

脉冲电流对冷加工黄铜的组织及性能的影响 *

周亦宵 肖素红 郭敬东 何冠虎

(中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家(联合)实验室)

摘 要 研究了脉冲电流对一种冷加工黄铜再结晶组织和力学性能的影响。结果表明,利用脉冲电流作为形变黄铜的再结晶处理手段,可以得到比常规退火处理更细更均匀的再结晶晶粒,从而使该材料的综合力学性能提高。脉冲电流作用时间短,加热速度快,促进再结晶形核和抑制随后晶粒长大是得到细晶粒的原因。

关键词 脉冲电流 黄铜 再结晶 力学性能

分类号 TG113

文章编号 1005-3093(2002)04-0375-04

EFFECT OF ELECTROPULSING ON MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF COLD WORKED BRASS

ZHOU Yizhou XIAO Suhong GUO Jingdong** HE Guanhu
(Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research,
Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016)

* Supported by National Natural Science Foundation of China No. 59931020 and Special Funds for The Major State Basic Research Projects G1999065009. Manuscript received Jun 8, 2001; in revised form March 11, 2002

** To whom correspondence should be addressed, Tel:(024)23843531-55221,
E-mail:jdguo@imr.ac.cn

ABSTRACT Recrystallized microstructure and mechanical properties of cold worked brass annealed by electropulsing and routine annealing were studied. The result shows that finer and more even recrystallized grains can be obtained by using electropulsing than routine annealing, and mechanical properties of the material can be improved. The characteristics of electropulsing of very short treating time, high heating rate, increasing nucleation and retarding the subsequent rate of grain growth are the main factors producing finer recrystallized grains.

KEY WORDS electropulsing, brass, recrystallization, mechanical properties

对于不能利用相变进行强化的金属,形变-再结晶是细化晶粒以提高材料性能的一般方法。研究可产生更细再结晶组织的再结晶方法对这类材料意义重大。Conrad等发现^[1~5],在冷加工纯铜的退火过程中施加一个电流密度较低的脉冲电流有促进再结晶的作用。本文采用较高密度的脉冲电流直接使冷加工黄铜再结晶,研究这种处理对其组织和性能的影响。

* 国家自然科学基金 59931020 和国家重大基础研究 G1999065009 资助项目。

2001年6月8日收到初稿;2002年3月11日收到修改稿。

本文联系人:郭敬东,沈阳市110016,中国科学院金属研究所

1 实验方法

实验用材料是一种不可热处理强化的冷轧黄铜板(形变量 $\varepsilon = 67\%$), 材料的化学成份(质量分数, %)为: Zn 30.5, Fe 0.10, Pb 0.05, P 0.01, Sb 0.003, Bi 0.002, 其余为 Cu. 将试样加工成标距部分尺寸为 $12\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 0.9\text{ mm}$ 的板状拉伸试样, 分成 A, B, C 三组. A, B 两组进行常规再结晶退火, 退火温度分别为 $570\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $650\text{ }^\circ\text{C}$, 退火时间 30 min . C 组进行脉冲电流处理. 脉冲电流由电容器放电产生, 其基本参数为: 放电周期 $t_p = 130\text{ }\mu\text{s}$, 最大电流密度 $j_m = 17\text{ kA/mm}^2$, 脉冲持续时间约为 $800\text{ }\mu\text{s}$. 试样标距部分的温度由低温焊接到其正中部的 K 型热电偶测定. 拉伸试验在岛津 AG-5000A 型拉伸试验机上进行. 在扫描电镜 (SEM) 和透射电镜 (TEM) 下观察试样的显微组织和结构.

2 结果与讨论

在试验条件下测得试样标距部分温度约为 $600\text{ }^\circ\text{C}$. 因为脉冲电流的作用时间非常短, 可将温升过程看作绝热过程, 取比热容 $C_p = 368\text{ J/(kg}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$, 样品密度 $d = 8.53 \times 10^3\text{ kg/m}^3$, 电阻率 $\rho = 6.2 \times 10^{-8}\text{ }\Omega\text{m}$, 根据文献 [6] 计算出试样的最高温度约为 $630\text{ }^\circ\text{C}$, 与测量结果基本相符, 并且它们都在 A, B 两组试样的退火温度之间.

