

# Cu-Cr-Zr 系合金变形过程中的织构分析

## Texture Analysis of Cu-Cr-Zr Alloy in Process of Deformation

朱永兵, 慕思国, 李华清, 郭富安

(苏州有色金属研究院有限公司, 江苏 苏州 215026)

ZHU Yong-bing, MU Si-guo, LI Hua-qing, GUO Fu-an

(Suzhou Institute for Nonferrous Metal Research Co., Ltd., Suzhou 215026, Jiangsu, China)

**摘要:** 对 Cu-Cr-Zr 系合金铸锭进行热轧、固溶和冷轧, 利用 X 射线衍射仪测试合金材料不同状态下的织构, 分析各个状态下的织构种类及其演变规律。结果表明: 热轧后材料中主要织构为 Copper{112}⟨111⟩(C) 织构、Brass{011}⟨211⟩(B) 织构和 S{123}⟨634⟩织构, 存在微弱的立方织构{001}⟨100⟩; 固溶后材料中织构的强度降低, 立方织构消失; 冷轧后材料中织构的强度随着变形量的增加而强度增加, 冷轧过程中主要织构也是 C 织构、B 织构和 S 织构, 在冷轧初期出现 Goss{011}⟨100⟩(G) 织构, 随后 G 织构慢慢减弱, 直至消失。

**关键词:** Cu-Cr-Zr; 织构; 热轧; 固溶; 冷轧

中图分类号: TG146.1; TG115.22 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2009)07-0009-03

**Abstract:** The Cu-Cr-Zr alloy was treated by hot rolling, solution and cold rolling. The types and the evolution of texture in the different state were investigated using X-ray diffraction. The results show that the main textures of the alloy after hot rolling are Copper{112}⟨111⟩(C), Brass{011}⟨211⟩(B) and S{123}⟨634⟩ texture, including the faint cube{001}⟨100⟩ texture. The intensity of the texture decreases after solution and the cube texture disappears. In the condition of cold rolling, the intensity of texture enhances with the increasing of the deformation. The main textures during the cold rolling are C, B and S texture. In the early stage of the cold rolling, it appears the Goss{011}⟨100⟩(G) texture, then weakening gradually until disappears.

**Key words:** Cu-Cr-Zr; texture; hot rolling; solution; cold rolling

随着电子工业和高速列车的飞速发展, 在铜合金的使用方面对铜合金提出了更高的要求。Cu-Cr-Zr 系合金具有高强度高导电性能, 在电子工业中有巨大的应用价值。Cu-Cr-Zr 系合金作为第三代引线框架材料, 有着不可比拟的优越性。作为引线框架材料, 在后续的加工过程中有冲裁的工艺, 而合金材料中的织构对冲裁后的产品好坏有着很大的影响, 因此有必要对 Cu-Cr-Zr 系合金板材加工过程中的织构进行研究, 寻找织构与冲裁工艺之间的关系。在现有关于 Cu-Cr-Zr 系合金的文献中<sup>[1-6]</sup>, 大多是关于热处理工艺、合金元素的影响以及组织性能的研究报道, 对于织构的研究较少。

本工作研究 Cu-Cr-Zr 系合金在板带制备过程中不同状态下织构的变化, 为实际的工艺提供理论基础。

### 1 实验

本实验合金材料主要成分为: 0.1% ~ 1% Cr,

0.2% ~ 0.6% Zr(质量分数), 余量为 Cu, 采用非真空气体保护熔炼。铸锭规格为 100mm(长) × 50mm(宽) × 800mm(高), 经过铣面、热轧、固溶、冷轧, 制成不同厚度的板材, 其中固溶温度 950℃, 冷轧变形量分别为 55%, 70%, 95%。

在热轧、固溶、冷轧不同变形量的板材上取 24mm × 12mm 的试样(长方向为轧向), 进行研磨、抛光、溶液侵蚀, 对试样进行金相观察, 然后用此样品进行织构测试, 其中金相试样的观察面均为轧向表面。

实验采用 X 射线分析仪测量合金材料中的晶粒取向, 得出试样的恒  $\varphi_2$  ( $\Delta\varphi_2 = 5^\circ$ ) 的 ODF 截面图。

### 2 结果与讨论

图 1, 2 分别是铸锭热轧后 200 倍下的金相照片和 ODF 截面图。从图 1 中可以看出, 热轧后合金的晶粒被明显地拉长, 在这个过程中大量晶粒会发生偏转。在晶粒内和晶界上分布着第二相粒子, 这会影响晶粒

