

[文章编号] 1004-0609(2002)S1-0094-04

Ni 含量对 CuCr25 合金组织与性能的影响^①

张程煜, 王立彬, 丁秉钧

(西安交通大学 材料科学与工程学院, 金属材料强度国家重点实验室, 西安 710049)

[摘 要] 采用真空感应熔炼法获得不同 Ni 含量的 CuCr25 合金。通过观察其显微组织和测量其性能得如下结果: 随 Ni 含量的增加, 合金的 Cr 相由树枝晶转变为节点状晶粒, 并且得到明显细化; 合金的电导率大幅度下降, 但是 Ni 含量小于 0.5%, 电导率大于 20 MS/m, 相当常规 CuCr50 的性能; Ni 含量对该合金的耐电压强度影响不大。

[关键词] CuCr25 合金; 显微组织; 电导率; 耐电压强度

[中图分类号] TM 201.44

[文献标识码] A

由于 CuCr 触头材料具有优异的综合性能, 它在真空断路器中得到了广泛的应用^[1]。目前在工业中生产该合金的主要方法有混粉烧结法、熔渗法和自耗电极法。但是这些方法都属于粉末冶金法, 生产周期相对较长, 工艺复杂, 并且对废旧产品不易回收再利用。熔炼法制备 CuCr25 合金是一种生产效率很高、生产成本低廉的工艺, 整个过程大约只需 2h, 生产周期大大缩短, 生产效率很高, 并且能对废旧 CuCr 合金进行回收再利用, 大大降低了生产成本^[2,3]。所以该工艺具有巨大的工程应用前景。

由于 Cu, Cr 二组元在密度、熔点和晶体结构等方面具有巨大的差异, 它们在 800 °C 下几乎不互溶, 这使熔炼法制备该合金造成了很大的困难^[4,5]。得到的合金容易出现密度偏析和成分不均匀等严重缺陷, 且合金中 Cr 相呈粗大的树枝晶, 这些对合金的性能有非常不利的影响。添加合金元素 W 粉可以作为 Cr 相的异质核心, 改善合金的显微组织, 并且能够对其进行选择相强化, 提高合金的耐电压强度^[6,7], 但是由于 W 粉不易分散, 导致合金中 Cr 依附团聚的 W 长大, 形成 Cr 相的偏析, 使合金的性能下降^[3]。作者用真空感应熔炼法并添加不同含量的合金元素 Ni 得到 CuCr25 合金并研究了 Ni 含量对该合金组织与性能的影响。

1 实验方法

合金均在中频真空感应炉中制备。采用的原料为真空去气 Cu (> 99.95%), 纯度大于 99% 的电解

Cr 块、Ni 块, 将总重量为 6 kg 的原料按照要求比例装入真空感应熔炼炉坩埚中, 抽真空至 1.0×10^{-1} Pa 时, 开始通电加热至 1700 °C 进行真空熔炼。为保证合金成分的准确, 控制沸腾和减少飞溅, 当金属完全熔化后, 通入保护气体氩气, 在保持一定时间后, 将合金液体直接浇入结晶器中得到 CuCr25 系列合金铸锭。为了进行比较, 所有试样都取自铸锭的心部。用 HITACHI-S2700 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察 CuCr25 系列合金的显微组织, 并利用能谱成分分析 (EDX) 对试样进行平均成分分布及微区成分测定。将真空感应熔炼所得的 CuCr25 系列合金装入 TDR-40A 型真空单晶炉进行退火; 用 FQR-7501 型涡流式电导仪对其在退火前后进行电导率的测试。将试样加工成 20 mm × 5 mm 的金相试样, 抛光后装入由真空单晶炉改造的模拟真空灭弧室内作为阴极, 阳极用纯 W 制成, 其直径为 5 mm, 下平面和阴极平行。用自耦变压器在两极间加上 8 kV 的直流电, 使阴极以 0.2 mm/min 的速度接近阳极, 直至电击穿在阴阳极间发生。在电击穿的瞬间用百分表测量出两极间的距离, 用击穿电压除以击穿距离得出合金的耐电压强度。每次击穿实验测 100 个数据。在此过程中阴极和阳极间没有任何横向移动, 以保证数据的准确性。

2 结果及讨论

2.1 CuCr25 合金的显微组织和成分分析

① [基金项目] 国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)资助项目(715-005-0160)和云南省院校科技合作资助项目

