

[文章编号] 1004-0609(2002)03-0570-03

CuCr25 合金的形变与组织细化^①

曹 辉, 冼爱平

(中国科学院 金属研究所, 沈阳 110016)

[摘 要] 研究了熔铸法制备的 CuCr25 合金的形变和热处理过程及在不同的冷轧与热处理制度下合金显微组织的特点。试验结果表明, 熔铸法制备的 CuCr 合金具有良好的塑性变形能力, 冷轧形变量可达 95% 以上。当冷轧形变量达到 70% 以上时, 合金中第二相 Cr 开始产生形变; 形变量达 95% 以上时, Cr 粒子产生大量形变, 并呈纤维状分布。形变合金在 1 073 K 退火 1 h 后, 纤维状 Cr 相发生显著细化和球化, 平均半径小于 10 μm 。因而, 采用合适的形变与热处理方法可以细化合金中的第二相 Cr 粒子。

[关键词] CuCr 合金; 形变; 热处理; 显微组织

[中图分类号] TG 172

[文献标识码] A

CuCr 合金由于具有极强的残余气体捕集能力^[1]、光滑的触头表面质量^[2]等特点, 目前已取代了 CuBi 合金而成为输配电工程中中压、大功率真空开关的关键材料^[3, 4]。研究表明, CuCr 合金的电触头性能主要取决于 CuCr 合金中第二相 Cr 的尺寸及分布。Rieder^[5]等对含 Cr25%~75% 的 CuCr 合金进行研究发现, 随着 Cr 平均尺寸的细化, 触头电绝缘强度提高, 截断电流减小。丁秉均等^[6]研究了 CuCr 合金显微组织对电击穿机制的影响, 发现电击穿总是发生在介电强度相对较低的 Cr 相上。新的触头起始击穿强度较低, 当电击穿次数超过 40 次后, 击穿强度显著提高, 因而认为这是由于电弧作用使触头表面粗大的 Cr 相重熔细化引起的。王亚平^[7]对触头电弧熔蚀机制进行研究后, 发现阴极电弧斑点总是首先在介电强度较低的 Cr 相上发生, 电弧阴极斑点的尺寸大约为 20 μm 。当显微组织中的 Cr 相尺寸较大时, 阴极斑点相对固定在 Cr 粒子上, 造成局部的熔化过热和产生熔蚀坑。当 Cr 粒子尺寸小于阴极斑点的尺寸时, 阴极斑点将不能固定在触头表面某一固定位置上, 而是随机跳跃, 相应的触头表面局部温度下降, 熔蚀减小。因此, 减小 Cr 粒子的尺寸可以有效地提高触头的各种电学性能, 包括耐电压强度, 击穿电压及最大截断电流等。与粉末冶金等工艺相比, 熔炼法不但可以保证低的气体含量, 同时也大大细化了合金组织中的第二相 Cr 粒子尺寸^[8]。然而由于工艺条件的限制, 熔铸法生产的 CuCr 合金中, Cr 粒子尺寸

为 20 μm 左右, 与阴极斑点的尺寸相当。要进一步减小 CuCr 合金中的 Cr 粒子的尺寸, 必须借助于后续的形变和热处理。为此, 作者拟对其做初步研究。

1 实验方法

CuCr25 合金由金昌普股份有限公司提供, 采用低偏析技术的熔炼-铸造法生产, 样品尺寸为 $d50\text{ mm} \times 7\text{ mm}$, 化学成分分析表明 Cr 含量为 27.1% (质量分数)。合金的形变采用冷轧的方法, 冷轧形变量在 51.4%~95% 之间变化。轧制分多次进行, 每次形变量为 10%~15%。熔铸法制备的 CuCr 合金具有很好的塑性变形能力, 多道冷轧无需中间退火, 冷轧样品的热处理在真空中进行, 炉腔真空度为 0.02 Pa, 试样的加热速度为 25 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 直至设定的加热温度。保温 1 h 后, 在真空中炉冷至室温。

