

文章编号: 1004- 0609(1999) 04- 0705- 04

# 微量 Zr 对 Cu-13Zn 合金组织和性能的影响<sup>①</sup>

尹志民 罗丰华 汪明朴 徐国富 左铁镛  
(中南工业大学 材料科学与工程系, 长沙 410083)

**摘 要:** 制备了 Zr 含量不同的三种 CuZn 合金, 通过拉伸力学性能测试、金相和电镜观察, 研究了微量 Zr 对合金组织和性能的影响。结果表明, 微量 Zr 对合金有明显的强化和提高退火过程中抗软化温度的作用; 微量 Zr 引起的强化来源于再结晶晶粒细化强化, 含 Zr 的第二相析出强化和亚结构强化 3 个方面。

**关键词:** 锆; 铜合金; 显微组织; 力学性能

**中图分类号:** TG146.1

**文献标识码:** A

转子导条是异步电动机关键材料之一。提高电动机起动转矩和降低起动电流的主要途径是适当提高导条的电阻率<sup>[1]</sup>, 但是导条电阻率增加后, 由于电动机频繁起动和堵转工况下强大电流的作用, 其温升可达 300 ℃<sup>[2]</sup>。另外, 转子高速旋转时承受各种应力的作用, 除了要求转子导条有稳定的电阻率特性外, 还要求在 300 ℃以上工作温度下有较高的强度和热稳定性<sup>[3]</sup>。中南工业大学材料系铜合金科研组在高强高导铜合金的基础上研制了微合金化的铜合金导条<sup>[4]</sup>, 本文主要报道单独添加微量 Zr 对 CuZn 合金冷变形后退火过程中组织和力学性能的影响。

## 1 材料制备与实验方法

### 1.1 材料制备

研究合金的名义成分见表 1。

原料采用 1 号电解铜和 1 号电解锌, 微量 Zr 以 Cu-12Zr 中间合金形式加入, 熔炼在 ZG-10 型中频感应炉中进行, 铁模铸造。铸锭经 840 ℃, 12 h 均匀化; 之后再经热轧-冷轧成材, 冷轧总变形量为 45%。

表 1 研究合金的名义成分

Table 1 Normal composition of tested alloys (mass fraction, %)

| Alloy | Zn | Zr  | Cu   |
|-------|----|-----|------|
| 1     | 13 | 0   | bal. |
| 2     | 13 | 0.1 | bal. |
| 3     | 13 | 0.3 | bal. |

### 1.2 实验方法

为了探讨冷轧后不同退火温度下合金组织、性能的变化规律, 退火温度取 350 ℃, 400 ℃, 500 ℃, 600 ℃, 700 ℃, 保温时间均为 1 h, 空冷; 拉伸样品长度方向与轧制方向一致, 拉伸实验在 Instron 8032 电液伺服实验机上进行; 金相组织和透射电子显微组织分别在 NEOPHOT-21 金相显微镜和 H-800 透射电镜上进行。

