LY12CZ 挤压棒材粗晶环微观分析①

张胜华 胡泽豪 朱旭霞 林高用
(中南工业大学材料科学与工程系, 长沙 410083)
刘静安 任小灵 王岩松
(西南铝加工厂, 重庆 631326)

摘 要 通过微观组织分析, 研究了 LY12 挤压棒材在固溶处理前进行足够的冷拔变形可消除其粗晶环的现象。足够的冷变形增加了再结晶的形核率, 改变了第二相粒子、残余应力的大小和分布, 从而获得了均匀的细晶组织, 消除了粗晶环。由此还分析了 LY12CZ 挤压棒粗晶环形成的原因, 即挤压过程中棒材边部剧烈的剪切变形使其具有很大的畸变能, 促使第二相粒子聚集长大而失去对再结晶的抑制作用, 在随后的淬火加热过程中发生一次再结晶而聚集长大形成粗晶环。

关键词 LY12 铝合金 粗晶环 冷拉拔

正向无润滑挤压铝合金制品, 经淬火处理后, 其周边都有不同程度的粗晶环。对粗晶环的形成机理没有形成共识, 至今还没有消除粗晶环的有效方法[1, 2]。用户对铝合金挤压制品的质量要求越来越高, 尤其是军工产品, 既要求制品无粗晶环, 又要求制品有较高的力学性能, 因此, 研究消除粗晶环的方法及其形成机理就成了挤压制品生产的重要课题。作者通过研究和现场试生产, 达到了消除 LY12CZ 挤压棒粗晶环的目的, 且力学性能满足用户要求。并在此基础上, 通过有粗晶环的 LY12CZ 挤压棒和无粗晶环的 LY12CZ 挤压棒的微观组织对比分析, 探讨了粗晶环的形成机理。

1 实验

实验材料是某厂提供的 LY12 铝合金半连续铸锭, 其化学成分如附表所示。

生产方案为: (1) 挤压→淬火→时效; (2) 挤压→冷拉拔→淬火→时效。

实验主要包括金相分析、显微分析和力学性能测定, 使用的主要仪器有: MET 金相显微镜、NEOPHOT-21 金相显微镜、H-800 透射电镜、WD-10A 电子万能材料试验机。

附表 铸锭主要化学成分(%)

合金牌号	主要合金成分				其它
LY12	Cu	Mg	Mn	Al	总和
标准值	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	余量	< 1.5
实测值	4.01	1.15	0.55	余量	达标

2 结果与分析

2.1 金相组织

图 1(a) 为方案 1 生产的棒材纵剖面组织, 图 1(b) 为方案 2 生产的棒材经过 10% 的冷变形量的纵剖面组织。从图 1(a) 可见棒材边部形成了一定厚度的粗晶组织, 而中间为变形组织; 图 1(b) 几乎整个断面为均匀细晶组织, 宏观上前者表现为粗晶环, 后者表现为无粗晶环。可见, 固溶处理前的冷拔变形对挤压棒材微观组织的影响非常显著。

2.2 显微组织

LY12CZ 挤压棒粗晶区和基体区第二相粒

① 收稿日期: 1996-03-25; 修回日期: 1996-05-20 张胜华, 女, 53 岁, 副教授

子形貌如图 2 所示: 粗晶区粒子粗而疏, 基体区粒子细而密。淬火前经 10% 的冷变形后的 LY12CZ 棒材第二相粒子形貌如图 3 所示: 边部和中心区的第二相粒子大小、分布基本一致。

