

Ag-Cu-Ce 合金的电阻率研究

柳青, 王健, 武海军, 李强, 贺晓燕, 卢绍平*
(贵研铂业股份有限公司 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106)

摘要: 利用扫描电镜、双臂电桥法分析了加工变形量和退火温度对 Ag-Cu-Ce 合金电阻率的影响。结果表明: Ag-Cu-Ce 合金的电阻率随着加工变形量的增加而增大, Cu 的加入使 Ag-Ce 合金电阻率稍有升高; 当退火温度大于 600℃ 时, Ag-Cu-Ce 合金的电阻率急剧升高, 电性能变差。
关键词: 金属材料; 银铜铈合金; 银铈合金; 电阻率
中图分类号: TG146.3⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2014)S1-0080-04

The Study on the Resistivity of Ag-Cu-Ce Alloys

LIU Qing, WANG Jian, WU Haijun, LI Qiang, HE Xiaoyan, LU Shaoping*
(State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals,
Sino-Platinum Metals Co. Ltd., Kunming 650106, China)

Abstract: The effect of machining deformation and annealing temperature on the resistivity of Ag-Cu-Ce alloys was studied by scanning electron microscopic (SEM) and double bridge method. The results indicated that the resistivity of Ag-Cu-Ce alloys increased with increasing of machining deformation, the addition of Cu in Ag-Ce alloys increased its resistivity slightly, and the resistivity of Ag-Cu-Ce alloys improved sharply when the annealing temperature is higher than 600℃, then the electrical properties became worse.

Key words: metal materials; silver-copper-cerium alloys; silver-cerium alloys; resistivity

选择 Ag-RE 合金中最具有代表性的 Ag-Ce 合金^[1-2]作为研究对象, 通过添加适量的 Cu 元素, 增加其强度、耐磨性、耐热性和耐电蚀能力, 使之兼有较好的机械性能与电接触性能。新开发的 Ag-Cu-Ce 电接触材料结合了 Ag-Ce 合金与 Ag-Cu 合金的优点, 不仅可代替 Ag-Ce 合金和部分含镉材料使用, 还可制成层状复合材料作为滑动触头使用。

文献^[3-5]研究报道了 Cu 对 Ag-Ce 合金的机械性能、再结晶温度、触头电弧侵蚀形貌特征、组织与结构等影响。研究表明: Ag-Ce 合金中添加 Cu 后, 基体为 Ag(Cu) 固溶体, 晶粒较小, 基体上弥散分布着许多共晶析出的 β -Cu 和 Ag₄Ce 颗粒, Cu 的加入改善了 Ag₄Ce 的偏析现象, AgCe 合金硬度 Hv 提高了

48, 抗拉强度提高了 178 MPa, 再结晶温度提高 150℃ 左右, 同时 Ag-Ce 触头的抗裂纹扩展能力、抗转移能力和耐磨性能得到改善, 减少了溅射损耗, 增加使用寿命。本文将重点考察加工变形量和退火温度对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响。

1 实验部分

1.1 样品制备

以纯度(质量分数)为 99.99% 的 Ag 和 99.95% 的 Cu、Ce 作原料(合金的理论成分设计如表 1 所示)配料, 放入 40 kW 真空中频炉内, 抽真空充氩, 熔炼并浇铸圆锭, 经过冷轧和冷拉, 最终得到丝材料

