

文章编号: 1004- 0609(1999) 03- 0552- 04

晶粒细化对 Cu-12.2Al-4.0Mn 形状记忆合金加工性能的影响^①

姜明珠 阎晓东

(东北大学 金属加工系, 沈阳 110006)

王碧文 李 红 王世民 王 涛

(洛阳铜加工厂, 洛阳 471039)

摘 要: 测定了 Cu-12.2Al-4.0Mn 形状记忆合金的塑性图, 研究了微量元素 Ni, Co 和 B 对合金的显微组织和加工性能的影响。结果表明: 1) 试验合金在 700 ℃~ 800 ℃高温 β 相状态下具有非常好的塑性加工性能, 而在室温则呈脆性断裂; 2) 试验合金中加入少量的 (Ni+ B+ Co), 可以细化合金的晶粒, 提高合金的冷加工性能; 3) 采用有利发挥合金塑性的加工方法, 则能提高该合金的冷加工性能。

关键词: 铜基形状记忆合金; 塑性图; 加工性能

中图分类号: GT113.25

文献标识码: A

国内外对 Cu 基形状记忆合金的研究已有许多报道^[1~ 5]。Cu-Al-Mn 系形状记忆合金是最近几年新开发研究的 Cu 基形状记忆合金。日本、欧美和前苏联等国在有关文献上报道了他们对该合金系的马氏体转变和形状记忆性能的研究成果^[6~ 11]。与 Cu-Zr-Al 系记忆合金相比, 它有更好的记忆性能、耐蚀性能和抗拉强度, 是一种有实际应用价值的记忆合金。但是它与 Cu-Al-Ni 系记忆合金一样, 塑性成型性很差, 特别是 Al 含量高的时候, 这种现象更明显。合金的晶粒粗大、 γ_2 脆性相的出现和有序相的塑性异向性等是造成合金塑性差的原因^[1]。因此, 研究影响合金塑性的各种因素, 寻找提高合金塑性成型性能的办法, 对该合金的开发应用是非常必要的。

本研究测定了 Cu-Al-Mn 形状记忆合金的塑性图, 研究了添加微量元素 (Ni+ Co) 和 (Ni+ B+ Co) 对合金 β 相晶粒细化和加工性能的影响。结果表明, 在适当的条件下, 提高这种

合金的冷加工性是完全可能的。

1 试验方法

用电解铜、电解锰、纯铝、纯钴、镍-硼中间合金, 在中频感应炉石墨坩埚内熔炼合金 (试验合金成分见表 1), 铁模铸锭。在 800 ℃下轧制成 2.0 mm 厚的板材作为试验用料, 用 Gleeble 1500 热模拟试验机作单向拉伸试验, 并测其塑性图。合金的冷加工性能用最大冷轧

表 1 试验用合金的化学成分 (%)

Table 1 Chemical composition
of tested alloy (%)

Alloy No	Al	Mn	Cu	(Ni+ Co)	(Ni+ Co+ B)
1	12.1	3.8	bal.	—	—
2	12.2	4.0	bal.	1.0	—
3	12.2	3.8	bal.	—	1.0

① 收稿日期: 1998- 08- 07; 修回日期: 1998- 11- 23 姜明珠(1941-), 女, 副教授

加工率表示。用 $d120\text{ mm}$ 轧机试验, 试样尺寸为 $2\text{ mm} \times 15\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 。用光学显微镜观察显微组织和测定晶粒尺寸。用扫描电镜观察分析拉伸试样的断口。

2 试验结果与分析

2.1 微观组织

根据 Cu-Al 二元相图, 合金在 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下为 β 相组织, 当它被快速冷却时, 可以抑制 γ_2 相析出和 $(\alpha + \gamma_2)$ 共析转变, 依次发生有序化转变和马氏体转变, 最终获得热弹性马氏体。从图 1 可见, 水淬试样和空冷的热轧板试样的组织都是热弹性马氏体组织。从图 1 和图 2 还能看出, No. 1 和 No. 2 合金晶粒粗大, No. 3 合金晶粒细小。这说明在试验合金中加入 $(\text{Ni} + \text{B} + \text{Co})$ 可以较明显地细化合金的 β 相晶粒。

2.2 合金塑性图

图 3 是 No. 2 合金的塑性图。它表明合金在 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下延伸率达 78%, 抗拉强度很低。随着温度降低, 其延伸率明显降低, 在

