

[文章编号] 1004- 0609(2000)05- 0684- 04

热处理对 Cu-Cr(-Zr) 合金力学性能和导电性能的影响^①

廖素三, 尹志民, 蒋 牵, 姜 锋, 宋练鹏, 汪明朴

(中南工业大学 材料科学与工程系, 长沙 410083)

[摘 要] 制备了 Cu-Cr 和 Cu-Cr-Zr 二种合金板材, 研究了不同热处理工艺对合金的显微组织、力学性能和导电性能的影响。结果表明, 在本实验条件下, Cu-0.5Cr 合金经 960 ℃, 1 h 固溶和 450 ℃, 20 h 时效后, 抗拉强度为 363 MPa, 屈服强度为 274 MPa, 延伸率为 22%, 电导率达 81% IACS; 添加微量 Zr 到 Cu-0.5Cr 合金中, 在不降低合金延伸率情况下, 合金强度可提高 50 MPa, 但电导率降低约 10% IACS。

[关键词] Cu-Cr 合金; Cu-Cr-Zr 合金; 热处理; 显微组织

[中图分类号] TG146.1

[文献标识码] A

Cu-Cr 和 Cu-Cr-Zr 合金由于强度高、导电导热性能好, 在电工、电子、电机行业得到了广泛的应用^[1~3]。热处理对这类合金的组织 and 性能的影响很大, 一直是这类合金研究的重点^[3, 4], 本文研究了不同热处理工艺对 Cu-Cr 和 Cu-Cr-Zr 合金组织与性能的影响, 旨在为这类合金的成分和热处理工艺优化提供依据和参考资料。

1 材料制备及实验方法

试验合金成分为 Cu-0.5Cr 和 Cu-0.5Cr-0.2Zr, 在真空中频感应炉中熔炼, 之后采用半连续水冷铜模铸造。铸锭经铣面后在 850 ℃进行 12 h 均匀化处理, 热轧成 5 mm 板, 热轧板酸洗去氧化皮, 再冷轧成 2 mm 薄板。

为了探索固溶、时效工艺对合金力学性能和导电性能的影响, 先对固溶温度进行了筛选优化: 用热分析法测定了合金的共晶温度, 用金相法测定了固溶温度对晶粒度粗化的规律, 以及考虑固溶温度对板材变形等影响之后, 选择 Cu-0.5Cr 合金固溶温度上限为 1000 ℃, 试验的固溶温度为 920, 940, 960, 980 和 1000 ℃, 固溶时间为 1 h。根据科研组原有的预研工作, Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金的固溶温度选为 900 ℃, 固溶时间为 1 h。为了比较不同固溶温度对最终时效态性能的影响, 参照科研组原有的工作, 先将时效制度固定为 450 ℃, 12 h。固溶温度优化后, 接着对时效温度为 450 ℃下的时效时间进行

进一步优化, 时效时间为 1~ 24 h。热处理在马弗炉中进行, 样品固溶后水淬, 时效后采用空冷。

板材力学性能测试在 CSS-2200 型电子万能试验机上进行, 拉伸速度为 2 mm/min; 导电性能测试在 QJ19 型双臂两用电桥上进行。金相分析样品用重铬酸钾-盐酸溶液侵蚀, 之后在 Neophot-21 显微镜上观察晶粒组织和未溶粒子的形貌。在 KYKY-2800 扫描电镜上进行粒子的能谱成分分析, 金属薄膜样品的显微组织结构观察在 H-800 分析电镜上进行。

2 结果与讨论

2.1 不同处理态 Cu-0.5Cr 合金的显微组织与性能

2.1.1 固溶温度的影响

经不同固溶温度处理后, 合金再经 450 ℃, 12 h 时效后的力学性能和导电性能见表 1。不同固溶温度处理的合金的金相组织见图 1。

表 1 的结果表明, 随固溶温度升高, 合金强度特别是屈服强度明显提高, 但延伸率明显下降, 电导率也随之下降。920 ℃固溶, 基体晶粒较细, 但未固溶的残余铬粒子密度很大, 随固溶温度升高, 铬粒子溶入基体的量增多, 残留的量明显减少, 到 1000 ℃基体晶粒已非常粗大。综合考虑力学性能和导电性能以及板材固溶处理后的残余应力变形, 可以认为 960 ℃, 1 h 是最佳固溶处理工艺。

固溶处理温度对板材最终性能的影响可以从

① [基金项目] 湖南省自然科学基金资助项目(98JJY2030)

