

激光超快速加热下冷轧 Cu-30% Zn 合金的 再结晶组织^①

武保林^{† †} 王轶农[†] 胡广勇[†] 左良[†] 梁志德[†]

[†] (东北大学材料科学与工程系, 沈阳 110006)

^{††} (沈阳航空工业学院, 沈阳 110034)

摘要 加热速度对冷变形金属的再结晶组织具有很大影响。利用激光超快速加热方法对冷轧 Cu-30% Zn 合金进行了再结晶处理。实验结果表明, 其组织转变过程与普通加热时差别很大。对于冷轧 70% 和 85% 的样品, 完全再结晶时的组织均很漫散, 伴随着再结晶晶粒长大, 两种样品中的组织特征仍然保持漫散趋势。

关键词 激光加热 Cu-30% Zn 合金 再结晶组织

中图法分类号 TG115

再结晶组织是与再结晶过程伴生的一种金属微观择优结构, 其形成受多种因素的影响, 加热速度是其主要影响因素之一。迄今为止, 对再结晶组织的研究多限于较低的加热速度范围^[1-5]。激光热处理技术在工业中的广泛应用为研究超快速加热条件下金属及合金的再结晶组织提供了可行的方法, 利用激光超快速加热研究再结晶组织的特征, 既有助于理解再结晶机制, 又为快速退火和组织控制提供研究基础。

1 实验材料及方法

实验采用 2 mm 厚的工业黄铜板, 经 70% 和 85% 冷轧变形后, 制成两组试样, 将其表面涂黑以供激光加热处理时增加能量吸收。激光加热采用 2 kW CO₂ 气体激光器, 以线扫描方式进行(线间距 $\delta = 2.0$ mm), 离焦量 $\Delta f = 60$ mm, 光斑直径 $d = 3.0$ mm, 工作功率为 500 W。激光连续扫描加热时, 加热时间根据 $t =$

d/v (在此 d 为光斑直径, v 为扫描速度) 计算; 本实验分别选取 $t = 9.0, 11.3, 13.5, 15.0, 17.3, 22.5, 28.5$ 和 45.0 ms。组织测定用 Schulz^[6] 背反射法及 CuK α 辐射, 测定 {111}, {200} 和 {220} 三张不完整极图 ($\chi_y = 70^\circ$), 利用“二步法”^[7] 计算 ODF。

2 实验结果及讨论

2.1 Cu-30% Zn 冷轧组织特征

图 1 给出了经 70% 和 85% 冷轧变形后样品的 ODF 恒 Ψ 截面图组。可以看到两种变形条件下组织类型基本相同, 均由强的 Brass 结构 {110} $\langle 112 \rangle$ (以下简称 B 结构) 和次强的 Goss 结构 {110} $\langle 001 \rangle$ (以下简称 G 结构) 组成, 其差异仅在于 85% 冷轧变形的组织强度高于 70% 冷轧变形相应的组织强度。Cu-30% Zn 合金的这种轧制组织特征与其本身具有较低的层错能密切相关。因为层错能的高低决定了金属的塑性变形机制, 进而影响变形后的组织结构。

① 前国家教委跨世纪人才培养基金及辽宁省自然科学基金资助项目 收稿日期: 1998-07-31; 修回日期: 1998-11-13
武保林, 男, 32 岁, 博士研究生