## 2 实验结果

研究合金冷轧后不同温度下退火的拉伸力学性能见图 1。

图1的结果表明, 与合金1相比, 添加微

① 收稿日期: 1999- 3- 17; 修回日期: 1999- 05- 20

尹志民, 男, 53 岁, 教授, 博士生导师

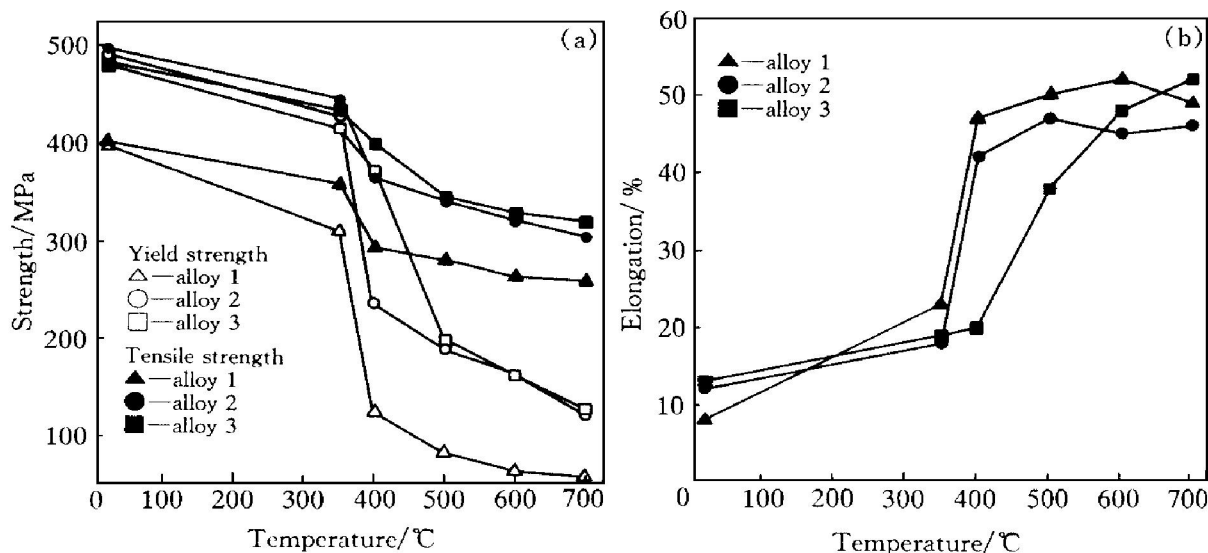


图 1 研究合金的拉伸力学性能与退火温度的关系

Fig. 1 Relationship between tensile mechanical properties and annealed temperature of studied alloys

量 Zr 的合金 2 和合金 3 强度有明显的提高; 经 500 °C, 1 h 退火, 屈服强度提高了约 100 MPa, 抗拉强度提高了约 60 MPa, 退火过程中合金抗软化的能力大大增强, 而延伸率仍保留在较高水平。

研究合金冷轧态的显微组织是纤维状, 晶粒沿冷轧方向拉长, 作为例子示意于图 2(a)。

冷轧后退火, 纤维组织逐步消失, 出现细小等轴的再结晶组织; 随退火温度升高, 再结晶晶粒粗化; 不同成份的合金, 再结晶温度范围不同, 合金 1 约为 350~400 °C, 添加微量 Zr 的合金 2 和合金 3 分别为 350~450 °C 和 400~500 °C。作为例子, 图 2(b)~2(e) 给出了退火后 3 种合金的显微组织形貌; 图 2(f) 则给出了经 500 °C, 1 h 退火后含微量 Zr 的合金的透射电子显微组织, 与合金 1 不同, 合金 2 和合金 3 基体上可以看到存在一些尺寸约为 50~100 nm 的第二相粒子。由于析出粒子的分布密度不大, 电子衍射花样未能给出足够的结构信息, 作者认为它是一种含 Zr 的铜铝化合物。

### 3 分析与讨论

本研究的主要对象为 Cu-Zn-Zr 三元系合

金。从 Cu-Zn 相图可知, 当 Zn 含量为 13% 时, Zn 主要和 Cu 形成铜基固溶体, 除有一定的固溶强化外, Zn 主要起调节合金电阻率的作用<sup>[5]</sup>。微量 Zr 在 Cu-Zn-Zr 合金中的主要存在形式应是和 Cu 形成的 Cu-Zr 二元系中所限定的铜铝化合物。Cu-Zr 二元相图的资料<sup>[6]</sup>表明, 当 Zr 量小于 0.65% 时, 合金凝固过程中 Zr 先固溶于铜基固溶体中, 随温度下降, Zr 的溶解度降低, 固溶体中析出 Cu<sub>3</sub>Zr。铸锭凝固过程中, 析出温度高, 析出的 Cu<sub>3</sub>Zr 粒子会比较粗大。为了提高 Cu<sub>3</sub>Zr 弥散析出的强化效果, 高导高强铝青铜采用冷轧后固溶时效处理技术, 可使 Cu<sub>3</sub>Zr 控制在 10nm 以下<sup>[7~10]</sup>。弥散的铜铝析出物有阻止或延迟合金再结晶的作用和析出强化的效果。比较图 2(b) 和 2(c), 可以看出, 添加微量 Zr 的合金 2 冷轧后退火, 其再结晶晶粒要比在同一温度下退火的合金 1 的细小得多。比较图 2(d) 和图 2(b) 可知, 适量 Zr 还具有阻延合金退火过程中再结晶的作用, 使退火组织中保留加工过程中形成的部分纤维状组织。图 2(e) 中显示出含 Zr 合金的亚结构组织。综上所述, 作者认为, 再结晶晶粒细化强化、亚结构强化和铜铝化合物析出强化是含微量 Zr 的 Cu-Zn 合金冷轧后退火强度和抗软化温度