经过 10% 冷拔变形后再淬火的试样, 其析出相分布如图 3 所示, 从中可见, 经拉拔后, 析出相分布明显均匀。

图 4 为棒材出模后快速冷却保留下来的高温组织, 从中发现, 挤压后棒材边部就已经有再

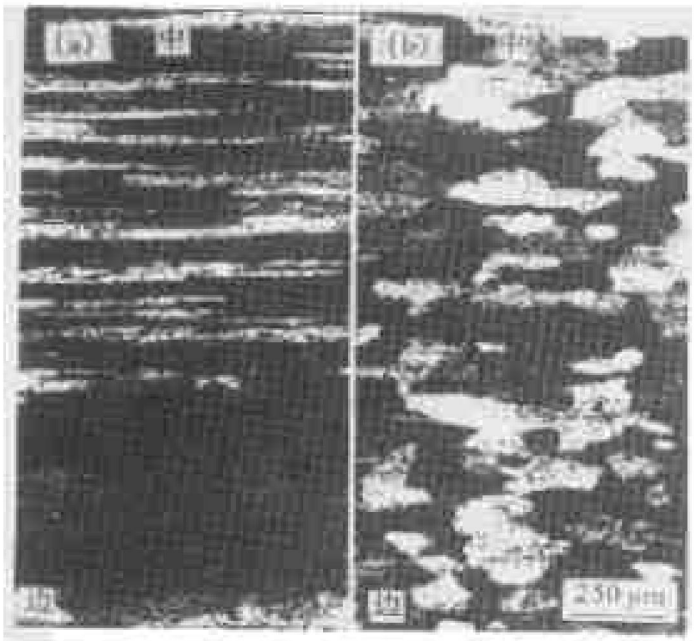

图 3 淬火前经 10% 的冷变形后的 LY12CZ 棒第二相粒子 TEM 像

(a)—棒材边部; (b)—棒材中部

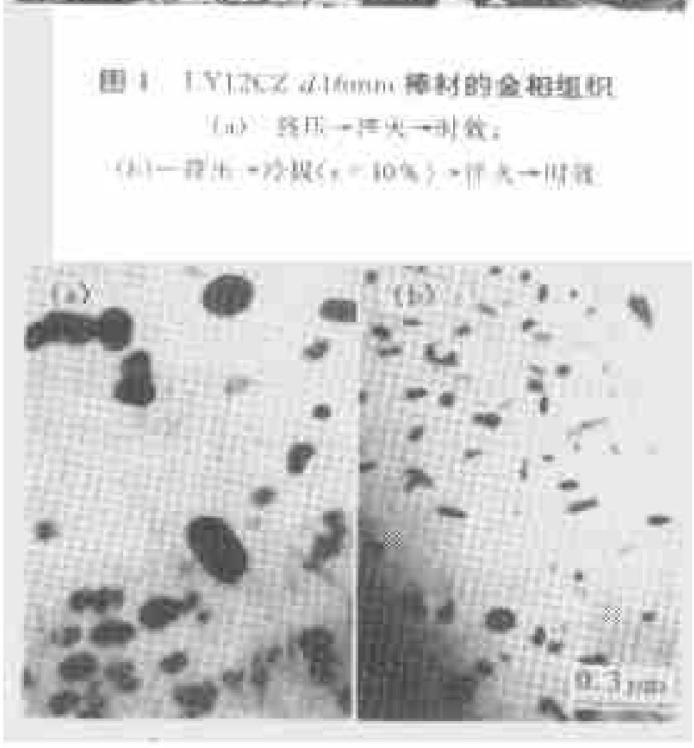

图 2 LY12CZ 挤压棒第二相粒子

(a) —粗晶区; (b) —基体区

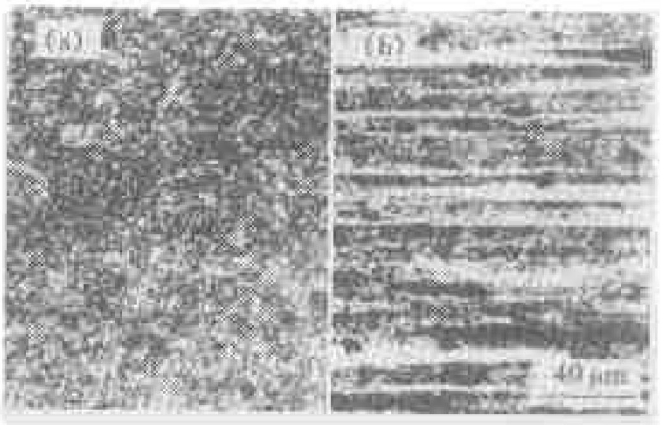

图 4 挤压态金相组织

(a) —棒材边部; (b) —棒材中部

结晶晶核和回复亚晶组织; 而棒材中心仍为未再结晶组织。图 5 为图 4(b) 的高倍显微组织。可以看出, 金相组织中的变形组织, 在透射电镜下观察为亚结构。

2.3 力学性能

不同冷拉拔量下 LY12CZ 棒材力学性能曲线如图 6 所示: 经过 10% 的冷拉拔变形后, 不仅消除了粗晶组织(如图 1(b)), 而且力学性能满足使用要求($\sigma_{0.2} \geqslant 310$ MPa, $\sigma_b \geqslant 440$ MPa)。