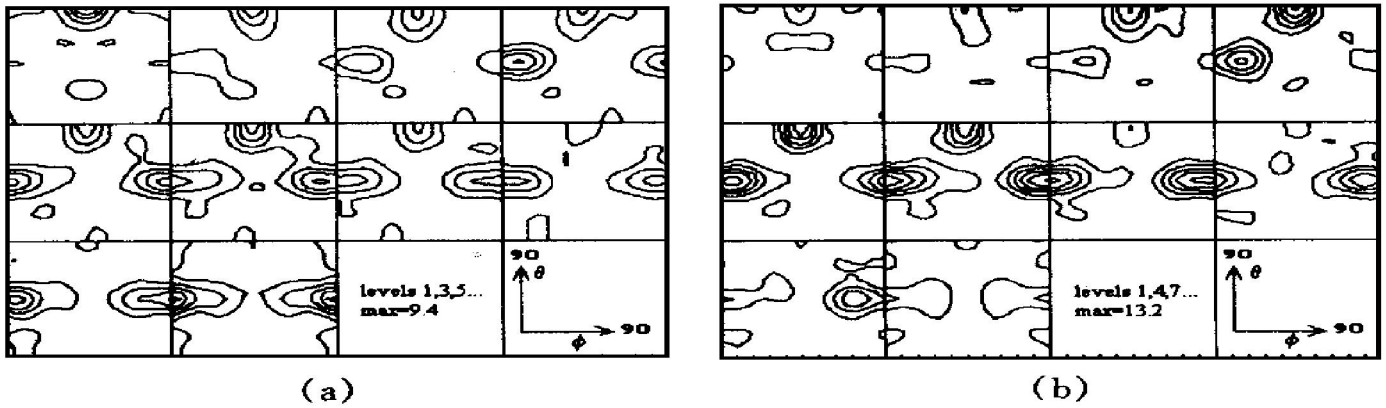


图1 冷轧 Cu-30%Zn 合金样品的 ODF 恒 Ψ 截面图

Fig.1 Constant Ψ ($\Delta\Psi = 10^\circ$) sections of ODFs of cold-rolled samples
(a) -70% reduction; (b) -85% reduction

依层错能对轧制织构影响的研究结果可知^[8-9]，随着层错能的降低，孪晶机制出现的几率增加，滑移机制相应随之减少，致使轧制织构中铜织构{112} <111> (以下简称 C 织构) 分量通过孪晶变形转至{552} <115>取向，再经正常滑移经过 G 取向流变到 B 取向，使得 C 组分减少，B 织构分量增加。若层错能进一步降低，冷轧时会出现剪切带变形机制，使具有 C 取向的晶粒可以借助于剪切带变形转到 G 取向，再通过正常滑移流向 B 取向，使得 Cu-30%Zn 合金的轧制织构具有显著的 B 型织构特征；尔后冷轧压下量的大小仅决定织构的强度，对织构的类型无明显改变。

2.2 激光加热下 Cu-30%Zn 再结晶织构特征

在本实验选取的激光加热时间范围内，两组样品均发生了再结晶转变。对于 70% 冷轧样品(原始晶粒平均尺寸约为 100 μm)， $t = 17.3 \text{ ms}$ 时，发生完全再结晶，平均晶粒尺寸约为 22 μm 。对于 85% 冷轧样品， $t = 13.5 \text{ ms}$ 时即已发生完全再结晶，平均晶粒尺寸约为 15 μm ，此时两组样品的织构强度微弱，近乎无规分布；随着加热时间的增加，晶粒进一步长大，两组样品的织构仍保持近乎无规分布特征。说明冷轧压下量对 Cu-30%Zn 合金激光超快速加热时的再结晶织构演变无明显影响，这是由于该两种冷轧压下量对冷轧织构的类型及组织结构无明显影响所致。图 2 和图 3 分别给出了 85% 冷轧样品激光加热不同时间的显微组织和

相应的 ODF 图。

从图 2 和图 3 可以看到，在 $t = 9.0 \text{ ms}$ 时，样品发生了不完全再结晶(图 2(a))，冷轧织构强度减弱，漫散程度增加(图 3(a))； $t = 13.5 \text{ ms}$ 时，即已发生完全再结晶(图 2(b))；此时织构近乎无规分布(图 3(b))； $t = 45.0 \text{ ms}$ 时，晶粒进一步长大(图 2(c))，织构仍保持近乎无规分布状态(图 3(c))。Cu-30%Zn 合金的这种再结晶织构特征，说明了其在再结晶晶核的形成及随后长大过程中的取向是无规的。显然这种取向的任意性是由 Cu-30%Zn 合金本身的形变方式及激光超快速加热方式两种因素共同决定的。

一般认为，再结晶驱动力来自形变储能，它主要以空位位错亚晶等微观缺陷的形式表现。在再结晶过程中，再结晶晶核的形成与长大，决定于晶界两侧的能量差与界面张力，亦即具有这两种优势的晶粒将优先长大。由上述对 Cu-30%Zn 合金冷轧织构特征的分析可知，剪切带变形机制对其冷轧织构形成起着至关重要的作用^[8, 9]。因为剪切带具有较高的形变储能，有利于快速形核，此外，剪切带内亚晶取向的多样性也为不同取向核的生长创造了条件，从而增大了大角度晶界产生的可能性，有利于亚晶进一步快速生长。Yeung^[10] 等在对形变 Cu-30%Zn 合金 300 $^\circ\text{C}$ 退火 10 min 后的组织观察中发现，剪切带中发生了大量的形核，形成的晶核快速在剪切带内长大；而在形变孪晶

