Pd-50Ag/BZn15-20 复合材料的回复热处理[J]. 贵金属, 1990, 11(1): 21-24.
[9] 匡纲要,徐永红,王勇. 新型电刷材料 AP-2 的应用研究[J]. 微电机, 2013, 46(2): 71-75.