同时看出, 冷拉拔量为 6% 时 LY12CZ 棒材强度值最小, 说明冷变形已深入内部, 变形组织全部变为再结晶组织, 挤压效应消失。冷变形量继续增加到 10% 时, 再结晶晶粒愈小愈均匀, 强度值也有逐渐增加的趋势, 说明力

学性能的变化规律与金相组织观察结果是一致的[3]。

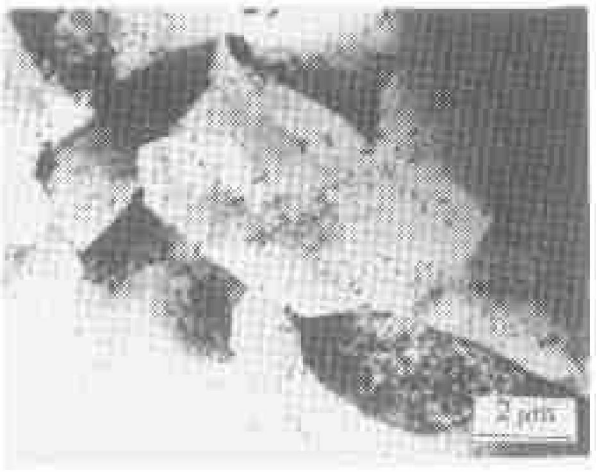

图 5　挤压态显微组织 TEM 像

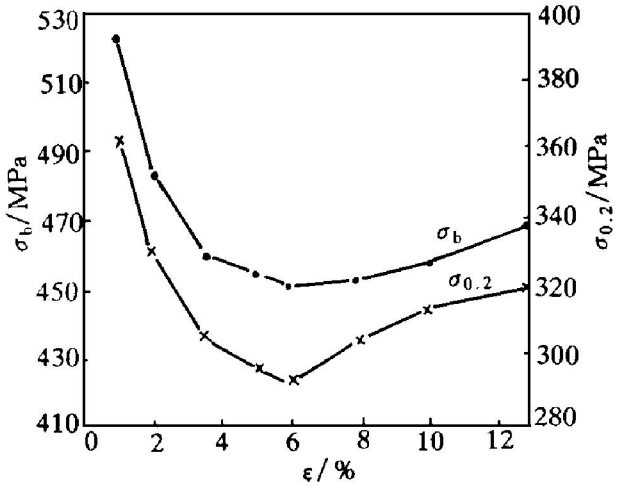

图 6　不同冷拉拔量下 LY12CZ 棒材力学性能曲线

对上述微观实验的结果，可分析如下：

(1) 由于挤压时的不均匀变形，在棒材边部产生剧烈的剪切变形，从而使这部分金属具有很大畸变能(见图 7)，这将有利于含 Mn 第二相粒子在位错密集的地方析出，并聚集长大，降低再结晶开始温度。同时，由于铝合金是层错能很高的金属，位错易于攀移和交滑移，在变形过程中容易发生动态回复。回复的结果是在棒材中形成亚晶。边部的亚晶在高的畸变能作用下发生形核和长大，小角度晶界转变成大角度晶界。而棒材出模后的温度(因散热)远低于 LY12 合金再结晶终了温度，故只能形成较小的不稳定晶粒(如图 4(a))，中部仍是回复的变形组织(如图 4(b))。