[收稿日期] 1999- 10- 06; [修订日期] 2000- 04- 08

[作者简介] 廖素三(1975-), 女, 硕士。

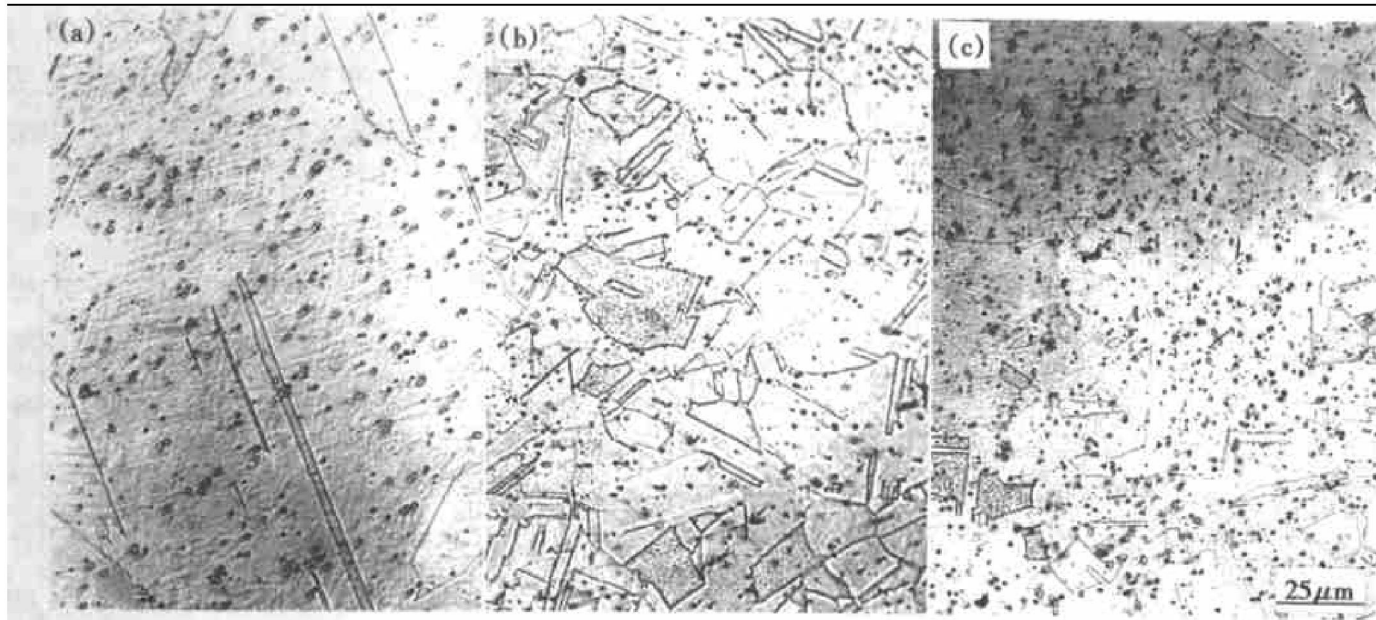


图 1 不同温度固溶的 Cu-0.5Cr 合金的金相显微组织

Fig 1 Metallographs of Cu-0.5Cr alloys after different solution treatments

(a) -1000 °C, 1 h; (b) -960 °C, 1 h; (c) -920 °C, 1 h

表 1 固溶温度对 Cu-0.5Cr 合金板材时效后性能的影响

Table 1 Effect of solution treating temperature on properties of aged Cu-0.5Cr sheet

Solution aging treating	Ultimate strength / MPa	Yield strength / MPa	Elongation / %	Electrical conductivity / % IACS
920 °C, 1 h+ 450 °C, 12 h	335	210	31	83.1
940 °C, 1 h+ 450 °C, 12 h	346	229	29	83.3
960 °C, 1 h+ 450 °C, 12 h	352	238	29	82.5
980 °C, 1 h+ 450 °C, 12 h	353	274	20	79.5
1000 °C, 1 h+ 450 °C, 12 h	360	291	19	79.3

Cu-Cr 合金相图得到解释^[5], Cu-Cr 合金相图的富铜区为共晶型, 共晶温度为 1070 °C, Cr 在 Cu 中的最大固溶度为 0.65%, 800 °C 下为 0.15%, 400 °C 下为 0.03%, 室温下接近零。随固溶温度升高, Cr 在 Cu 中的固溶度显著增加, 固溶后时效析出相也增加。因而合金强度随固溶温度升高而增大, 合金塑性则下降。另一方面, 固溶温度升高, 时效后较多的时效析出粒子对电子的散射增加, 因此, 合金电导率有所下降。

