文章编号：1000-5773(2008)03-0318-05

高压和热处理对铝青铜微观组织的影响*

杨景茹[1]，刘 琳[2]，任艳军[3]，刘建华[4]，张瑞军[4]

(1. 河北建材职业技术学院信息机电系，河北秦皇岛 066004；
2. 唐山职业技术学院，河北唐山 063000；
3. 河北科技师范学院分析测试中心，河北秦皇岛 066004；
4. 燕山大学亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室，河北秦皇岛 066004)

摘要：借助金相、扫描电子显微镜(SEM)/能谱仪(EDS)及 X 射线衍射(XRD)等方法，研究了高压和热处理对铝青铜微观组织的影响。结果表明：铝青铜经 750 ℃温度、6 GPa 压力处理后所获得的 α 相的晶粒尺寸较经 750 ℃温度、常压处理后所获得的 α 相晶粒尺寸小；当铝青铜经高压处理后再经 750 ℃保温 2 min 常压处理时，组织中出现细条状的 α 相，且热处理后的冷却速度越大，细条状 α 相的数量越多，颗粒状 α 相的数量越少。

关键词：铝青铜；高压；热处理；微观组织

中图分类号：TG146.2 **文献标识码**：A

1 引 言

铝青铜具有较高的强度，优良的导热和耐蚀性能，且价格低廉。虽然铝青铜的制备和加工都很简单，但存在塑性差、晶粒粗大的缺点[1]，致使该合金在应用方面受到了很大的限制。因此，改善铝青铜的微观组织引起了相关研究者的关注。压力是影响合金相变行为的参数之一，通过压力可影响合金相变动力学和热力学过程，从而达到改善合金微观组织的目的。目前，关于采用高压力来改善合金组织的研究工作主要集中在压力在合金凝固过程中的作用[2-6]，而有关压力对合金固态相变组织影响的研究报道较少，但是很多合金组织又取决于固态相变。此外，热处理也能改善合金的微观组织。为此，本工作研究了高压和热处理共同作用对铝青铜组织的影响，所得结果对进一步改善铝青铜的微观组织提供了新的途径。

2 实验材料与方法

实验材料为铝青铜，其化学成分(质量分数)为 $w_{Cu}=87.62\%$，$w_{Al}=11.81\%$，$w_{Bi}=0.16\%$，其余占 0.08%。将试样密封在石墨套管内，用叶蜡石作为传压介质，在 CS-ⅡB 型六面顶压机上进行高压实验。在 6 GPa 压力下将样品加热至 750℃，保温 15 min 后断电保压冷却至室温(约 25 ℃)，然后将高压处理后的样品在 STA449C 热分析仪中加热至 750 ℃保温 2 min 后，分别以为 5 ℃/min、10 ℃/min 和 20 ℃/min 的冷却速度进行冷却，并测试其新晶粒形成的温度。用 Neophot21 金相显微镜、KYKY-2800 型扫描电镜(配带能谱仪 EDS)和 D/MAX-rB 型 X 射线衍射仪(带石墨单色器，K_α 辐射)，对试样组织、微区成分及组成相进行分析。

* **收稿日期**：2007-10-12；**修回日期**：2008-01-11

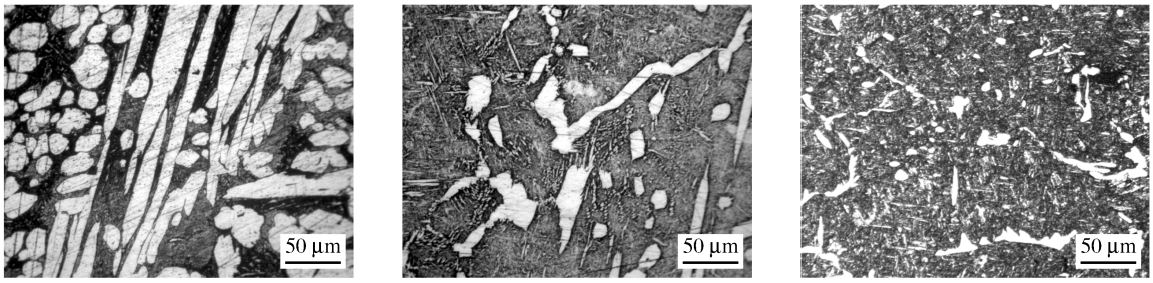
作者简介：杨景茹(1956—)，男，高级讲师，主要从事金属材料组织与性能的研究. E-mail：yang_jr45@sohu.com