的取向分布。从图 2 看出, 热轧后样品中主要的织构是 C 织构、B 织构和 S 织构, 同时存在极其微弱的再结晶织构——立方织构。

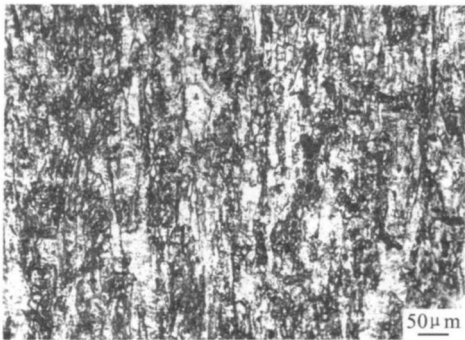


图 1 铸锭热轧后的金相图片

Fig. 1 Optical micrograph of the hot rolled ingot sample

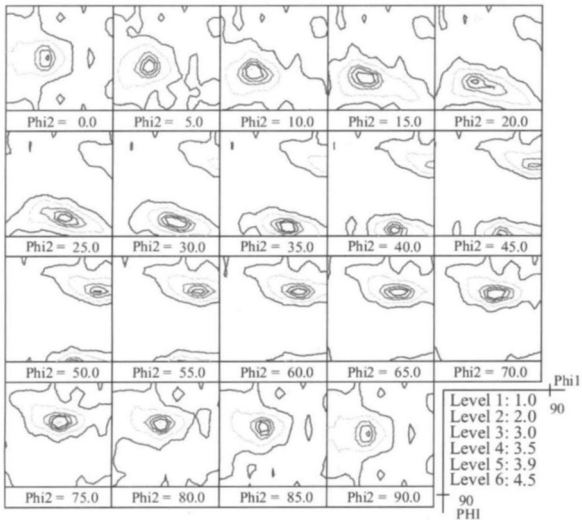


图 2 铸锭热轧后的 ODF 截面图

Fig. 2 ODF of the hot rolled ingot sample

热轧的板材经固溶后, 细长的晶粒消失, 形成等轴晶, 如图 3 所示, 很明显, 合金组织发生了再结晶。图 4 中 ODF 的截面图可以看出, 固溶后材料中织构的漫散程度降低, 只存在特征织构 C、B 和 S, 从图中看出, 特征织构的强度也明显减弱。

对比热轧和固溶后的金相组织和 ODF 截面图, 可以明显发现在固溶后晶粒出现再结晶, 织构的强度弱化。可知, 在高温加热的条件下, 部分晶粒取向会发生无序偏转, 从而减弱了织构的强度。

温度对不同金属材料的织构有很大的影响<sup>[7,8]</sup>, 但是, 对于该合金在固溶处理的情况下没有发现再结晶织构。作者认为, 对于该系的  $Cu-Cr-Zr$  合金, 轧制的温度、轧制的变形量以及固溶温度对再结晶织构有很大的影响。在该系合金中,  $\{112\}$ ,  $\{011\}$  和  $\{123\}$  晶