$500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近有一个脆性区, 在室温下合金的延伸率几乎为零。在显微镜下观察 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 拉伸试样的显微组织, 看到在 β 相的晶内和晶界已有较多的 γ_2 初晶相析出, 该脆性区可能与 γ_2 相析出或共析转变有关。另外, 合金的抗拉强度随着温度的降低开始慢速升高, 在 $400 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间快速升高至最大值, 当温度继续降低时, 由于此时合金变脆而使强度快速降低。图 4 表明试样在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为延性断裂, 在室温为脆性断裂, 这意味着脆性断裂影响了合金强度的发挥。从温度对 No. 2 合金的延伸率和强度的影响可知, 具有与 No. 2 合金类似组织结构的 Cu-Al-Mn 形状记忆合金, 在高温 β 相状态下具有很好的塑性加工性能; 在室温合金呈脆性断裂; 在 $300 \sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 合金具有一定的塑性加工性能。

2.3 合金冷加工性能

图 2 还说明合金冷加工性能与晶粒大小和加工方法有关。晶粒细小的 No. 3 合金的冷轧加工率明显比晶粒粗大的 No. 1 和 No. 2 合金大, 其最大值可达 25%。另外, 三种试验合金的冷轧加工率都比其延伸率大。可见轧制变形能发挥合金的塑性, 改善合金的加工性能。多

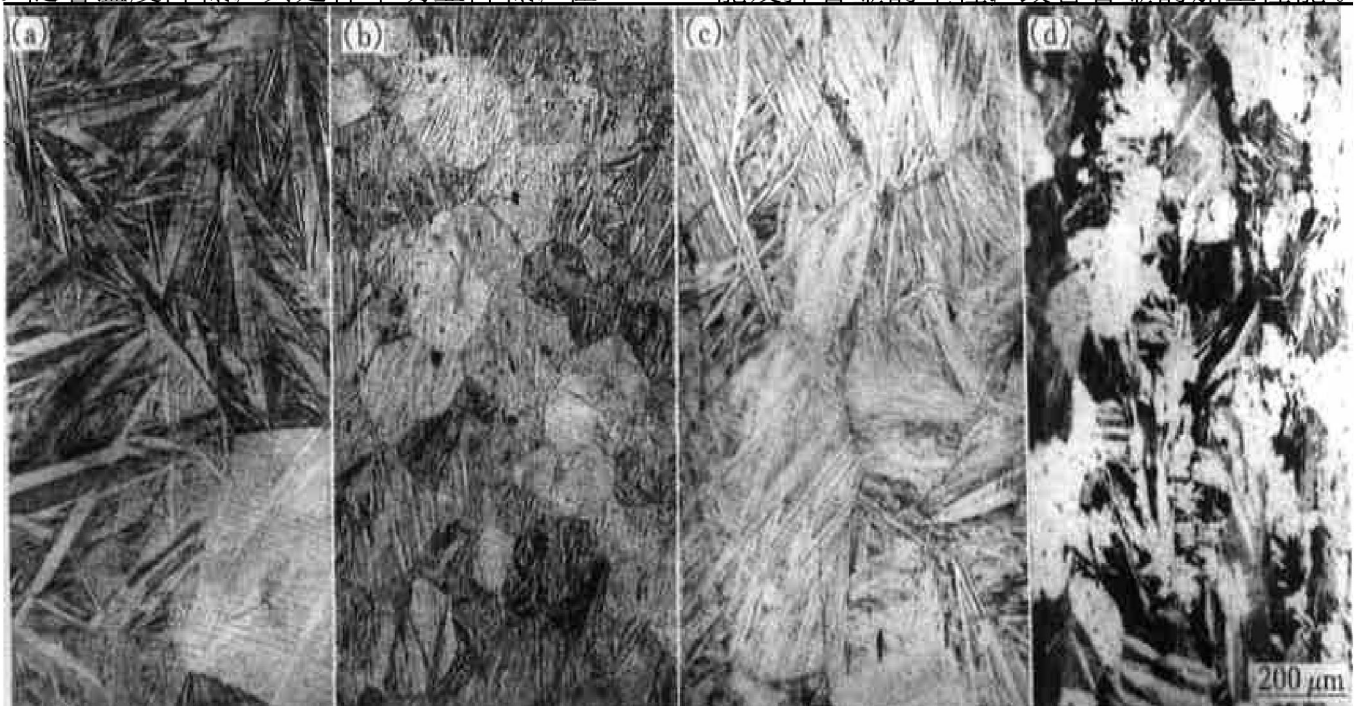


图 1 淬火、热轧板材的金相照片

Fig. 1 Optical micrographs after quenching and hot rolling

(a) —No. 1 alloy quenched; (b) —No. 3 alloy quenched; (c) —No. 1 alloy hot-rolled; (d) —No. 3 alloy hot-rolled