收稿日期: 2014-07-31

基金项目: 云南省科研院所技术开发专项(2006KFZX-13)、2009 年国家科技部科研院所技术开发专项。

第一作者: 柳青, 男, 工程师, 研究方向: 贵金属合金材料。E-mail: liuqing61@ipm.com.cn

*通讯作者: 卢绍平, 男, 高级工程师, 研究方向: 贵金属合金及其复合材料。E-mail: lusp@ipm.com.cn

品。为保证 Ce 有效添加, 熔炼时 Ce 的加入量略大于名义含量, 并用银箔包好加入经多次抽真空除气的熔液内。

表1 Ag-Ce和Ag-Cu-Ce试样理论成分含量

Tab.1 Compositions of Ag-Ce and Ag-Cu-Ce samples

合金	Cu/%	Ce/%	Ag
Ag-Ce	—	0.4~0.6	余量
Ag-Cu-Ce	4~8	0.4~0.6	余量

1.2 实验方法及仪器

采用 Philips XL30 ESEM-TMP 型扫描电镜观察金相样品。用双臂电桥法 (如图 1 所示) 在 QJ36 型单双臂两用电桥上测定样品的电阻率。测量时的温度为 17~19℃, 测量精度为 0.02%。测试样品为经过 0~80% 变形量拉拔和 300~700℃/0.5 h 退火后的丝材。

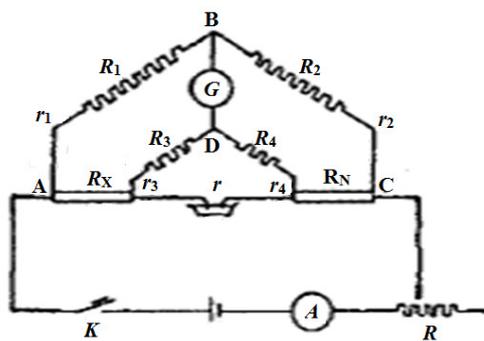


图 1 双臂电桥电路图

Fig.1 Double bridge circuit diagram

双臂电桥法要求样品平直、光滑、尺寸均匀。图 1 中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为可调电阻, R_X 为待测电阻, R_N 为标准电阻, r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 及 r 为引线电阻, 在电桥设计中取 $R_1/R_2=R_3/R_4$, 并将这些电阻值设计得较大, 由于引线电阻很小, 一般忽略不计, 因此 $R_X=R_N R_1/R_2$ 。然后根据公式(1)计算电阻率:

$$\rho=R_X S/L \quad (1)$$

式中, ρ 为电阻率, $\mu\Omega\cdot\text{cm}$; R_X 为试样电阻, Ω ; S

为试样横截面面积, mm^2 ; L 为试样长度; cm 。

2 结果与讨论

2.1 变形量对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响

冷加工变形会使金属材料的晶格产生畸变, 晶粒破碎, 位错密度增加, 最终导致电子散射机率增大, 故而合金电阻率随加工变形量增大而增加^[6]。图 2 为加工变形量对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响。

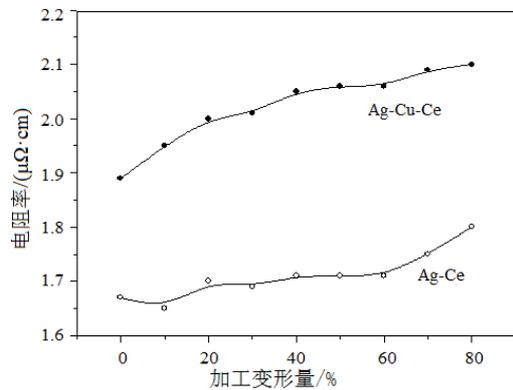


图 2 变形量对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响

Fig.2 Effect of deforming rate on resistivity of Ag-Cu-Ce alloy

从图 2 可以看出, 在相同变形量下, Ag-Cu-Ce 合金的电阻率大于 Ag-Ce 合金。Ag-Cu-Ce 合金的电阻率在软态时为 $1.88 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, 变形量为 80% 时达到最大值 $2.1 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, 总增加率为 11.7%, 冷加工变形使 Ag-Cu-Ce 合金电阻率大幅度增加。而 Ag-Ce 合金的电阻率在变形量为 10% 时达到最小值 $1.65 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, 变形量为 80% 时达到最大值 $1.8 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, 总增加率为 9%, 冷加工变形使 Ag-Ce 合金电阻率稍有增加。