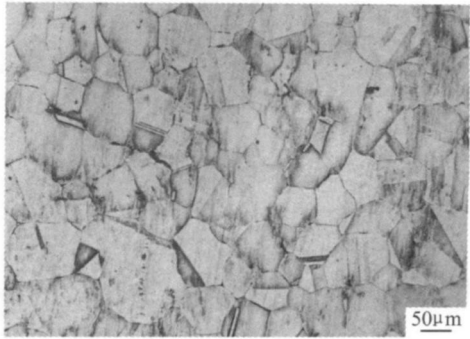


图 3 铸锭固溶后的金相图片

Fig. 3 Optical micrograph of the ingot sample after solution

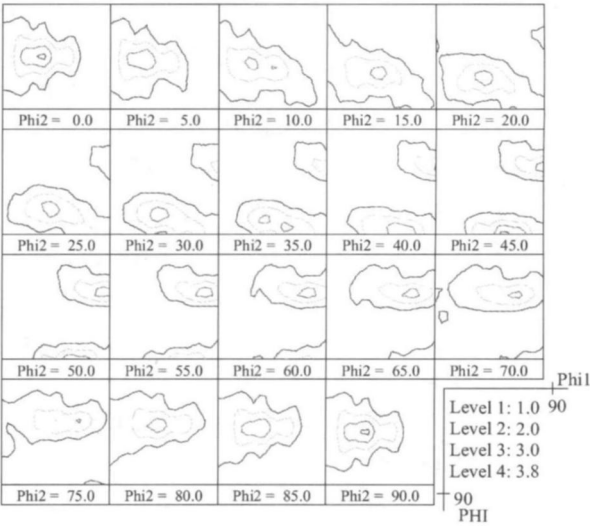


图 4 铸锭固溶后 ODF 截面图

Fig. 4 ODF of the ingot sample after solution

面是合金轧制过程中择优转动的晶面, 在热轧过程中出现的少量的再结晶织构, 在高温固溶时提供了再结晶织构向特征织构转化的足够的能量, 因此在固溶后观察不到再结晶织构。

图 5 是固溶+ 冷轧处理后板材的 ODF 截面图, 变形量分别是 55%, 75%, 95%。在冷轧变形量为 55% 时, 板材中的主要织构是 C、B 和 S 织构, 含有少量 G 织构。与固溶态的相比, 特征织构的主要类型不变, 强度明显增强。随着变形量的增加, 特征织构的强度增加。在冷轧变形量为 75% 时, 从 ODF 图中观察到 G 织构开始减弱, 当冷轧变形量到 95% 时, G 织构趋于消失。

从观察结果可知, 冷轧后材料中的织构与固溶后的织构基本相同, 只是冷轧后强度增大。表明, 冷轧工艺对该系的铜合金在织构上无太大影响。

图 6 是冷轧不同变形量下织构的  $\beta$  取向线分析和  $\beta$  取向线的位置。从图中可以看出, 在冷轧变形量为

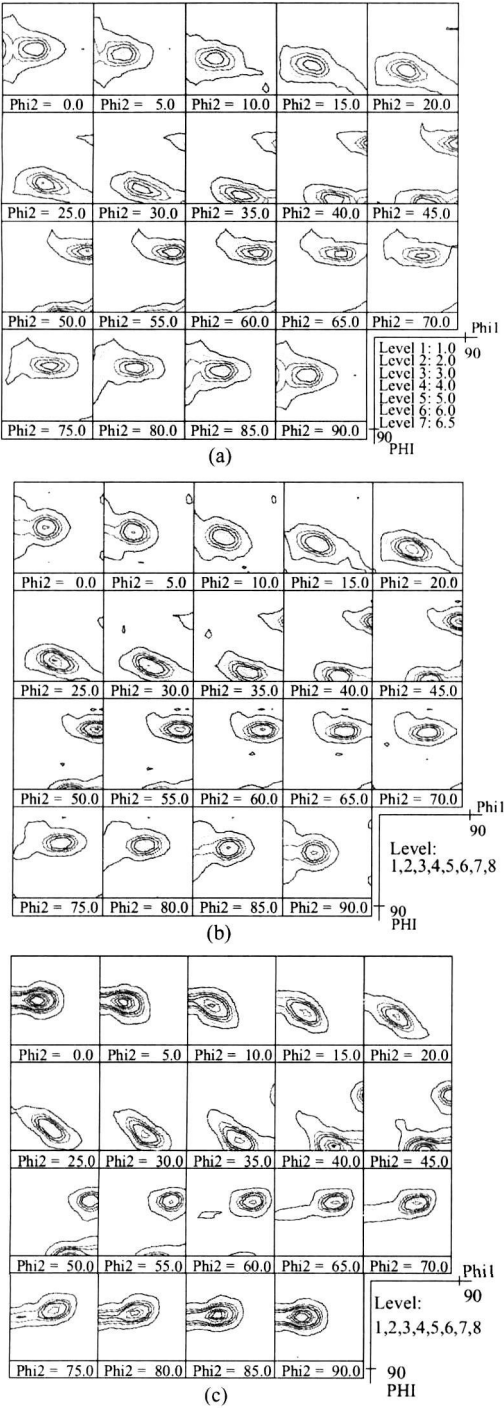


图 5 冷轧不同变形量下样品的 ODF 截面图  
(a) 55% ; (b) 75% ; (c) 95%

Fig 5 ODF of the cold rolled samples after various degrees of rolled reduction (a) 55% ; (b) 75% ; (c) 95%