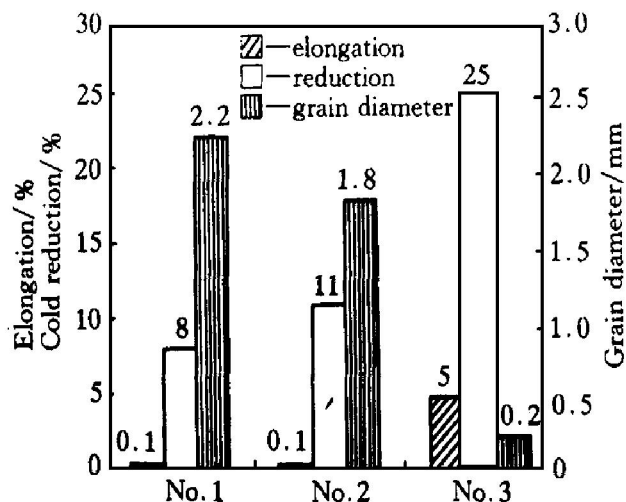


图2 合金的晶粒直径、冷轧加工率和延伸率比较图

Fig. 2 Comparisons of grain diameter, working rate and elongation for tested alloys

晶体变形时,由于各晶粒间的不均匀变形,使晶粒间产生拉伸应力。晶粒粗大的金属对这种不均匀变形的协调性差,金属受单向拉伸应力作用时会增加晶粒间拉伸应力的作用,容易造成脆性的沿晶断裂。No. 2 合金在室温下的拉伸断口呈典型的沿晶脆性断裂,如图 4(b)。轧制变形时的三向压应力可以抵销不均匀变形产生的拉伸应力的作用,因而可以减轻其晶间断裂的趋势,改善合金的塑性,从图 4(c)可以看出冷轧板中的裂纹穿过被拉长的晶粒内部并与板面呈 45° 夹角。这表明板材是经过一定的变

