

# Study on the Effect of Magnesium and Tellurium on Property of As Cast Copper Alloy

Mei-juan Zhang, Liang Chen, Bin Ya, Fei Jia, Xing-guo Zhang

School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian in Liaoning Province, China

Email:zxgwj@dult.edu.cn

**Abstract:** This research is relative to the copper alloy with elements of Mg and Te which may affect the tensile strength and electric conductivity. In this research, Mg and Te was added into the copper to smelt, and the microstructure, tensile strength, elongation and conductivity of the copper alloy was tested and analyzed. The results showed that the alloy with elements of trace Mg and Te has advantages of high tensile strength and good elongation, but the electrical conductivity of Cu-Mg-Te alloy with high content of Mg will markedly decrease. So it is better to control the content of Mg with a low value.

**Keywords:** Cu-Mg-Te alloy; Mg; Te; tensile strength; electrical conductivity

## 镁和碲元素含量对导电铜合金性能影响的研究

张美娟, 陈亮, 亚斌, 贾非, 张兴国

大连理工大学材料科学与工程学院, 辽宁省大连市, 中国, 116024

Email:zxgwj@dult.edu.cn

**摘要:** 本文研究了镁和碲元素含量对导电铜合金的显微组织、力学性能及导电率的影响。向铜中加入镁和碲元素进行合金的熔炼, 并对其进行显微组织、抗拉强度和延伸率, 以及导电性等性能的测试分析。结果表明, 在铜中加入少量的镁元素和碲元素, 与纯铜相比具有较高的抗拉强度和延伸率, 但是镁含量偏高时合金的导电率显著下降, 因此, 应控制合金中镁含量处于较低值。

**关键词:** 铜合金; 镁; 碲; 抗拉强度; 导电率

### 1 引言

高强高导电铜合金是一类具有优良的综合物理性能及力学性能的功能材料, 是制备集成电路引线框架、电车及电力火车架空导线、连铸机结晶器内衬、大型高速涡轮发电机的转子导线、电阻焊电极等的优良材料。近年来随着电子工业的迅速发展, 高强高导电铜合金日益成为人们研究的热点, 目前开发研究的有 Cu-Ag, Cu-Cr-Zr, Cu-Sn 和 Cu-Ni-Si 等系列<sup>[1-5]</sup>。Mg、Te 与其它强化元素相比, 密度较小, 有利于降低铜合金的比重, 较小的加入量可以起到显著的强化效果, 并保持较高的导电率, 且具有较低的成本, 因此 Cu-Mg-Te 系合金的开发受到了广泛的关注。Te 的加入可改善 Cu 的抗电弧能力和易切削性, 而不显著降低合金的导电性; Mg 的加入可以提高合金的强度, 同时 Mg 是一种活泼元素, 冶炼过程中的除气除氧效

果明显, 可提高铸锭的品质<sup>[6]</sup>。因此, 研究 Mg、Te 元素对导电铜合金的强化机制, 分析合金元素含量对铜合金性能的影响规律, 开发新型高强高导电铜镁合金具有重要的研究应用价值。

### 2 实验方法

#### 2.1 合金的制备

实验用材料: 5N 以上的电解铜, 添加不同含量的 Mg、Te (4N) 合金元素, 在普通大气环境下进行熔炼; 熔炼设备: SPZ-15 翻倒式中频感应炉; 覆盖剂: 鳞片石墨; Mg、Te 元素采用中间合金的形式加入, 并用紫铜箔包好以减少其烧损; 脱氧剂采用质量百分比为 14.3% 的 Cu-P 中间合金; 浇注温度为

1200±20℃; 铸锭尺寸为 Φ82mm×130mm。为了减轻合金的氧化和铸锭中气孔缺陷, 采用高纯氩气精炼, 熔炼和浇注时用氩气保护。

#### 2.2 试样的检测

资助信息: 国家自然科学基金资助项目(50875031)

用 X 射线荧光光谱仪测量了熔炼后合金的成分, 用光学显微镜观察铸锭的显微组织 (腐蚀剂为氯化铁酒精溶液: 氯化铁 2g, 盐酸 3ml, 无水乙醇 96ml), 采用电子探针测试合金元素的分布情况, 用 XRD-6000 型 X 射线衍射仪分析合金的相组成。用 CSS-2205 型电子万能材料试验机在室温条件下测试合金的拉伸性能, 试样标称直径为  $\Phi 6\text{mm}$  的标准拉伸试样。用 D60K 数字金属电导率测量仪测试材料的导电率, 试样尺寸为  $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 合金的成分分析