2.1.2 时效时间的影响

在 960 °C, 1 h+ 450 °C 时效条件下不同时效时间对合金力学性能及导电性能的影响见图 2。

图 2 的结果表明, 随时效时间延长, 合金抗拉

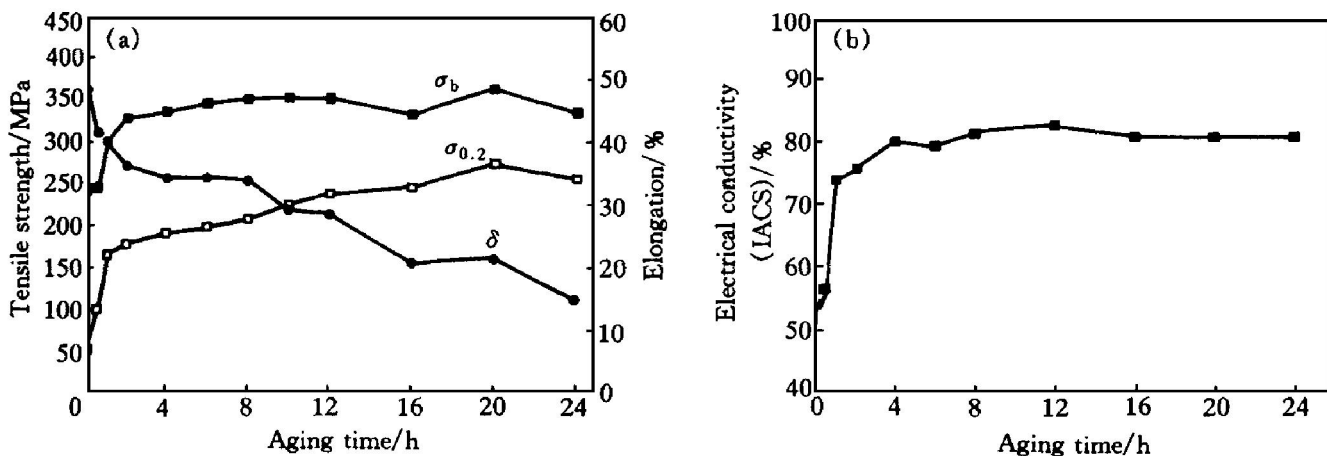


图 2 时效时间对 Cu-0.5Cr 合金性能的影响

Fig. 2 Effect of aging time on properties of Cu-0.5Cr alloy

(a) -Tensile properties; (b) -Electrical conductivity

强度和屈服强度明显提高，延伸率则下降，说明合金有显著的时效强化效果。与此同时，合金电导率也显著提高。经 450 °C，20 h 时效处理后合金的力学性能和导电性能达到最优值，抗拉强度、屈服强度和延伸率分别达到 363 MPa，274 MPa 和 22%，电导率达到 81% IACS。

时效过程主要是过饱和固溶体分解析出弥散 Cr 粒子的过程，透射电子显微分析结果表明，时效过程中固溶体基体中析出了大量纳米级的 Cr 粒子，随时效时间延长，Cr 粒子析出增加，作为代表，图 3 给出了 450 °C，1 h 时效处理态粒子的析出形态。按合金强化理论，合金得到强化，延伸率也随之下落。按固溶体复相导电理论，时效态合金的电导率主要受固溶体基体的固溶度控制，随时效过程中时效时间延长，Cr 粒子不断析出，固溶体中溶质 Cr 逐渐贫乏并接近纯铜基体，合金的导电性能相应提高并保持在一个平台的水平。

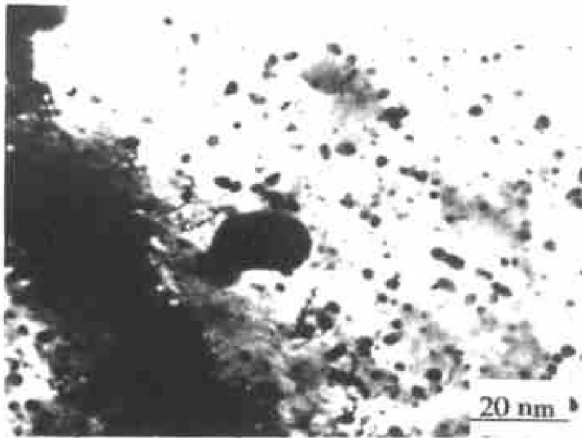


图 3 Cu-0.5Cr 合金时效态显微组织

Fig. 3 Microstructure of aged Cu-0.5Cr alloy

2.2 Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金的显微组织和性能

在 900 °C，1 h 固溶+ 450 °C 时效条件下，时效时间对 Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金的力学性能和导电性能的影响见图 4。固溶时效态的显微组织见图 5 和图 6。