从表 1 可看出, A, B 两组试样随着退火温度的升高, 拉伸强度、屈服强度下降, 而延伸率提高; C 组脉冲电流处理试样的各项性能均优于 A 组; 与 B 组相比, C 组的延伸率略低于 B 组(相差不到 5%), 而拉伸强度、屈服强度却远高于 B 组(其中屈服强度值高出 89%). 可见采用脉冲电流进行再结晶处理的试样具有较好的综合力学性能.

表 1 试样的拉伸性能

Table 1 Tensile properties of specimens

	Tensile strength σ_C (MPa)	Yield strength σ_S (MPa)	Elongation δ (%)
A	383	176	41
B	350	113	47
C	395	214	45

图 1 表明, 经过脉冲电流处理后的再结晶晶粒尺寸更小, 晶粒大小更为均匀, 晶界形状更不规整, 孪晶组织更少. 晶粒细化和组织均匀是试样综合力学性能好的主要原因. 多个试样的透射电镜观察结果表明, 脉冲电流处理试样的位错密度比 $650\text{ }^\circ\text{C}$ 退火试样的位错密度低(图 2), 说明脉冲电流处理试样的再结晶进行得比退火更彻底. 上述结果表明, 在高密度脉冲电流作用下冷加工黄铜在非常短的时间内就可以发生再结晶. 脉冲电流引起的温升是产生再结晶的一个因素. 由于高密度脉冲电流的加热速度非常快, 使再结晶的形核率提高. 同时, 电流本身也有促进再结晶的作用^[1~3,5]. 再结晶理论认为, 再结晶形核是通过无应变亚晶的形成与合并发生的, 在这个过程中位错的滑移和攀移起着重要的作用. 当材料中有电流通过时, 位错受到漂移电子的力作用^[6~8], 这个力称为“电子风力”, 它的大小与电流密度成正比. 在电子风力的作用下, 位错的运动能力和速度都提高, 因此电流使再结晶形核率增大. 电流促进位错运动的原因可能还包括^[1,2]: (a) 原子尺度的局部加热, (b) 减小障碍物对位错的阻碍作用, (c) 增加位错的振

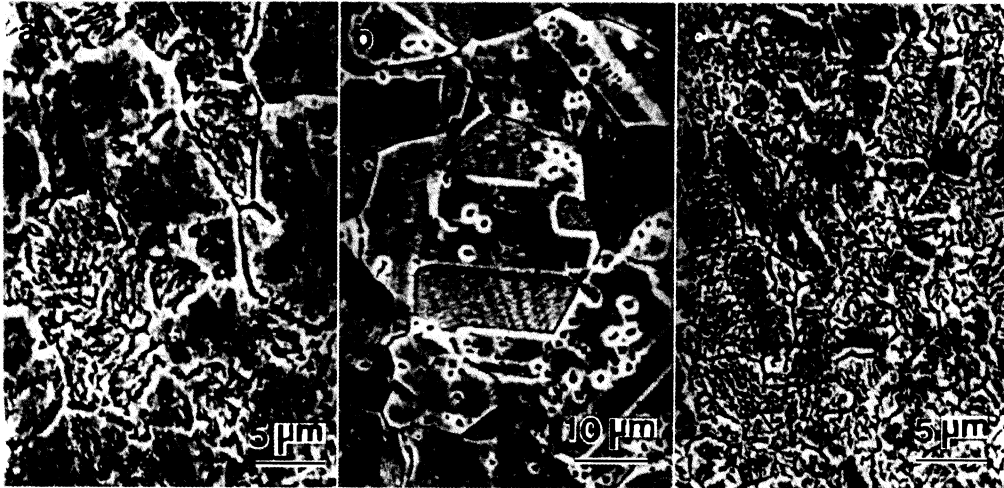


图 1 经过不同处理后冷加工黄铜的显微组织 (SEM)(a)570 °C 退火, (b)650 °C 退火, (c) 脉冲电流处理

Fig.1 SEM micrograph of a cold worked brass by annealing at 570 °C (a), 650 °C (b) and electropulsing treatment (c)