经 X 射线荧光光谱仪分析, 合金中 Mg、Te 元素的平均实际含量如表 1 所示。由于在普通大气环境下进行合金的高温熔炼和浇注, 存在合金元素烧损严重, 且不容易稳定控制的问题, 试验中采用中间合金代替纯金属的方式加入到 Cu 液中, 使得合金元素的烧损得到较稳定的控制。对比合金元素的设计量, Mg 和 Te 的平均烧损率各为 30%和 60%左右。

Table 1. The nominal and actual ingredient of Cu-Mg-Te alloys

表 1. 合金成分的设计量与测得量

试样号	设计量 (%)		测得量 (%)	
	Mg	Te	Mg	Te
第 1 组	0.4	0.5	0.283	0.196
第 2 组	0.6	0.5	0.392	0.210
第 3 组	0.8	0.5	0.556	0.203
第 4 组	0.4	0.3	0.274	0.135
第 5 组	0.4	0.7	0.277	0.307

本试验中, 第 1、2、3 组试样形成一组以 Cu-0.20Te 为基的对比试验, 分析 Mg 元素的加入对合金组织和性能的影响; 第 4、1、5 组试样形成一组以 Cu-0.28Mg 为基的对比试验, 分析 Te 元素的加入对合金组织和性能的影响。

#### 3.2 铸态组织图

图 1 (a)、图 1 (b) 分别是成分为 Mg0.274%, Te0.135% 和 Mg0.392%, Te0.210% 的合金腐蚀后的铸态显微组织。X 射线衍射分析结果显示, 合金由 Cu-Mg 固溶体基体和第二相  $\text{Cu}_2\text{Te}$  组成。由图 1 (a) 可以看到, 当 Te 含量较低时, 第二相主要在晶界处析出, 聚集成短条状, 晶粒内部观察不到第二相; 由图 1 (b) 可

以看到, 当 Te 含量较高时, 第二相除沿晶界分布外, 还在晶粒内部以颗粒状存在。比较图 1 (a) 和图 1 (b) 可知, 合金中的第二相优先分布在晶界上, 随着 Te 含量的增多, 第二相的数量增加并在晶粒内部分布。

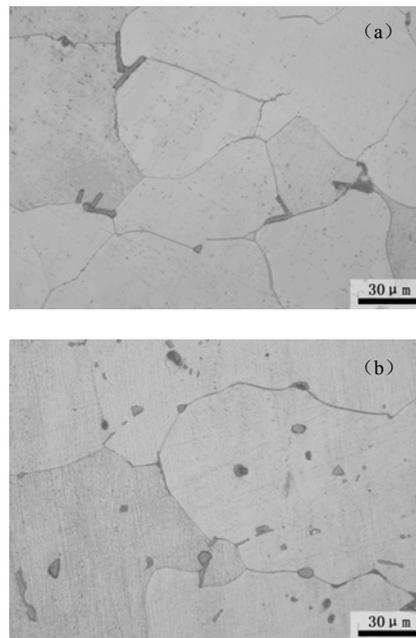


Figure 1. As cast microstructures of the alloys

图 1. 合金的铸态显微组织

(a) Mg0.274%, Te0.135% (b) Mg0.392%, Te0.210%

#### 3.3 拉伸性能

力学性能的测试结果如图 2、图 3 所示。从图 2 可以看出 Mg 含量越高, 合金的抗拉强度和延伸率越高。当 Mg 含量为 0.556% 时, 合金的抗拉强度达到 217.9 MPa, 延伸率达到 32.5%, 并且这三种成分合金的平均抗拉强度 (206.3 MPa) 大于 200 MPa, 平均延伸率 (30.4%) 也超过了 30%, 总体具有较好的抗拉强度和延伸率。图 3 中随 Te 含量的变化, 试样的抗拉强度和延伸率的变化都不大, 可以看出 Te 含量的变化对合金抗拉强度和延伸率的影响较小。

由铜镁合金相图[7]可知, 室温下 Mg 在 Cu 中的溶解度为 4 at% 左右, 有限固溶于 Cu 中的 Mg 元素, 对 Cu 合金起到固溶强化的作用, 使合金强度提高。Te 元素以第二相  $\text{Cu}_2\text{Te}$  的形式存在于晶界和晶粒内部, 但是  $\text{Cu}_2\text{Te}$  硬度不高, 为柔软相[8], 位错运动时很容易摆脱它的钉扎作用, 因此它对合金的强化效果不明显。