2 结果与讨论

铸锭原始显微组织如图 1 所示。可见铸锭中第二相 Cr 粒子为典型的枝晶结构, 在整个基体组织中均匀分布, 枝晶方向随机性分布, 并且分叉较少, 大部分为一次枝晶和二次枝晶, 呈鱼骨状图案。单个 Cr 粒子尺寸为 10~20 μm 左右。扫描电镜和能谱探针 (EDX) 微区分析结果表明 Cu 基体中含有 2.55%~2.66% Cr。

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (59981005)

[收稿日期] 2001-07-09; [修订日期] 2001-09-06

[作者简介] 曹 辉 (1977-), 女, 硕士研究生。

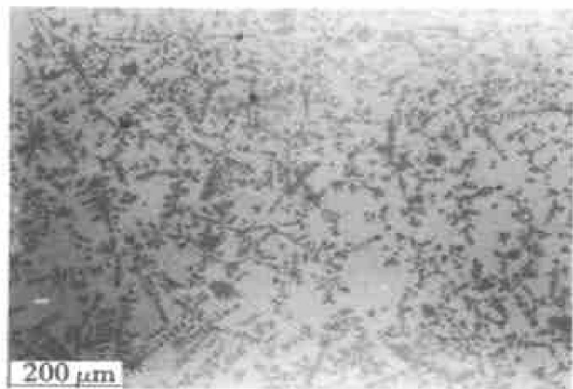


图 1 CuCr25 合金的原始组织

Fig. 1 Microstructure of as-cast CuCr25 alloy

图 2 所示为 CuCr25 合金冷轧后的显微组织。当合金受到足够的冷变形时, 合金中原始第二相 Cr 的铸造枝晶组织开始发生形变。由图 2(a) 可见, 当形变量达到 70.8% 时, Cr 的枝晶组织开始发生破碎, 并且由于合金的塑性流变, 这些 Cr 粒子沿形变方向呈流线分布。随着合金形变量进一步加大, 第二相 Cr 粒子的形变增大, 如图 2(b) 所示, 当形变量达到 95% 时, 合金中的 Cr 粒子已高度形变, 呈纤维状分布。纤维之间互相平行。从图中还可以发现 Cr 粒子尺寸越小, 其形变能力也越大, 原始尺寸较大的 Cr 粒子, 其形变程度反而较小。同时还发现少量块状 Cr, 即使在形变量很大(> 95%) 的情况下, 也几乎未发生形变。这些块状 Cr 的来源目前尚不清楚, 其形成机制及对性能的影响有待进一步探讨。

在冷轧过程中发现, CuCr25 合金只有变形达到一定程度时, 显微组织中的 Cr 粒子才会发生形变。这是由于在这种原位复合材料中 Cu 与 Cr 的强度不一致。在初始的冷轧过程中, Cu 的变形抗力较低, 所以 Cu 优先发生形变; 随着形变的加大, Cu 晶粒中产生大量位错而发生强烈的加工硬化, 这种

加工硬化效应与在快速凝固时 Cu 基体中产生的过饱和 Cr 固溶强化共同发生作用, 引起先变形 Cu 的强度升高, 当接近 Cr 的强度时, Cr 开始发生塑性变形。

冷轧加工并真空退火后的金相组织见图 3。由图 3(a) 中可见, 真空退火温度较低时, 形变 Cr 粒子的形貌不变, 退火时只有 Cu 基体产生回复与再结晶; 当退火温度达到 1 073 K 时, 形变 Cr 相发生了显著的细化, 如图 3(b) 所示。显微组织中冷加工后纤维状的 Cr 相消失, 代之以第二相 Cr 粒子呈弥散颗粒状分布, Cr 粒子尺寸相差较大, 一部分较大的粒子为一次枝晶退火所得, 另一部分较细小的粒子的来源有 2 种途径: 一种为退火过程中从过饱和的 Cu 基体中脱溶沉淀形成, 由于特别细小, 金相显微镜很难分辨; 另一种与冷轧组织中非常细小的纤维断裂有关。形变量越大, 冷加工组织中形变 Cr 纤维组织越细, 退火后获得的弥散 Cr 粒子相应也较细(见图 3(c))。此外, 还可以发现, 显微组织中原纤维状的 Cr 分布的痕迹仍然清晰可辨, 证实这些细小的 Cr 粒子主要是由于纤维状 Cr 局部溶解断裂形成的, 由于表面张力引起的曲率效应, 在溶断的纤维终端 Cr 的溶解速度加快, 从而导致纤维状的 Cr 逐步球化和细化。因此, 可以采用形变-退火工艺, 对 CuCr 合金中的 Cr 相进行细化, 以提高触头的电学性能。