[收稿日期] 2001-09-26; [修订日期] 2001-11-26

[作者简介] 张程煜(1974-), 男, 博士研究生。

图 1 所示为 Ni 含量分别为 0%, 0.2%, 0.5%, 0.8% 的 CuCr25 合金的显微组织。图中深色组织为富 Cr 相, 其余为富 Cu 基体。不含 Ni 的 CuCr25 合金组织中 Cr 相为发达的树枝晶, 并且尺寸粗大, 如图 1(a) 所示。从图 1(b)~(d) 可以看出, 随 Ni 含量的增加, 树枝晶逐渐变小, 并且向节点状转变。当 Ni 含量达到 0.8% 时, Cr 相大部分呈节点状均匀分布在基体中, 晶粒尺寸细小, 大约为 $20\mu\text{m}$ 。由此可见, Ni 的加入可以明显抑制 Cr 相树枝晶的形成和长大。从 Cu-Ni, Cr-Ni 相图得知^[4], Ni 在 Cu 和 Cr 二组元中都有很大的固溶度, 通过对试验合金进行 EDX 成分分析也证实了这一点。合金元素 Ni 在凝固过程中存在着溶质再分配, 固液界面前方的液相线温度会随成分的变化而变化, 对 CuCr25 合金在凝固过程中首先析出的 Cr 相前面过冷度产生影响。根据凝固理论^[8], 合金元素的成分过冷作用是随 $-mw_0(1-k_0)/k_0$ (其中: w_0 为 Ni 含量, m 为 Cr-Ni 相图液相线斜率, k_0 为平衡分配系数) 增大而增大的。参照 Cr-Ni 相图, $k_0 < 1$, $m < 0$, 所以随 Ni 含量的增加, Cr 相前面过冷度也

随之增大, 这样可以使 Cr 相的形核率增加, 促进 Cr 相的细化; 另一方面在凝固过程中 Ni 在 Cr 生长界面前富集使 Cr 晶粒根部或者树枝晶分枝根部产生细弱缩颈, 促进晶粒的游离, 同时它的富集也抑制了晶体生长导致组织细化。这些均最终有利于节点状晶粒的获得, 所以 CuCr25 合金的组织得到明显细化。

2.2 CuCr25 合金的导电性

图 2 所示为 Ni 含量与 CuCr25 合金电导率之间的关系。从图中可以看出, 随着 Ni 含量的增加, 合金的电导率剧烈下降, 退火处理可以在一定程度上提高合金的电导率。尽管这样, 当 Ni 含量大于 0.5% 时, 经过退火处理也低于 20MS/m 。CuCr25 合金的导电性主要取决于基体 Cu 相, 如前所述 Ni 一方面可以固溶于 Cu 基体, 另一方面使 Cu 和 Cr 相互固溶度增加, 使基体 Cu 中固溶了过多的合金元素, 这样会大大增加电子运动时的散射作用, 严重降低合金的电导率^[9]。此外合金的热导率也随着下降, 这样使合金在分段电流过程中会由于电阻增