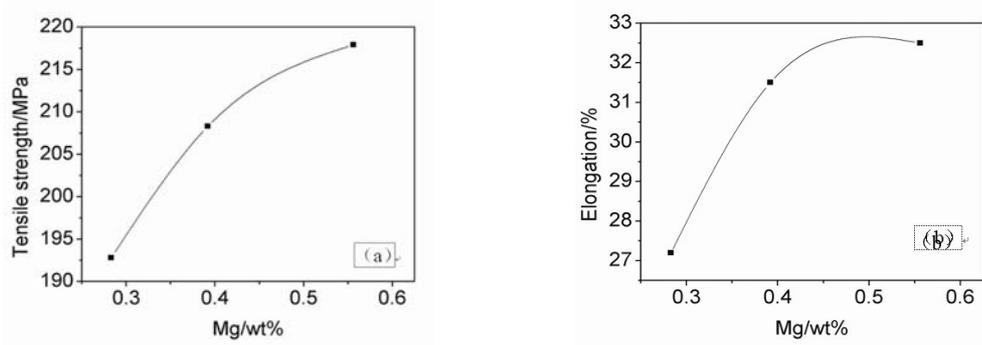


Figure 2. The relation of content of Mg and tensile property of alloys

图 2. Mg 含量与合金抗拉强度和延伸率的关系

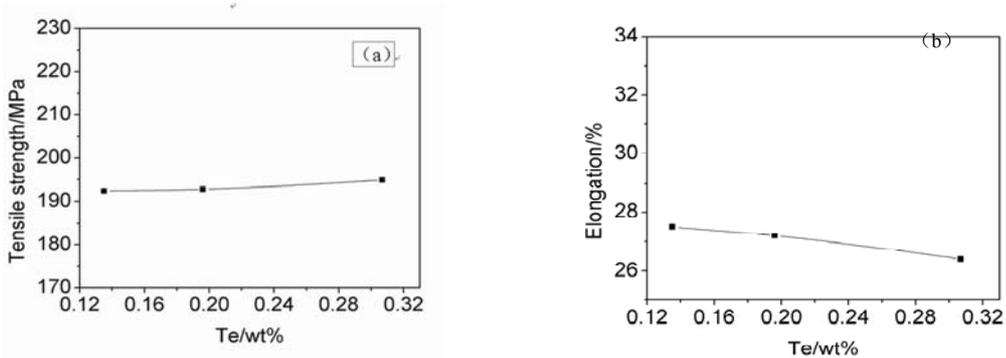


Figure 3. The relation of content of Te and tensile property of alloys

图 3. Te 含量与合金抗拉强度和延伸率的关系

### 3.4 导电率

导电率的测量结果如图 4 所示。图 4 (a) 表明，随着 Mg 含量的增加，合金的导电率降低。当 Mg 含量由 0.274% 增加到 0.556% 时，合金的导电率由 86.30% IACS 下降到了 59.00% IACS。观察图 4 (b) 中的曲线，当 Mg 含量较低时，合金的导电率均大于 80% IACS，曲线先有轻微上升而后又稍有下降，总体变化不大，说明合金中 Te 含量的增加对导电率的影响幅度不大。

根据元素周期表，Mg 的原子半径比 Cu 的原子半径大 10% 左右，因此 Mg 固溶到 Cu 的晶格点阵中，

占据点阵中八面体或四面体的间隙位置，必然引起合金的点阵畸变。点阵畸变对电子的运动有强烈的散射作用，使其电阻增大。同时由于组元间化学相互作用的加强使有效电子数减少，也会造成电阻的增长。根据马基申定律<sup>[9]</sup>，合金电阻由两部分组成：一是溶剂的电阻；二是溶质引起的附加电阻，它只与溶质原子的浓度有关，溶质原子的浓度越大，合金的电阻越大。所以随着 Mg 含量的增加，铜合金的导电率降低。同时，少量 Te 元素的加入对合金的导电率影响不大。导电理论指出，固溶于 Cu 基体中的原子引起的点阵畸变对电子的散射作用比第二相引起的散射作用强得多，这与试验结果相符。