70% 时, C 织构占主导地位。随着变形量的增加, S 织构、B 织构在强度上增加。

根据试验结果可知, 在冷轧过程中材料中三种主要的织构随着变形量的变化, 主导织构是发生转化的。在冷轧的整个过程中, C 织构的含量是先增后减, B 织构的含量先略减后显著增加。在冷轧变形量达到

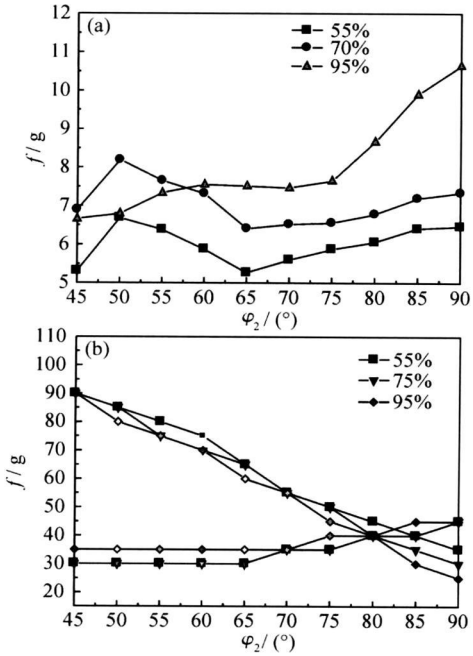


图 6 冷轧不同变形量下织构的取向线分析  
(a)  $\beta$  取向线; (b)  $\beta$  取向线的位置

Fig 6 Intensity lines of the samples after various degrees of rolled reduction (a)  $\beta$ -fibre; (b) position of  $\beta$ -fibre

95% 时, B 织构已明显占主导地位。分析其原因认为, 随着变形量的增加晶粒内的层错能降低, C 取向的晶粒发生孪晶变形, 该晶粒先由 C 取向转变到 C 取向孪晶位置 $\{552\} \langle 115 \rangle$ , 再经过位错滑移由 G 取向流向 B 取向<sup>[9]</sup>, 这与冷轧过程中出现 G 织构的结果相符合。

### 3 结论

(1) 以 Cu-Cr-Zr 系合金为研究对象, 分析了合金在热轧、固溶以及冷轧过程中的织构演变。

(2) 热轧后合金中存在的织构主要为 C 织构、B 织构和 S 织构, 存在极少量的立方织构; 固溶后立方织构消失, 主要织构的强度减弱。

(3) 在冷轧变形过程中合金中主要织构不变, 为 C 织构、B 织构和 S 织构, 变形初期出现少量的 G 织构; 随着变形量的增加, G 织构消失, 主要织构的强度增加。

(4) 在合金变形量增大的过程中, 晶粒取向由 C 取向流向 B 取向。

### 参考文献

[1] TU J P, QI W X., YANG Y Z, et al. Effect of aging treatment on the electrical sliding wear behavior of Cu-Cr-Zr alloy [J]. Wear, 2002, 249: 1021- 1027.

(下转第 38 页)

为分析疲劳寿命, 应力比  $r$  取 0.1, 将  $a_0$ ,  $a_c$  和上述材料参数代入下式<sup>[5]</sup>

$$N_P = N_f - N_0 = \int_0^{N_P} dN = \int_{a_i}^{a_c} \frac{1}{C\pi^{m/2} (\Delta\sigma)^m a^{m/2}} da = \left[ \frac{a_c^{1-\frac{m}{2}} - a_0^{1-\frac{m}{2}}}{1 - \frac{m}{2}} \right] \frac{1}{C\pi^{m/2} (\Delta\sigma)^m} \quad (m \neq 2) \quad (1)$$

从而得在不同的应力幅  $\Delta\sigma$  下的疲劳剩余寿命。图 5 为在同一坐标系下表示的 650℃ 高温 GH4169 合金母材及焊接接头的疲劳裂纹扩展寿命, 若给定应力幅, 可以由图 5 估算 GH4169 合金接头的疲劳剩余寿命。