比较图 2 和图 4，可以看出：随时效时间延长，合金强度增加，电导率增加，延伸率降低，两种合金的时效硬化规律基本相同；与 Cu-0.5Cr 合金峰值强度相比，添加微量 Zr 的 Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金强度提高了 50 MPa，延伸率仍保持在相近水平，电导率则下降了约 10% IACS。

图 5 的结果表明，与 Cu-0.5Cr 不同，Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金经 900 °C，1 h 固溶后，有三种未

溶的粒子残留在固溶体基体上，细小的点状粒子是纯铬粒子，亮颜色长条形粒子为铜铬化合物，褐黑色粒子为铜铬锆三元化合物。图 6 的结果则表明，时效态合金固溶体基体上析出大量的粒度为纳米级的沉淀相粒子。

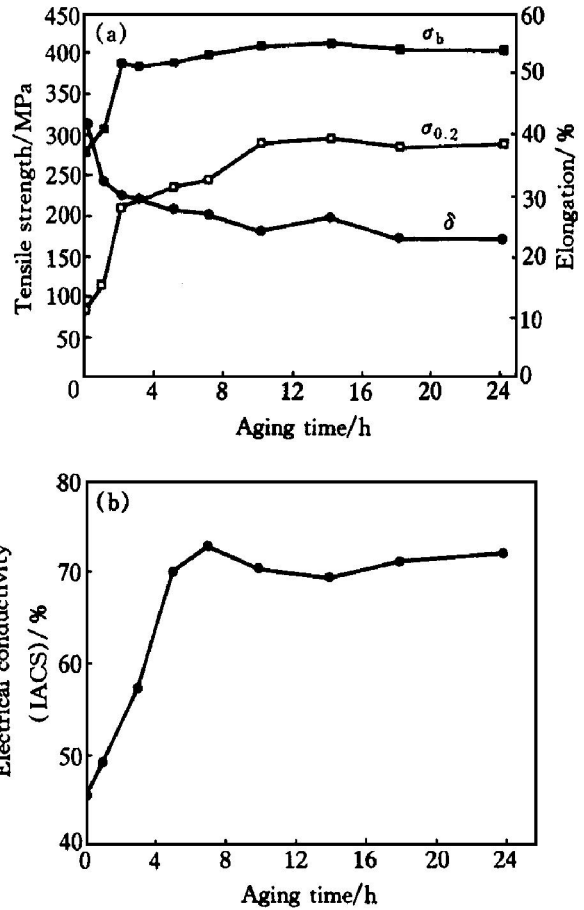


图 4 时效时间对 Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金性能的影响

Fig. 4 Effect of aging time on properties of Cu-0.5Cr-0.2Zr alloy

(a) —Tensile properties; (b) —Electrical conductivity

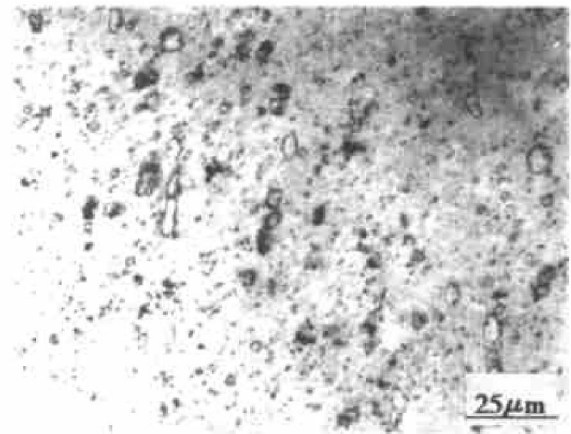


图 5 Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金 900 °C，1 h 固溶处理后的显微组织

Fig. 5 Metallographs of Cu-0.5Cr-0.2Zr alloy after 900 °C，1 h solution treatment

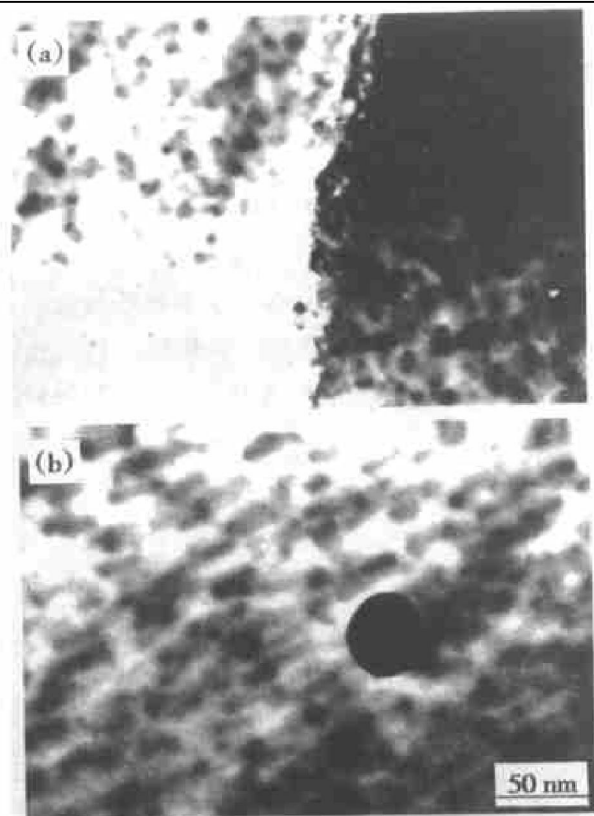


图 6 Cu-0.5Cr-0.2Zr 合金的透射电子显微组织

Fig. 6 Microstructures of Cu-0.5Cr-0.2Zr alloy
(a) -450 °C, 1 h aging; (b) -450 °C, 9 h aging

微量 Zr 添加到合金中对合金性能的影响机理, 目前还有不同的见解。迄今为止, 还没有建立完整的 Cu-Cr-Zr 三元相图。Zeng 等^[7]和 Weatherly 等^[8]认为, Zr 的加入可能形成 Cu_5Zr 或 $\text{Cu}_{4.2}\text{Zr}$ 的析出相, 这种相的出现会提高合金的强度和高温稳定性。本实验发现加入 Zr 形成了 Cu-Zr 和 Cu-Cr-Zr

二种化合物, 但时效析出相则没有明显变化。说明时效析出方面仍然有待深入。

[REFERENCES]

- [1] ZHAO Zr de (赵祖德), YAO Liang-jun (姚良均), GUO Hong-yuan (郭鸿远), et al. Manual of Copper and Copper Alloy Materials (铜及铜合金材料手册) [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [2] Igarashi T. Materials for lead frame [J]. Materia Japan, 1989, 28(1): 63.
- [3] Spaic S, Krizman A and Marinkovic V. The metallographical structure and property of copper alloys aging hardening by adding minor alloy element [J]. Metall of Western Germany, 1985, 39(1): 43- 48.