通讯作者：张瑞军(1962—)，男，教授，主要从事金属材料组织与性能的研究. E-mail：Zhangrj@ysu.edu.cn

3　实验结果与分析

3.1　金相组织

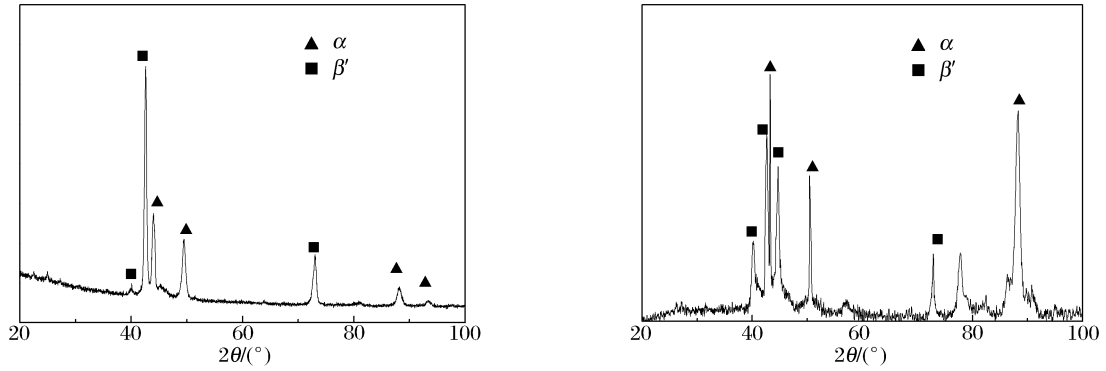
图 1 为不同条件下铝青铜的金相组织。可以看出,铝青铜铸态组织是由不规则的白色条块状和黑色基体构成。由 X 射线衍射(XRD)分析结果(见图 2)可知,该合金铸态组织由 α 相和 β' 相组成。能谱(EDS)分析结果(见图 3)也表明,在黑色基体中 Cu 元素的含量(85.89%～87.56%,质量分数)较白色相中的 Cu 元素的含量(93.14%～94.03%,质量分数)低,可断定白色条状相为 α 相,是以 Cu 为基的固溶体,属面心立方结构;β' 相是以 $AlCu_3$ 为基的固溶体,属斜方晶体结构,β' 相主要存在于黑色基体中。铝青铜经高压处理后,其组织形貌有所改变,表现在组织中出现尺寸约 4～13 μm 的白色粒状 α 相,不规则的白色条块状 α 相的尺寸减小且数量也减少。与经常压 750 ℃保温 10 min 处理后的试样相比,在经高压处理后的样品组织中,其 α 相的尺寸明显变小。为进一步了解高压和热处理对铝青铜组成相的影响,由铝青铜的 XRD 结果(图 2)发现,铝青铜经高压以及高压和热处理后的组织仍主要为 α 相和 β' 相,仅是两相的衍射峰强度和位向有所变化。



(a) As-cast　(b) After treatment at 750 ℃ under normal pressure　(c) After treatment at 750 ℃ and 6 GPa