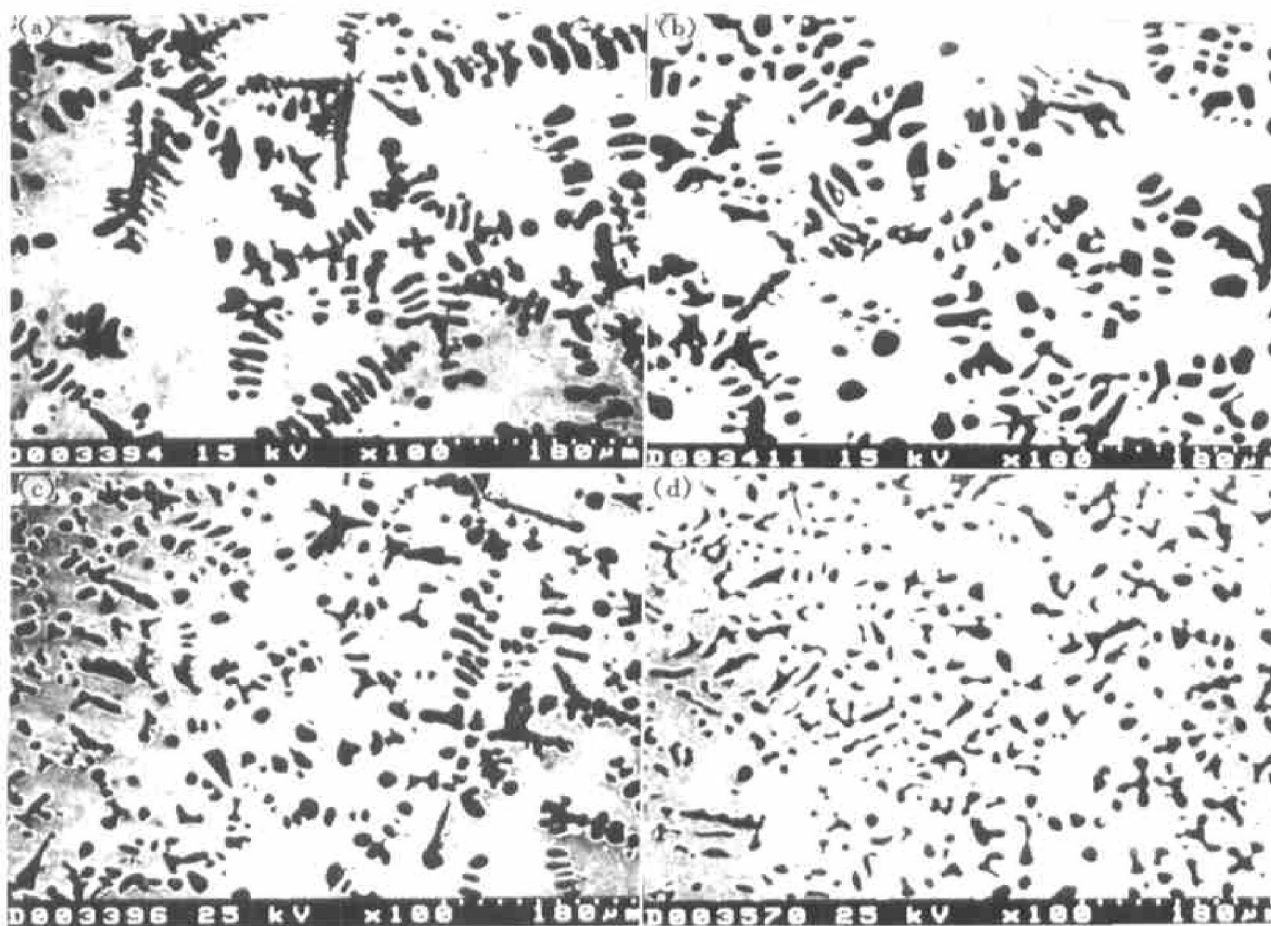


图 1 添加不同 Ni 量的 CuCr25 合金显微组织

Fig. 1 Microstructures of CuCr25 alloys by addition of various Ni content

(a) —0%; (b) —0.2%; (c) —0.5%; (d) —0.8%

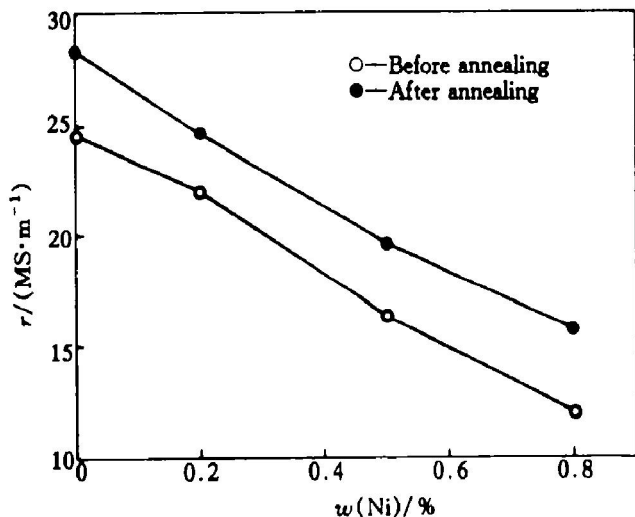


图 2 Ni 含量与 CuCr25 合金电导率之间的关系

Fig. 2 Relationship between Ni content and electrical conductivity of CuCr25 alloys

加而产生更多的焦耳热并且不能及时传输出去，容易使合金在分断电流后诱发热电子发射，降低了合金的分断能力^[10]。由此所知，Ni 含量不宜高于 0.5%。

2.3 CuCr25 合金的耐电压强度

触头材料的耐电压强度是决定真空断路器电压等级的一个重要因素。如果触头材料的耐电压强度不能满足要求，就会阻碍真空断路器向高电压、大容量、小型化方向发展。表 1 列出了 CuCr25 合金的耐电压强度测试结果。从表中看出 4 种合金的耐电压强度基本相同。以前的研究表明^[11]：对于 CuCr 合金电击穿选择地发生在 Cr 上，这是由于 Cr 相的导电性和导热性大大低于 Cu 基体，这样合金在分断电流过程中产生的热量不能很快传导出去，使 Cr 相温度升高，会产生电子发射，导致击穿。Cr 相的细化可以提高合金的耐电压强度^[7, 12]，但是在本实验中，由于 Ni 的加入，一方面 Cr 相得到了细化，但另一方面，材料的导电性和导热性下降，抵消了 Cr 相的细化作用，所以合金的耐电压强度没有得到提高。