Ag-Cu-Ce 合金的电阻率增加幅度较 Ag-Ce 合金大。为考察电阻率与合金物相结构的关系, 对 Ag-Ce、Ag-Cu-Ce 合金进行了金相观察, 如图 3、4 所示。

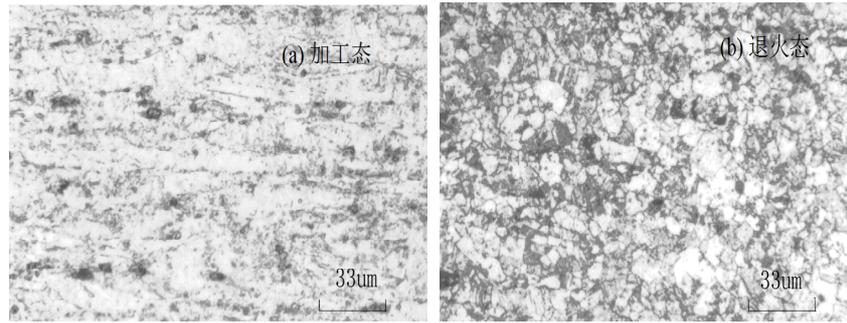


图 3 Ag-Ce 合金不同处理态金相

Fig.3 Metallurgical structure of Ag-Ce alloy under different treatment conditions

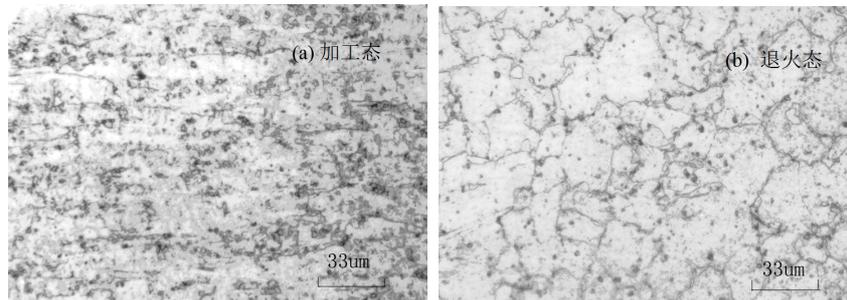


图 4 Ag-Cu-Ce 合金不同处理态金相

Fig.4 Metallurgical structure of Ag-Cu-Ce alloy under different treatment conditions

从图 3(a)和图 4(a)可知, Ag-Cu-Ce 合金中有大量弥散分布的第二相粒子及固溶的 Cu 原子, 它们使合金加工变形后产生的空位、位错和层错等晶体缺陷大大增加, 电子定向流动时被这些缺陷散射而使电阻的增加率较大。

2.2 退火温度对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响

图 5 显示了退火温度对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响。

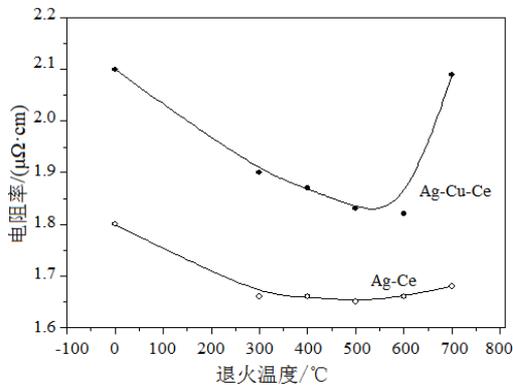


图 5 退火温度对 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率影响

Fig.5 Effect of annealing temperature on resistivity of Ag-Cu-Ce alloy

由图 5 可知, 随着退火温度的升高, Ag-Ce 合金和 Ag-Cu-Ce 合金的电阻率开始降低, 当退火温度高于再结晶温度时 Ag-Ce 合金和 Ag-Cu-Ce 合金的再结晶温度分别为 450°C 和 600°C^[3]电阻率升高, 即 Ag-Ce 合金在退火温度大于 600°C 时, 材料的电阻率随着温度的增加变化较小, 而 Ag-Cu-Ce 合金却大幅增加。在相同热处理条件下, Ag-Cu-Ce 合金的电阻率明显大于 Ag-Ce 合金。这主要因为材料的组织结构不同引起的, Ag-Cu-Ce 合金基体由 Ag(Cu) 固溶体组成, 固溶在合金中的 Cu 原子增加了对电子的散射作用, 使电阻率增大。