图 1　铝青铜在不同处理条件下的金相组织

Fig. 1　Microstructure of aluminum bronze at different conditions



(a) As-cast　(b) After treatment at 750 ℃ and 6 GPa pressure

图 2　铝青铜的 XRD 图谱

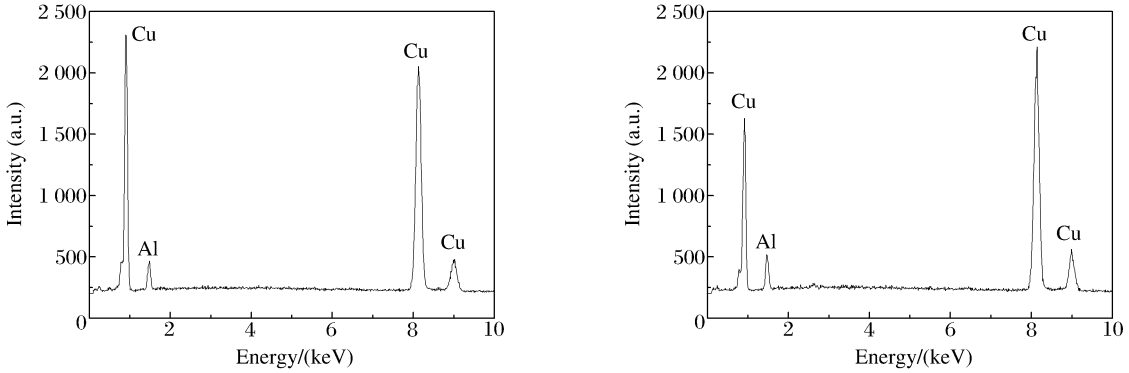
Fig. 2　XRD patterns of aluminum bronze

由各微区的成分分析结果(见图 3)可知,在经不同条件处理后的铝青铜组织中,白色 α 相中的 Cu 和 Al 元素的含量变化不大,而黑色基体中的 Cu 和 Al 元素的含量有所波动。相对比较,经高压处理后黑色基体中的 Cu 和 Al 元素的含量波动较大。

图 4 为铝青铜经高压处理再经 750 ℃保温 2 min 后、在不同冷却速度下的金相组织。可以看出,经高压和热处理后,在样品组织中出现细针状的 α 相,在冷却速度为 5～20 ℃/min 的范围内,冷却速度越大,细针状 α 相的数量越多,颗粒状和不规则块状 α 相的数量越少(见图 5)。

3.2 新晶粒形成温度

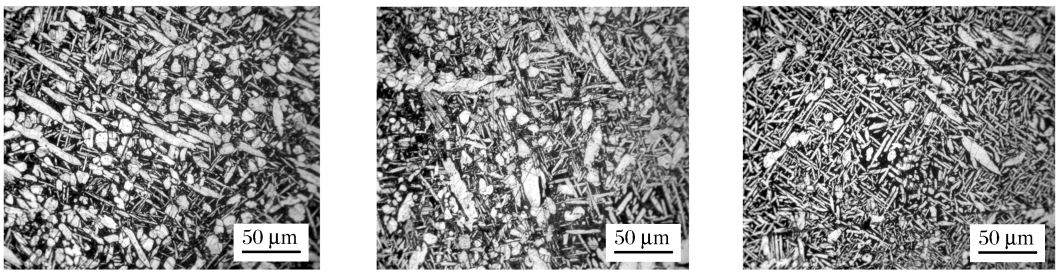
图 6 为经高压处理后的铝青铜在不同冷却速度下的 DSC 曲线。可以看出，在曲线上有一个放热峰，这是由于在该合金组织中有新晶粒形成所致。由 DSC 曲线可得出铝青铜中新晶粒形成的起始温度、结束温度及形成时间(见表 1)。由表 1 可知，冷却速率越大，新晶粒形成的起始温度和结束温度越低，新晶粒形成所需要的时间越短。



(a) White-zone (b) Black-zone

图 3 铝青铜组织中不同区域的 EDS 谱

Fig. 3 EDS spectra of different zone in aluminum bronze



(a) 5 ℃/min (b) 10 ℃/min (c) 20℃/min

图 4 铝青铜经高压处理再经 750 ℃保温 2 min 后不同冷却速度下的金相组织

Fig. 4 Microstructure of aluminum bronze at different cooling rates after treatment at 750 ℃ and 6 GPa high pressure and followed by a treatment at 750 ℃ for 2 min