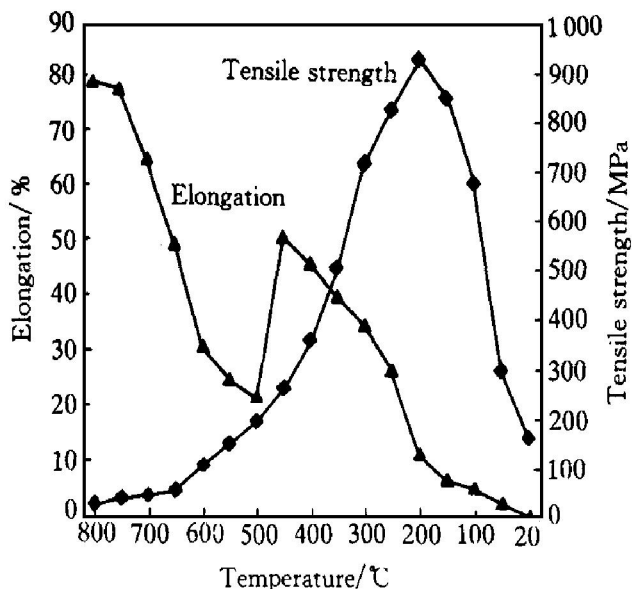


图3 No. 2 合金塑性图

Fig. 3 Plastic graph of No. 2 alloy

形后才发生剪切断裂的。上述分析表明,若采用有利发挥合金塑性的加工方法(如轧制、挤压)加工 Cu-Al-Mn 形状记忆合金,则可以提高合金的冷加工性能。

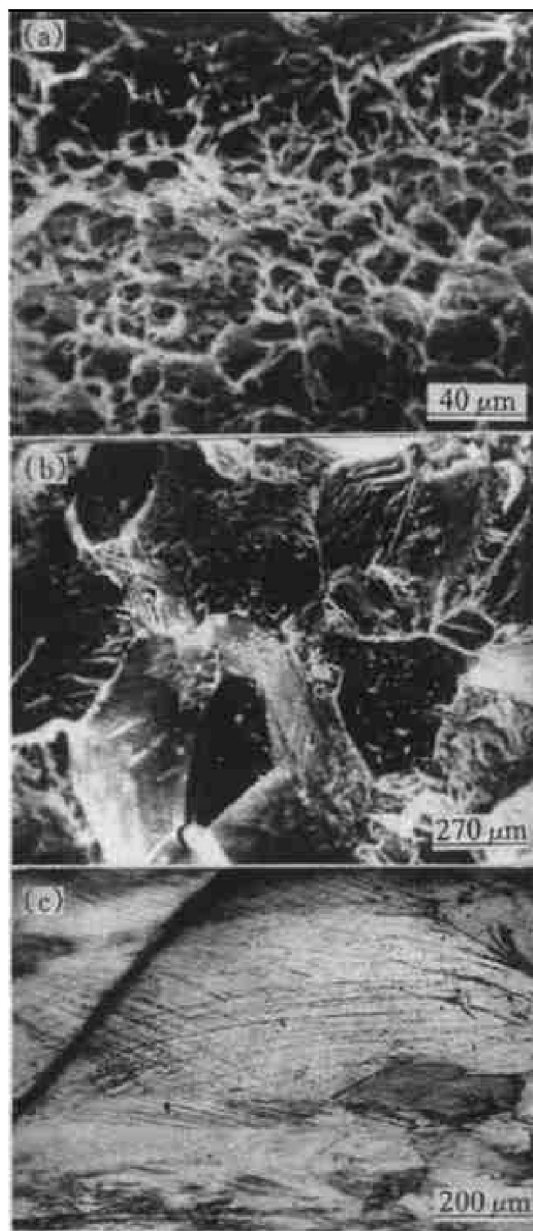


图4 拉伸断口和冷轧板的微观组织

Fig. 4 Stretch fracture of specimen and microstructure of cold rolled plate

(a) —Fracture at 250 °C; (b) —Fracture at 20 °C;
(c) —Microstructure

3 结论

(1) 试验合金在 700~ 800 °C 高温 β 相状态下具有非常好的塑性,而在室温则呈脆性断裂。

(2) 试验合金中加入少量的(Ni+ B+ Co),

可以细化合金晶粒, 提高合金冷加工性能。

(3) 采用有利于发挥合金塑性的加工方法加工试验合金, 可提高其冷加工性能。

REFERENCES

- 1 Lü Wei(吕伟) and Jiang Bohong(江伯鸿). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1992, 2(2): 47.
- 2 Tan Shusong(谭树松) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1994, 4(2): 47.
- 3 Li Chunming(李春明) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1995, 5(1): 48.
- 4 Kennon N *et al.* Met Trans, 1982, 13A(4): 551.
- 5 Dutkiewicz J *et al.* Mater Sci Engineering, 1995, A158: 119~128.
- 6 Schofield D *et al.* Metals Technology, 1980, 4: 167.
- 7 Kainuma R *et al.* Met Trans A, 1996, 27A: 2187.
- 8 Pado M *et al.* Scripta Metallurgica et Materialia, 1995, 33: 877.
- 9 Mellor B *et al.* Scripta Metallurgica, 1986, 20: 839~841.
- 10 Zak G *et al.* Scripta Materialia, 1996, 34(3): 363.
- 11 Dei J *et al.* Scr Mater, 1987, 21: 119.

Effect of grain refinement on working properties of Cu-12.2Al-4.0Mn shape memory alloy

Lou Mingzhu, Yan Xiaodong

Department of Metal Forming, Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China

Wang Biwen, Li Hong, Wang Shimin, Wang Tao

Luoyang Copper Working Plant, Luoyang 471039, P. R. China

Abstract: A plastic graph was surveyed and the effect of trace elements such as Ni, B and Co on microstructures and working properties of Cu-12.2Al-4.0Mn shape memory alloy was studied. The test results are as follows: 1) The alloy possesses excellent plastic working properties in β phase state at 700~800 °C, but it occurs brittle breakdown at room temperature; 2) Grain was refined and cold workability increased with adding trace elements such as (Ni+ B+ Co) into the alloy; 3) When the process of favorable heightening technical plasticity of alloy is selected, the cold working performance of the alloy will be enhanced.

Key words: copper base shape memory alloy; plastic diagram; workability

(编辑 彭超群)