Ag-Ce 合金通过退火可以减少或消除因冷加工变形产生的缺陷 (如图 3(b)所示), 电阻率相应降低。而 Ag-Cu-Ce 合金在 0~600°C 的范围内退火, 随着温度升高电阻率下降。一方面 Ag-Cu-Ce 合金中位错的消失或重排, 显微结构内部缺陷减少 (如图 4(b)所示), 小的无畸变晶粒逐渐取代了位错密度很高的冷变形晶粒, 电阻率下降; 另一方面, β -Cu 和 Ce 化合物从 Ag 基体中析出, 减小了由于 Cu、Ce 固溶引起的晶格散射。在 0~600°C 范围内随着温度的升高, 合金元素 Cu 从固溶体中的析出更加充分, 析出相也更易聚集长大, 使得导电性能变好, 电阻率

下降。当退火温度大于 600℃时,析出相聚集,并伴随有析出相在晶界处富集,Cu 固溶到基体中,由杂质等引起的散射电阻增加,导致电阻率急剧升高,电性能变差。所以为了使 Ag-Cu-Ce 合金获得较佳的强度和电性能搭配,合金的退火温度不应高于 600℃。

3 结论

(1) Ag-Cu-Ce合金的电阻率随着变形量的增加而增大,Cu的加入使Ag-Ce合金电阻率稍有升高。

(2) 当退火温度大于 600℃时,Ag-Cu-Ce 合金的电阻率急剧升高,电性能变差。为了使 Ag-Cu-Ce 合金获得较佳的强度和电性能搭配,Ag-Cu-Ce 合金的退火温度不应高于 600℃。

参考文献:

- [1] 杨应魁,费家祥,王永根. AgCe 电触头线材的制备[J]. 电工材料,2005(3): 15-17.
Yang Y, Fei J, Wang Y. Preparation of AgCe alloy wire for electrical contact materials[J]. Electrical Engineering Materials, 2005(3): 15-17.
- [2] 赵怀志,卢邦洪,刘雄. 银铈电接点材料的研究[J]. 稀土,1981(1): 28-32.
- Zhao H, Lu B, Liu X. Research on Ag-Ce electrical contact material[J]. Chinese Rare Earths 1981(1): 28-32.
- [3] 贺晓燕,周世平,王健,等. Cu 对 AgCe 合金机械性能及再结晶温度的影响[J]. 贵金属,2008,29(2): 11-14.
He X, Zhou S, Wang J, et al. Effect of Cu on mechanical properties and recrystallization temperature of AgCe alloy [J]. Precious Metals, 2008, 29(2): 11-14.
- [4] 贺晓燕,周世平,王健,等. Cu 对 Ag-0.5Ce 触头电弧侵蚀形貌特征的影响[J]. 贵金属,2009,30(1): 17-21.
He X, Zhou S, Wang J, et al. Effect of Cu on surface morphology after arc erosion of Ag-0.5Ce Contact[J]. Precious Metals, 2009, 30(1): 17-21.
- [5] 俞建树,贺晓燕,周世平,等. Cu 对 Ag-Ce 合金组织与结构之影响[J]. 贵金属,2013,34(3): 37-40.
Yu J, He X, Zhou S, et al. Effect of Cu addition on the microstructure of Ag-Ce alloys[J]. Precious Metals, 2013, 34(3): 37-40.
- [6] 黄锡文. 电触头材料的导电性探讨[J]. 电工合金,1998(3): 26-32.
Huang X. Research on electrical conductivity of electrical contact materials[J]. Electrical Engineering Alloy, 1998(3): 26-32.