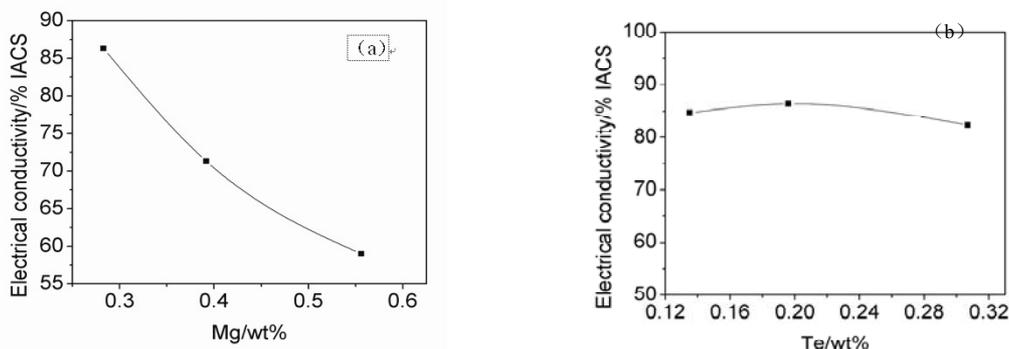


Figure 4. The relation of the content (Mg, Te) and the conductivity of alloys

图 4. Mg、Te 含量与合金导电率的关系

## 4 结论

(1) 合金中析出的第二相  $\text{Cu}_2\text{Te}$  优先分布在晶界上, 随着 Te 含量的增多, 第二相的数量增加并在晶粒内部分布。

(2) 加入少量 Mg 元素和 Te 元素的 Cu 合金, 具有较高的抗拉强度和延伸率, 平均抗拉强度大于 200 MPa, 平均延伸率大于 30%。

(3) 当 Mg 元素含量较高时 (0.556%), 合金的抗拉强度虽然高 (217.9MPa), 但其导电率却降低 (59.00% IACS)。因此, 应控制合金中 Mg 含量处于较低值 (如 0.28% 左右), 合金具有较高的导电率 (>80% IACS)。

## References (参考文献)

- [1] Tieming Guo, Genshun Ji, Qin Ma, et al. New Progress in Researches on Dispersion Hardening Copper Matrix Composite Materials [J]. Materials Review, 2007, 21(7): 27-35 (Ch). 郭铁明, 季根顺, 马勤等. 弥散强化型导电铜基复合材料的研究进展[J]. 材料导报, 2007, 21(7): 27~35
- [2] Bengui Li, Yan Yu, Zhiqiang Cao, et al. Mechanism and Research Status of Strengthening Cu-based Alloys [J]. Foundry, 2005, 54(10): 948-952 (Ch). 李本贵, 于艳, 曹志强等. 铜基合金的强化机理和研制现状[J]. 铸造, 2005, 54(10): 948~952;
- [3] Mei Yang, Li Qu. Analysis and Research on Optical Metallographic Microstructure of Cu-Te Alloy [J]. Material & Heat Treatment, 2006, 35(18): 68-71 (Ch). 杨湄, 瞿黎. Cu-Te 合金的光学金相显微组织分析与研究[J]. 热加工工艺, 2006, 35(18): 68~71;
- [4] Chunsheng Xie, Qiming Zhai, Wenqing Xu, Jiheng Wang. Study and Application Development of Strengthening Theory of Copper Alloy with High Strength and High Conductivity [J]. Heat Treatment of Metals, 2007, 32(1): 12-20 (Ch). 谢春生, 翟启明, 徐文清, 王冀恒. 高强度高导电性铜合金强化理论的研究与应用发展[J]. 金属热处理, 2007, 32(1): 12~20;
- [5] Zude Zhao, Hongyun Guo. The Handbook of Copper and Copper Alloy [M], 1st ed. Beijing: Science Press, 1993 (Ch). 赵祖德, 郭鸿运. 铜及铜合金材料手册[M], 第 1 版. 北京: 科学出版社, 1993;
- [6] Yanjie Wang, Gang Liu, Guanqiang Liu. Trial Production of Easy-cutting Sulphur Copper and Tellurium Copper and Their Structure and Properties [J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy, 2005, 21(5): 39-42 (Ch). 王艳杰, 刘刚, 刘关强. 易切削硫铜和碲铜棒材工艺试制及组织与性能[J]. 有色矿冶, 2005, 21(5): 39~42;
- [7] 《The Process Handbook of Heavy Non-ferrous Metal Materials》writers. The Process Handbook of Heavy Non-ferrous Metal Materials, Div1 [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1979 (Ch). 重有色金属材料加工手册编写组编, 重有色金属材料加工手册 (第一分册) [J]. 北京: 冶金工业出版社. 1979;
- [8] Peixing Liu, Xiaotang Liu, HuaNai Liu. The Process Handbook of Copper and Copper Alloy [M], 1st ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2008 (Ch). 刘培兴, 刘晓塘, 刘华鼐. 铜合金加工手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008;
- [9] Congceng Wang. Knowledge of Material Property [M], 1st ed. Beijing: Beijing University of Technology Press, 2001 (Ch). 王从曾. 材料性能学[M], 第 1 版. 北京: 北京工业大学出版社, 2001.