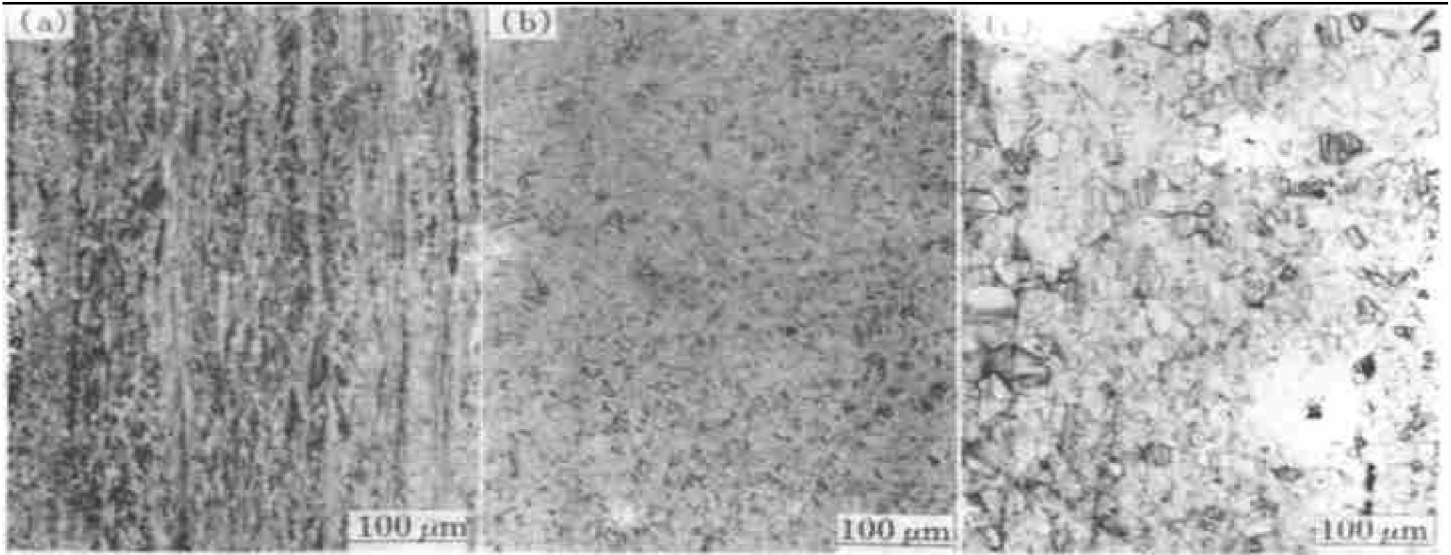


图2 85%冷轧样品激光加热不同时间的显微组织

Fig. 2 Microstructures of laser-heated samples with 85% reduction at different heating time

(a) $t = 9.0$ ms; (b) $t = 13.5$ ms; (c) $t = 45.0$ ms

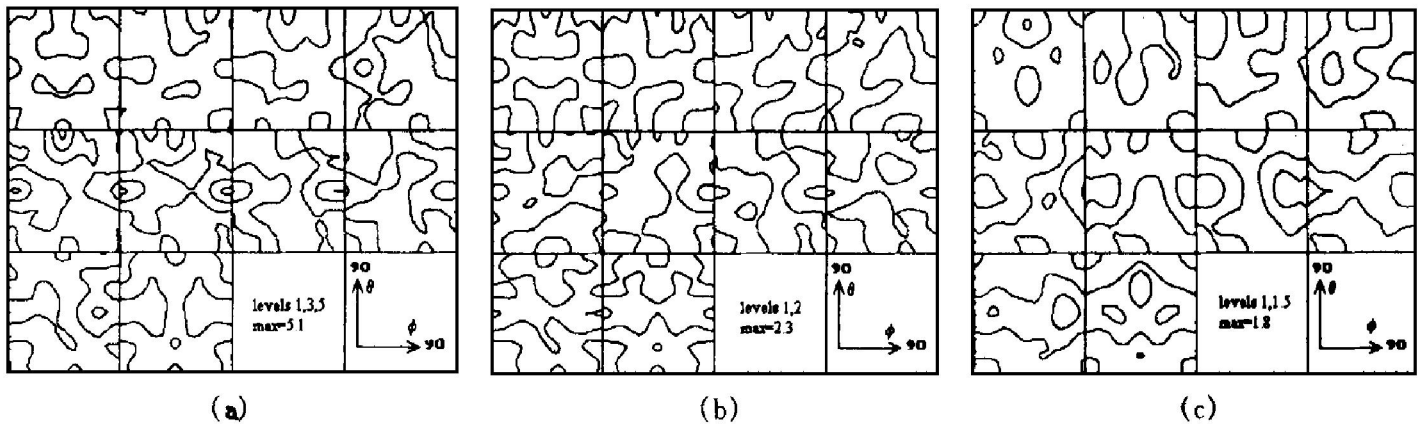


图3 85%冷轧样品激光加热不同时间的ODF恒 Ψ 截面图

Fig. 3 Constant Ψ ($\Delta\Psi = 10^\circ$) sections of ODFs of samples with 85% reduction at different laser heating time