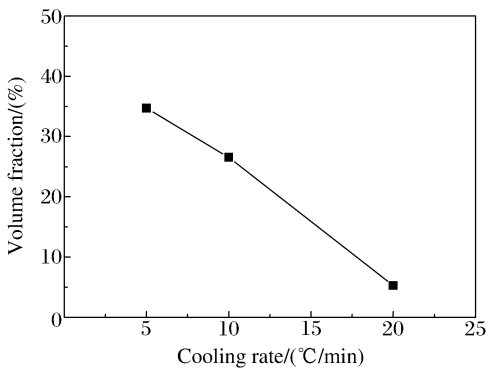


图 5 铝青铜组织中颗粒状 α 相的体积分数与冷却速率的关系

Fig. 5 Relationship between the volume fraction of granular α phase and the cooling rate

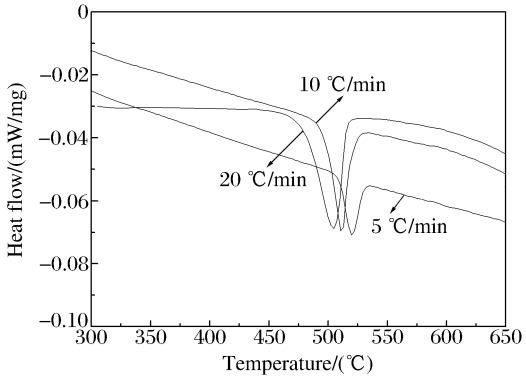


图 6 不同冷却速度下铝青铜的 DSC 曲线

Fig. 6 DSC curves of aluminum bronze at different cooling rates

表 1　铝青铜在不同冷却速度下形成新晶粒的温度和时间

Table 1　The temperature and time for formation of new grains in aluminum bronze at different cooling rates

Cooling rates/(℃/min)	Beginning temperature/(℃)	Ending temperature/(℃)	Forming time/(s)
5	534.64	510.36	291.36
10	529.52	492.21	223.86
20	512.15	479.42	98.19

3.3　讨论

由 Cu-Al 合金相图可知[7],当铝青铜被加热到 750 ℃时,合金的组织为 α 相和 β 相两相区,在随后的冷却过程中,α 相和 β 相的数量将发生变化。超高压力能增加合金组织内部畸变等缺陷,这为新晶核的形成提供了有利的部位,同时超高压力也能使形成晶核所需要的临界自由能减小[8],从而提高了新晶粒的形核率。再者,在过高的压力下原子的扩散较困难,抑制了晶核的长大,故经超高压处理后所获得的铝青铜的晶粒尺寸较常压条件下所获得的晶粒尺寸小。

由于高压的作用,造成铝青铜组织中黑区域内形成的晶粒细小,晶界密度和畸变等缺陷增多。同时,组织内成分不均匀,这为新相的形核提供了有利部位,导致铝青铜在随后的热处理过程中形成大量的晶核,通过控制热处理工艺可使铝青铜的显微组织细化。从本实验结果看出,在本实验条件下热处理后的冷却速度越慢,组织中细针状的 α 相数量越少,颗粒状 α 相数量越多。其主要原因是由于冷却速度增大,致使新晶粒形成的温度降低和所需要的时间缩短,从而导致合金元素原子的扩散速度减慢。同时,由于原子没有足够的时间进行长程扩散,故所形成的新晶粒尺寸细小。可见适当控制高压处理后的热处理工艺,不仅能细化组织,同时也能控制组织中 α 相的形状,这为优化铝青铜的微观组织提供了一个有效途径。

4　结　论

(1) 铝青铜在 750 ℃温度、6 GPa 压力下发生固态相变时,可形成晶粒尺寸细小的 α 相,随后再经 750 ℃保温 2 min 常压处理后,组织中出现细条状的 α 相。在 5～20 ℃/min 冷却速度的范围内,随冷却速度的增大,细条状 α 相的数量增多,颗粒状 α 相的数量减少。

(2) 高压能使铝青铜微观组织细化,当与热处理共同作用时能改变其组织中 α 相的形状,该研究为优化铝青铜的微观组织提供了有效途径。

References:

[1] Si N C. CuZnAl Shape Memory Alloy Refined with Complex Rare Earth La+Ce [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society,1999,17(3):275-279. (in Chinese)
司乃潮. La+Ce 复合细化 CuZnAl 形状记忆合金 [J]. 中国稀土学报,1999,17(3):275-279.