- [4] Yamane S. The foundation of high-strength high-electroconductibility copper alloy designation [J]. Journal of Japan Copper and Brass Research Association, 1990, 29: 12.
- [5] West E G. Copper and its alloys (铜和铜合金) [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1987.
- [6] LUO Feng-hua (罗丰华). The copper alloys used for the asynchronous traction motor rotor of high speed train (高速列车异步牵引电动机转子专用铜合金的研究) [D]. Changsha: Central South University of Technology, 1999.
- [7] Zeng K J, Härmäkinen M and Lilius K. Phase relationships in Cu-rich corner of the Cu-Cr-Zr phase diagram [J]. Scripta Metall Mater, 1995, 32(12): 2009.
- [8] Weatherly G C, Humble P and Borland D. Precipitation in a Cu-0.55% Cr alloy [J]. Acta Metallurgica, 1979, 27: 1815- 1828.

Effect of heat treatment on mechanical properties and electrical conductivity of Cu-Cr(-Zr) alloy

LIAO Su-san, YIN Zhi-min, JIANG Qian, JIANG Feng, SONG Lian-peng, WANG Ming-pu
(Department of Materials Science and Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China)

[Abstract] Cu-0.5Cr and Cu-0.5Cr-0.2Zr alloy plates were prepared. The effects of heat treatment on microstructure, mechanical properties and electrical conductivity have been studied. The results show that under 960 °C, 1 h solution treating and 450 °C, 20 h aging condition, the tensile strength, yield strength, elongation and electrical conductivity of Cu-0.5Cr alloy can reach 363 MPa, 274 MPa, 22% and 81% IACS respectively. Adding 0.2% Zr to Cu-0.5Cr alloy, the tensile strength and yield strength of the alloy increase by about 50 MPa. However, under this condition the electrical conductivity of the alloy decreases by 10% IACS.

[Key words] Cu-Cr alloy; Cu-Cr-Zr alloy; heat treatments; microstructures

(编辑 彭超群)