(a) $t = 9.0$ ms; (b) $t = 13.5$ ms; (c) $t = 45.0$ ms

占主导的区域,形核却很慢。与普通退火相比,由于激光的超快速加热,一方面使得再结晶前的回复过程变得极其微弱,甚至有可能被抑制,形变储能得以保持到再结晶时释放;另一方面,由于高的形变储能释放率和高再结晶温度,导致各种取向的晶粒均有机会形核并长大。上述两种因素的共同作用,使得定向形核和定向生长机制受到极大限制,故再结晶后的组织呈现无规、漫散分布特征。

3 结论

(1) 由于 Cu-30%Zn 合金具有低的层错能,致使冷轧组织表现出明显的 B 型组织特征,轧制形变量仅决定组织的强度,对组织类型无明显影响。

(2) 对于经激光退火处理的两种轧制形变量的 Cu-30%Zn 合金,完全再结晶时的组织近乎无规分布;随着晶粒进一步长大,再结晶组织

构仍保持无规分布特征。

REFERENCES

- 1 Lebron J L, Maeder G and Parniere P. In: Nagashima S ed, Proceedings of 6th International Conference on Texture of Materials, Vol II. Tokyo: The Iron and Steel Institute of Japan, 1981: 787.
- 2 Alexandrov I V and Davice G J. Mater Sci Eng, 1985, 75: L1.
- 3 Fujii T and Ohba Y. In: Nagashima S ed, Proceedings of 6th International Conference on Texture of Materials, Vol I. Tokyo: The Iron and Steel Institute of Japan, 1981: 628.
- 4 Zhao Xiang, Zuo Liang, Zhao Hong *et al.* Trans Nonferrous Met Soc China, 1995, 5(2): 98.
- 5 Liu Yansheng(刘燕声), Wang Fu(王福), Xu Jiazhen(徐家桢) *et al.* J Northeastern University(东北大学学报), 1994, 15(3): 294.
- 6 Schutz L G. J App Phys, 1949, (20): 1030.
- 7 Liang Zhide, Xu Jiazhen and Wang Fu. In: Nagashima S ed, Proceedings of 6th International Conference on Texture of Materials, Vol II. Tokyo: The Iron and Steel Institute of Japan, 1981: 1259.
- 8 Mao Weimin(毛卫民) and Zhang Xinming(张新明). Quantitative Texture Analysis of Crystalline(晶体材料织构定量分析). Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995, 109.
- 9 Hirsch J, Virnich K H and Lucke K. In: Nagashima S ed, Proceedings of 6th International Conference on Texture of Materials, Vol I. Tokyo: The Iron and Steel Institute of Japan, 1981: 375.
- 10 Yeung W Y, Hirsch J and Hatherly M. In: Kallend J S and Gottstein G eds, Proceedings of 8th International Conference on Texture of Materials. Warrendale, Pennsylvania: The Metallurgical Society Inc, 1988: 631.

RECRYSTALLIZATION TEXTURE IN Cu-30% Zn ALLOY HEATED BY LASER BEAM

Wu Baolin^{†, ††}, Wang Yinong[†], Hu Guangyong[†], Zuo Liang[†], Liang Zhide[†]

[†] Department of Materials Science and Engineering,

Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China

^{††} Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, P. R. China

ABSTRACT Heating rates greatly affect the recrystallization textures of cold-deformed metals. The laser heating technique was applied to the ultra-rapid annealing of cold-rolled Cu-30% Zn alloy. The experimental results showed that the texture development differs from those observed in conventional annealing; when primary recrystallization completes, the grain orientation distribution is nearly random for the rolled Cu-30% Zn alloy with 70% and 85% reductions; with the continuous grain growth for two groups of the samples, the dispersion character of the grain orientation is still remained.

Key words laser heating Cu-30% Zn alloy recrystallization texture

(编辑 袁赛前)