表 1 CuCr25 合金的耐电压强度测试结果

Table 1 Breakdown strength of CuCr25 alloys

Material	Breakdown strength /(10 ⁸ V·m ⁻¹)	Material	Breakdown strength /(10 ⁸ V·m ⁻¹)
CuCr25	2.72	CuCr25Ni0.5	2.73
CuCr25Ni0.2	2.66	CuCr25Ni0.8	2.77

3 结论

1) 合金元素 Ni 对 CuCr25 触头材料的显微组织有非常大的影响。随着 Ni 含量的增加，Cr 相逐渐由发达的树枝晶转变为节点状晶粒，并且得到显著地细化。

2) CuCr25 合金的电导率随着 Ni 含量的增加剧烈下降，当 Ni 含量小于 0.5% 时，经过退火后，合金的电导率达到 20 MS/m，可以满足使用要求。此外，Ni 含量对合金的耐电压强度没有影响。

[REFERENCES]

- [1] Slade P G. Advances in material development for high power vacuum interrupter contacts [J]. IEEE Trans on CPMT, 1994, 17(1): 96–106.
- [2] ZHAO F, XU H, YANG Z M, et al. Preparation of CuCr25 alloys through vacuum arc-smelting and their properties [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2000, 10(1): 73–75.
- [3] WANG J, ZHANG C Y, ZHANG H, et al. CuCr25W1Ni2 contact material of vacuum interrupter [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 2001, 11(2): 226–231.
- [4] 虞觉奇, 易文质, 陈邦迪. 二元合金状态图集[M]. 上海: 上海科技出版社, 1987. 322–338
YU Jue-qi, YI Wen-zhi, CHEN Bang-di. Constitutional Diagram of Binary Alloys [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. 322–338
- [5] Spaic S, Komac M, Fetahagic A. Microstructure and properties of sintered Cu-25Cr alloy [J]. Material Science and Technology, 1989, 5: 1069–1074.
- [6] 赵峰, 杨志懋, 丁秉钧. CuCr25W1Co1 合金的性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2000, 29(1): 57–59.
ZHAO Feng, YANG Zhi-mao, DING Bing-jun. The study of characteristics of CuCr25W1Co1 alloy [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2000, 29(1): 57–59.
- [7] Wang Y P, Yang Z M, Ding B J. The effect of electrode material and additives on the breakdown strength of a vacuum gap [J]. IEEE Trans on DEI, 1998, 5(2): 245–249.
- [8] 安阁英. 铸件形成理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989. 106.
AN Ge-ying. Casting Formation Theory [M]. Beijing:

- Mechanical Industry Press, 1989. 106.
- [9] LIU C, HE J J, ZOU J Y. 3-dimensional simulation on electrical conductivity of CuCr contact materials [A]. IEEE 19th Int Symp on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum [C]. Xi'an, 2000. 733.
- [10] Glinkowski M, Greewood A, Hill J. Capacitance switching with vacuum circuit breakers [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1991, 6(3): 1088– 1095.
- [11] DING B J, YANG Z M, WANG X T. The influence of electrode material on delayed discharges in vacuum interrupters [J]. IEEE Trans on CPMT, 1996, 19(1): 76– 81.
- [12] Werner F, Rieder, Michael Schusseck, et al. The influence of composition and Cr particle size of Cu/Cr contacts on chopping current, contact resistance and breakdown voltage in vacuum interrupter [J]. IEEE Trans on CPMT, 1989, 12(2): 273– 283.

Effects of Ni content on microstructure and properties of CuCr25 contact materials

ZHANG Cheng-yu, WANG Li-bin, DING Bing-jun

(State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Metal Materials,

School of Materials Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

[Abstract] CuCr25 alloys containing different Ni content were prepared by vacuum induction melting (VIM). The microstructure and properties were tested. The results shows that with the increase of Ni content in CuCr25 alloys, the Cr phase transformed from developed dendrite into nodular grains and was refined drastically; the electrical conductivity decrease significantly, but still reach the level of conventional CuCr50, when the Ni content is below 0.5%; the Ni content has little influence on their breakdown strength.

[Key words] CuCr25 alloys; microstructure; electrical conductivity; breakdown strength

(编辑 吴家泉)