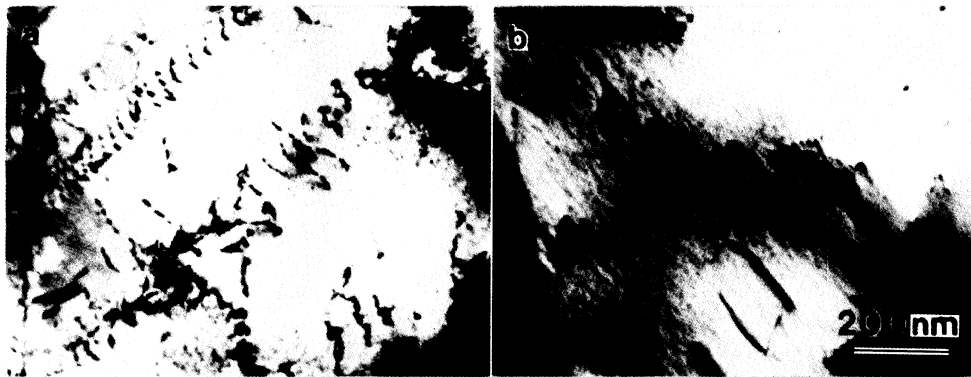


图 2 经过不同处理后冷加工黄铜的 TEM 观测 (a)650 °C 退火, (b) 脉冲电流处理

Fig.2 TEM image of a cold worked brass by annealing at (a) 650 °C and (b) electropulsing treatment

动频率. 材料中有电流通过时, 原子扩散增强^[9,10], 再结晶形核率随之增大. 随着再结晶形核率的增大, 再结晶晶粒尺寸减小, 晶界的不规整程度增大, 退火孪晶组织也因此而减少, 因为此时形成退火孪晶所要求的界面平衡条件受到破坏^[1]. 脉冲电流又有抑制晶粒长大的作用^[4,5]. 脉冲电流处理试样的位错密度比退火试样的位错密度低, 这与脉冲电流有促进位错运动的效应是一致的, 这一结果也意味着脉冲电流有抑制晶粒长大的作用. 由于再结晶时新晶粒长大的驱动力主要是残余位错所储存的能量, 脉冲电流处理试样更低的位错密度只能提供更小的驱动力, 因

此晶粒长大的速率也小, 即长大受到抑制. 加之脉冲电流作用的时间极短, 最终得到细小的再结晶晶粒.

3 结 论

与常规退火处理相比, 脉冲电流作为冷加工黄铜的再结晶处理手段, 能够得到更细更均匀的再结晶晶粒, 更少的退火孪晶, 更低的位错密度, 更高的再结晶程度和更好的力学性能.

参 考 文 献

- 1 H.Conrad, N.Karam, S.Mannan, *Scripta Metall.*, **17**, 411(1983)
- 2 H.Conrad, N.Karam, S.Mannan, *Scripta Metall.*, **18**, 275(1984)
- 3 H.Conrad, N.Karam, S.Mannan, A.F.Sprecher, *Scripta Metall.*, **22**, 235(1988)
- 4 H.Conrad, Z.Guo, A.F.Sprecher, *Scripta Metall Mater*, **24**, 359(1990)
- 5 H.Conrad, *Mater Sci Eng*, **A287**, 227(2000)
- 6 H.Conrad, A.F.Sprecher, *Dislocations in Solids*, edited by F.R.N.Nabarro(Elsevier, Amsterdam, 1989) p.497
- 7 K.Okazaki, M.Kagawa, H.Conrad, *Scripta Metall*, **12**, 1063(1978)
- 8 A.F.Sprecher, S.L.Mannan, H.Conrad, *Acta Metall*, **34**, 1145(1986)
- 9 C.Bosvieux, J.Friedel, *J Phys Chem Solids*, **23**, 123(1962)
- 10 P.S.Ho, T.Kwok, *Rep.Prog Phys*, **52**, 301(1989)