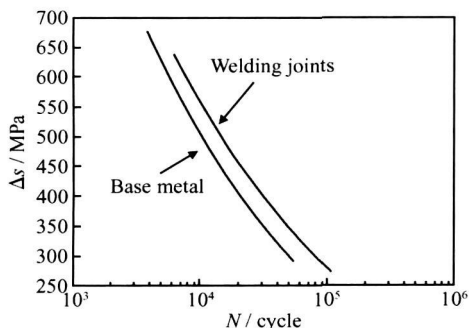


图 5 GH4169 高温合金母材及焊接接头的疲劳裂纹扩展寿命

Fig. 5 The fatigue residual life of welded joints and base metal at 650℃

### 3 结论

(1) 疲劳裂纹扩展试验及数据统计分析表明, 在高温试验条件下, GH4169 合金母材的中值疲劳裂纹扩

展速率高于相应焊缝的中值疲劳裂纹扩展速率。

(2) 电子束焊接接头的疲劳裂纹扩展寿命取决于疲劳裂纹扩展速率、初始裂纹尺寸和裂纹容限。母材及焊缝的疲劳裂纹扩展速率和裂纹容限均有较大的差异, 因此, 在疲劳裂纹扩展寿命评定中必须综合进行分析。

(3) 在初始裂纹尺寸相同的情况下, 虽然 GH4169 合金电子束焊缝的裂纹容限比母材的裂纹容限小, 但由于焊缝疲劳裂纹扩展速率较母材的小, 所以在相同的初始裂纹尺寸和应力幅条件下, GH4169 合金焊缝区疲劳裂纹扩展到临界裂纹尺寸的剩余寿命要高于母材的剩余寿命。

### 参考文献

- [1] PADULA II S A, SHYAM A, RITCHIE RO, et al. High frequency fatigue crack propagation behavior of a nickel-base turbine disk alloy [J]. International Journal of Fatigue, 1999, 21: 725-731.
- [2] 李树祺, 庄景云, 谢锡善, 等. GH169 合金显微组织对合金裂纹扩展速率的影响[J]. 材料工程, 1998, (5): 26-27.
- [3] 周建波, 董建新, 徐志超, 等. GH761 涡轮盘 650℃ 疲劳蠕变交互作用下的裂纹扩展速率[J]. 特殊钢, 2002, (3): 19-20.
- [4] 何玉怀, 李骋, 刘绍伦, 等. GH4169 合金疲劳裂纹扩展性能的试验研究[J]. 燃气轮机试验与研究, 2004, (4): 5-8.
- [5] 霍立兴. 焊接结构的断裂行为及评定[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

收稿日期: 2008-04-01; 修订日期: 2008-07-05

作者简介: 秦昕(1978—), 男, 博士研究生, 主要从事高温合金、钛合金的疲劳裂纹扩展性能安全分析及评定方面的研究, 联系地址: 北京航空航天大学 702 教研室(100083), E-mail: qinxin@me.buaa.edu.cn

(上接第 11 页)

- [2] HUANG Fuxiang, MA Jiesheng, NING Honglong, et al. Analysis of phases in a Cu-Cr-Zr alloy[J]. Scripta Materialia, 2003, 48: 97-102.
- [3] BATRA IS, DEY G K, KULKARNI U D, et al. Microstructure and properties of a Cu-Cr-Zr alloy[J]. Journal of Nuclear Materials, 2001, 299: 91-100.
- [4] BATRA IS, DEY G K, KULKARNI U D, et al. Precipitation in a Cu-Cr-Zr alloy [J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 356: 32-36.
- [5] SU Juanhua, DONG Qiming, LIU Ping, et al. Research on aging precipitation in a Cu-Cr-Zr-Mg alloy[J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 392: 422-426.
- [6] 刘勇, 刘平, 李伟, 等. Cu-Cr-Zr-Y 合金时效析出行为研究[J]. 功能材料, 2005, 36(3): 377-379.
- [7] GÄRTNER F, NORMAN A F, GREER A L, et al. Texture

analysis of the development of microstructure in Cu-30at.% Ni alloy droplets solidified at selected undercoolings[J]. Acta Materialia, 1997, 45(1): 46-51.

- [8] 张德芬, 黄涛, 胡卓越, 等. 3140 铝合金再结晶组织的研究[J]. 材料工程, 2004, (11): 28-31.
- [9] 毛卫民, 张新明. 晶体材料组织定量分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.

基金项目: 中国铝业基金项目(2007KJA10)

收稿日期: 2008-02-25; 修订日期: 2008-06-20

作者简介: 朱永兵(1981—), 男, 工程师, 硕士, 从事铜合金加工研究, 联系地址: 苏州工业园区沈浒路 200 号苏州有色金属研究院有限公司(215026), E-mail: yongbingzhu@sina.com