[2] Degtyareva V F,Chipenko G V,Belash I T,et al. Solid Solutions in Al_2Ge and Al_2Si Alloys under High Pressure [J]. Phys Stat Sol(a),1985,89:127-132.

[3] Zhang G Z,Yu X F,Wang X Y. Non-equilibrium Microstructures of Al-Si Alloy Solidified at Super High Pressure [J]. Acta Metallurgica Sinica,1999,35(3):285-286. (in Chinese)
张国志,于溪风,王向阳. 超高压凝固 Al-Si 合金的非平衡组织 [J]. 金属学报,1999,35(3):285-286.

[4] Straumal B B,Baretzky B,Mazilkin A A. Formation of Nanograined Structure and Decomposition of Supersaturated Solid Solution during High Pressure Torsion of Al-Zn and Al-Mg Alloys [J]. Acta Materialia,2004,52(15):4469-4478.

[5] Wang Z L,Wang H W,Wei Z J. High Pressure Solidification Microstructure and Stability of Al-9.6%Mg Alloy [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals,2007,17(3):384-389. (in Chinese)
王振玲,王宏伟,魏尊杰. Al-9.6%Mg 合金高压凝固组织及稳定性 [J]. 中国有色金属学报,2007,17(3):384-389.

[6] Qu Y D, Li R D, Yuan X G. New Advance of Alloy Solidification Process under High Pressure [J]. Foundry, 2005, 54(6): 539-541. (in Chinese)
曲迎东,李荣德,袁晓光. 高压作用下合金凝固的研究进展 [J]. 铸造,2005,54(6):539-541.

[7] Wang Z T. Cu Alloys and Its Working Handbook [Z]. Changsha: Central South University Press, 2002: 5. (in Chinese)
王祝堂. 铜合金及其加工手册 [Z]. 长沙:中南大学出版社,2002:5.

[8] Zhang G Z, Yu X F, Zhang Y J. Precipitated Structure and Properties of Al-Si Alloy Extended Solution Solidified at High Pressure [J]. Journal of Materials and Metallurgy, 2006, 5(1): 61-63. (in Chinese)
张国志,于溪凤,张雅静. Al-Si 合金超高压凝固过饱和固溶体的时效组织与性能 [J]. 材料与冶金学报,2006,5(1):61-63.

Effect of High Pressure and Heat Treatment on Microstructure of Aluminum Bronze

YANG Jing-Ru[1], LIU Lin[2], REN Yan-Jun[3], LIU Jian-Hua[4], ZHANG Rui-Jun[4]

(1. *Department of Information and Mecharonics Engineering, Hebei Building Material College of Professional Technology, Qinhuangdao* 066004, *China*;
2. *Tangshan Vocational Technology College, Tangshan* 063000, *China*;
3. *Analysis and Measure Center, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao* 066004, *China*;
4. *State Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology, Yanshan University, Qinhuangdao* 066004, *China*)

Abstract: The effects of high pressure and heat treatment on microstructure of aluminum bronze were investigated by means of metallographic, scanning electronic microscope(SEM)/energy disersive spectrometer(EDS) and X-ray diffraction(XRD). Results showed that the grain size of α phase in the aluminum bronze after the treatment at 750 ℃ and 6 GPa high pressure is smaller than that after treatment at 750 ℃ and normal pressure. When the aluminum bronze was treated at 750 ℃ and 6 GPa and followed by a treatment at 750 ℃ for 2 min, thin stripy α phase occurred in the aluminum bronze, and its amount increased but the amount of granular α phase decreased with increase of the cooling rate.

Key words: aluminum bronze; high pressure; heat treatment; microstructure