提高的主要原因。

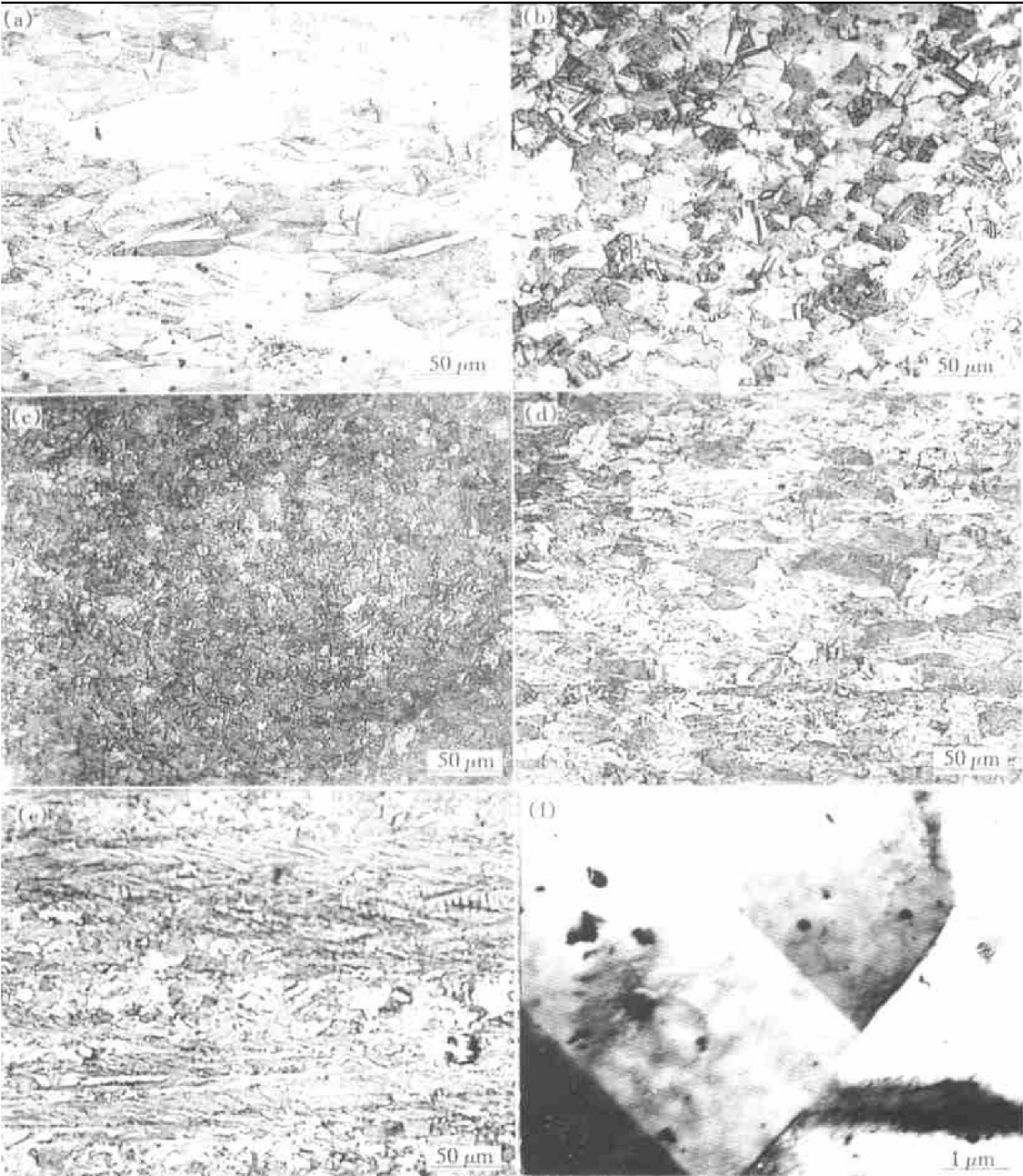


图 2 研究合金的显微组织

Fig. 2 The microstructures of studied alloys

- (a) —Alloy 1, cold rolled; (b) —Alloy 1, 400 °C/1 h annealed;  
(c) —Alloy 2, 400 °C/1 h annealed; (d) —Alloy 3, 400 °C/1 h annealed;  
(e) —Alloy 3, 500 °C/1 h annealed; (f) —Alloy 3, 500 °C/1 h annealed, TEM

4 结论

著提高合金冷轧-退火态的强度和抗软化的能力。

- (1) 微量 Zr 添加到 Cu-13Zn 合金中, 能显
- (2) 微量 Zr 在 Cu-Zn 合金中主要以铜锆

化合物的形式存在。含微量 Zr 的合金铜锆化合物引起的亚结构强化、再结晶晶粒细化强化以及铜锆化合物本身的析出强化是合金强度和抗软化性能提高的主要原因。

## REFERENCES

- 1 Li Fahai(李发海). Base of Electric Machine and Traction(电机与拖动基础), Beijing: Tsinghua University Press, 1994: 170~ 260.
- 2 Zhou Qizhang(周启章). Electrical Machinery Technology(电机技术), 1992(2): 1~ 5.
- 3 Pestle A H. IEEE Trans Industry Applications, 1986; 22(6): 1165~ 1173.
- 4 Yin Zhimin(尹志民), Wang Mingpu(汪明朴) *et al.* CN99101984. 9, 1999.
- 5 Luo Fenghua(罗丰华). Ph D Dessertation, (in Chinese). Changsha: Central South University of Technology, 1999.
- 6 Yu Jueqi(虞觉奇), Yi Wenzhi(易文质) *et al.* Constitution of Binary Alloy Book(二元合金相图集). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987.
- 7 Suzuki H. Journal of the Japan Institute of Metals, 1984, 48(2): 209~ 213.
- 8 Nishiyama S. Materia Japan, 1989, 28(2): 137~ 145.
- 9 Tang N Y. Materials Science and Technology, 1985 (1): 270~ 275.
- 10 Zeng K J. Journal of Alloys and Compounds, 1995, 220: 53~ 61.

## Influence of trace Zr on microstructure and mechanical properties of Cu-13Zn alloys

Yin Zhimin, Luo Fenghua, Wang Mingpu, Xu Guofu, Zuo Tieyong

*Department of Material Science and Engineering,*

*Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China*

**Abstract:** Three kinds of Cu-13Zn alloys with different Zr contents were prepared. The influence of trace Zr on the microstructure and mechanical properties of Cu-13Zn was studied by means of tensile test, optical microscopy and transmission electron microscopy. The results show that adding trace Zr to Cu-13Zn alloy can greatly increase the strength of the alloy and enhance the recrystallization temperature range during annealing after cold rolling. Fine grain strengthening, precipitation strengthening and substructure strengthening caused by compounds containing Zr should be responsible for the strengthening of Cu-Zn-Zr alloys.

**Key words:** Zr; copper alloys; microstructure; mechanical properties

(编辑 朱忠国)