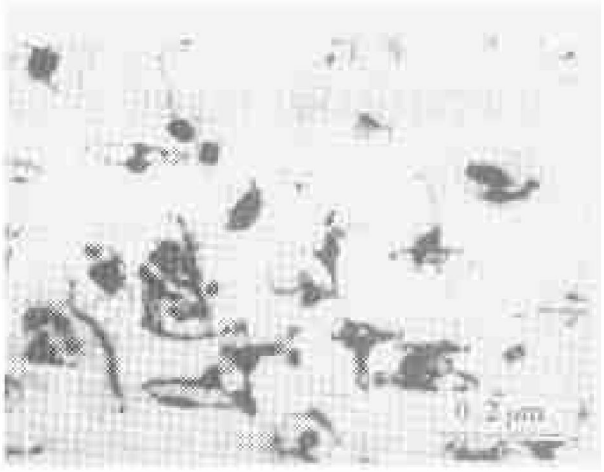

图 7　挤压态位错 TEM 像

(2) 在随后进行淬火加热过程中，边部不稳定的晶粒因获得足够的能量，再加上边部较大的第二相粒子失去了对再结晶的抑制作用，这样不稳定的晶粒在没有阻力的情况下迅速长大，最终形成粗大晶粒，如图 2(a) 所示。中心部的变形组织因淬火加热过程中存在温度梯度，获得的能量相对少些，再加上中心部弥散分布的第二相粒子对再结晶的抑制作用，最终是不完全再结晶组织。所以，棒材经宏观低倍检查时，表现为粗晶环。

(3) 如果在淬火前进行足够的冷变形，一方面使边部的晶粒严重破碎，从而显著提高形核率；另一方面第二相粒子因破碎而重新分布，恢复其对再结晶的抑制。这样，经过淬火加热后，棒材表面都发生了完全再结晶，使挤压效应和粗晶环都消失。这就出现了如图 1(b) 所示的均匀细晶组织和图 3 所示的均匀、细小的第二相粒子。正是由于这种均匀细晶组织保证了失去挤压效应的棒材的力学性能。

参考文献

1　聂崇礼. 轻金属，1979，(5)：33.
2　郑强健. 轻合金加工技术，1992，20(8)：33.
3　张胜华. 中南工业大学学报，1996，27(2)：190.
4　胡泽豪. 硕士学位论文．中南工业大学，1996.

MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF COARSE-GRAIN RECRYSTALLIZATION ANNULUS OF EXTRUDED BARS OF LY12CZ ALUMINIUM ALLOY

Zhang Shenghua, Hu Zehao, Zhu Xuxia, Lin Gaoyong
Department of Materials Science and Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083
Liu Jingan, Ren Xiaolin, Wang Yansong
Southwestern Aluminium Fabrication Plant, Chongqing 631326

ABSTRACT It has been studied by analyzing the microstructure that the coarse-grain recrystallization annulus in directly extruded LY12 aluminium alloy bars can be eliminated by sufficient cold drawing reduction before solid solution. The nucleation of recrystallization increases by certain cold drawing reduction. Cold drawing results in more homogeneous distribution of residual stress so that the elimination of coarse grain annulus and homogeneous fine grain structure can be achieved. The mechanism of the formation of the annulus in LY12CZ bars was discussed as well. It is concluded that the formation of the annulus can be essentially attributed to the violent shear deformation during hot extruding. Large shear strain brings large distortion energy to the outer layer of the products, thus facilitating the gathering of the particles containing manganese, and making them lose the retardation to recrystallization grain growth. Consequently, the nuclei formed by subgrain coalescence grow up accumulatively to form coarse recrystallization annulus during subsequent reheating and soaking processes before quenching.

Key words LY12 aluminium alloy coarse-grain recrystallization annulus cold drawing

(编辑 彭超群)