3 结论

1) 用熔铸法制备的 CuCr25 合金具有很好的塑性变形能力。经多次冷轧累计形变量达到 95% 也无须进行中间退火处理。

2) 当冷轧形变量达到 70% 以上时, 合金中的第二相 Cr 粒子开始发生形变, 形变量达到 95% 时,

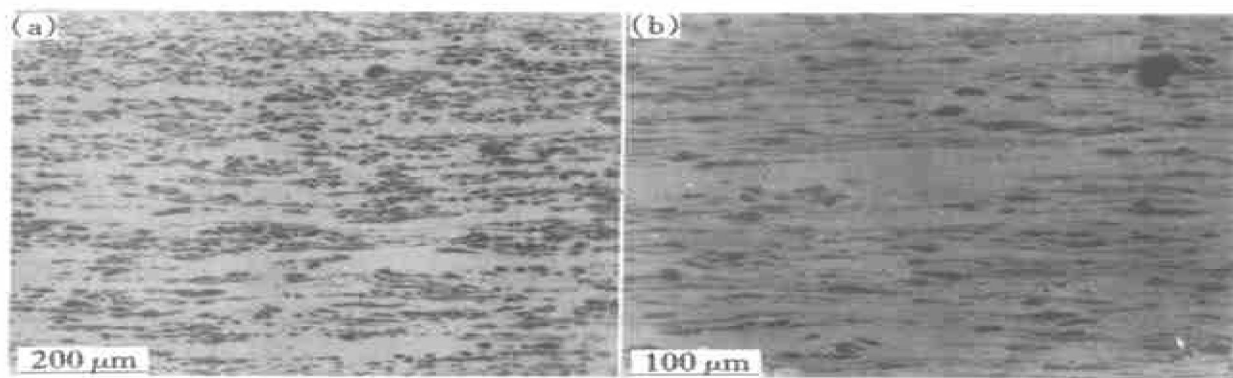


图 2 不同形变量 CuCr25 合金的扫描电镜照片

Fig. 2 SEM images of CuCr25 at different reduction

(a) —Reduction of 70.8%; (b) —Reduction of 95%

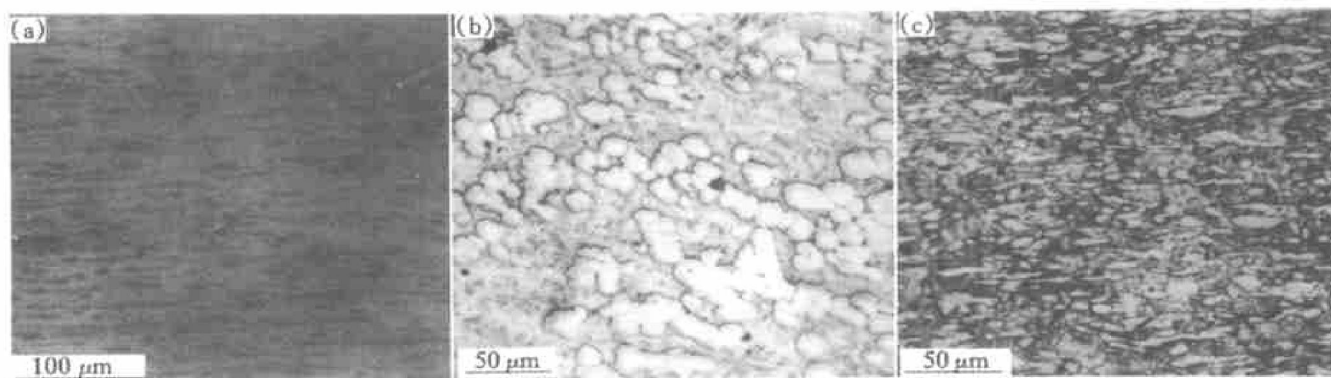


图 3 热处理后 CuCr25 合金的显微组织

Fig. 3 Microstructures of CuCr25 after heat treatment

(a) —Reduction of 95%, 773 K, 1 h, SEM image; (b) —Reduction of 51.4%, 1 073 K, 1 h, optical image;
(c) —Reduction of 95%, 1 073 K, 1 h, optical image

Cr 粒子发生大量形变, 并呈纤维状分布。

3) 退火温度较低时, 冷轧后纤维状 Cr 粒子形貌基本保持不变, 当退火温度达到 1 073 K 后, 纤维状 Cr 相显著细化, 平均粒子尺寸小于 10 μm。

[REFERENCES]

- [1] Frey P, Jüger K, Klink N, et al. Investigation on the release of gas from contact materials for vacuum switching devices during operation [A]. Proc 11th Int Conf on Electric Contact [C]. Berlin: VDE Verlag GmbH, 1982. 317– 320.
- [2] Dullni E, Plessl A, Reininghaus U. Research for vacuum circuit breakers [J]. ABB Rev, 1989(3): 11– 18.
- [3] Slade P G. Advances in material development for high power, vacuum interrupter contacts [J]. IEEE Trans Comp Packag Manufact Technol A, 1994, 17(1): 96– 106.
- [4] 洗爱平. 大功率真空开关铜铬触头材料 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(5): 731– 740.
- XIAN Airping. Cu-Cr contact materials for power vacuum interrupts [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(5): 731– 740.
- [5] Rieder W F, Schussk M, Glatzle W, et al. Influence of composition and Cr particle size of Cu/ Cr contacts on chopping current, contact resistance and breakdown voltage in vacuum interrupters [J]. IEEE Trans Comp Hybrids Manufact Technol, 1989, 12(2): 273– 283.
- [6] Ding B, Yang Z, Wang X. Influence of microstructure on dielectric strength of CuCr contact materials in a vacuum [J]. IEEE Trans Comp Packag Manufact Technol A, 1996, 19(1): 76– 81.
- [7] Wang Y, Ding B. The preparation and properties of microcrystalline and nanocrystalline CuCr contact material [J]. IEEE Trans Comp Package Technol, 1999, 22(2): 467– 472.
- [8] Müller R. Arc-melted CuCr alloys as contact materials for vacuum interrupter [J]. Siemens Forsch u Entwickl Ber, 1988, 17(3): 105– 111.

Deformation and microstructure refinement of CuCr25 alloy

CAO Hui, XIAN Airping

(Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

[Abstract] The deformation and heat treatment of casting CuCr25 alloy were studied for the finer Cr particles in the microstructure. The characteristics of the alloy under different cold rolling reduction and heat treatment temperature were investigated. The results show that, the plasticity of CuCr25 alloy is excellent. The reduction of the casting alloy can be as high as 95% in cold rolling at room temperature. When the reduction is more than 70%, the second phase Cr particles begin to deform, and when the reduction is up to 95%, Cr particles are deformed heavily and form a fiber morphology. After annealing at 1 073 K for one hour, the fiber of Cr in the microstructure is broken into some short-rod particles, and tend to turn into spherical morphology. The average Cr particle size is less than 10 μm. According to these results, the processing of the deformation and heat treatment for the casting CuCr25 alloy is suggested to obtain a finer Cr phase in the microstructure.

[Key words] CuCr alloy; deformation; heat treatment; microstructure

(编辑 陈爱华)