

不同热处理状态下医用合金的组织与性能分析

黄玉萍^{1,2}, 耿向华²

(1. 华中科技大学 湖北 武汉 430074; 2. 郑州旅游职业学院, 河南 郑州 450009)

摘 要:研究了 β 钛合金在不同热处理状态下的组织、压缩弹性模量和抗压强度。结果表明,熔炼后的 β 钛合金组织成分不均匀、晶粒粗大。通过再结晶退火和固溶时效处理后, β 钛合金组织稳定均匀,抗压强度得到提高,并且其弹性模量值与人体密质骨的弹性模量值接近。

关键词: β 钛合金; 固溶时效; 再结晶退火

中图分类号: TG156

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2014)03-0509-02

Microstructures and Properties of Medical Alloy with Different Heating Treatment States

HUANG Yuping^{1,2}, GENG Xianghua²

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Zhengzhou Tourism College, Zhengzhou 450009, China)

Abstract: The microstructures, modulus of elasticity in compression and compressive strength of β titanium alloy with different heating treatment states were investigated. The results show that the microstructure distribution of the alloy with melted states is not uniform and the grains are coarse. After recrystallization annealing and solid solution and aging treatment, the microstructure of β titanium alloy is stable and uniform. The compressive strength of the alloy is enhanced, and the modulus of elasticity is similar to that of compact bone.

Key words: β titanium alloy; solid solution and aging; recrystallization annealing

β 钛合金(Ti-15Mo-3Nb)具有优秀的生物相容性、耐蚀性,且弹性模量低,在医用骨替换材料领域应用广泛。综合考虑 β 钛合金的热处理及成型中的问题,通常采用锻造成型法+热处理稳定化手段使材料性能稳定^[1]。本文研究了 β 钛合金在不同热处理状态下的压缩弹性模量、抗压强度以及组织的变化。

1 实验方法

在非自耗真空电弧炉中对一定比例的 Nb、Mo 和 Ti 进行多次真空熔炼,得到 β 钛合金铸锭(Ti-15Mo-3Nb)。在真空加热炉中将铸锭升温后锻造成 10 mm×10 mm 的长锭,最后将其置入管式真空晶化炉中进行再结晶退火和固溶处理。再结晶退火工艺是根据 JmatPro 软件的模拟结果(图 1)、Ti-Nb 和 Ti-Mo 二元相图、金属学原理确定的。根据图 1 的计算机模拟曲线能够确定: β 钛合金的固、液相转变开始温度为 1 680 °C,完全熔化温度为 1 742 °C。因此,将再结晶退火温度设定为 810 °C,由试样厚度确定退火保温时间为 40 min,退火后空冷至室温。固溶时效处理工艺为:固溶 800 °C×10 min,时效

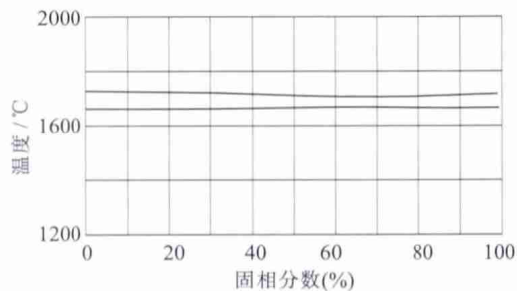


图 1 Ti-15Mo-3Nb 合金固相分数与温度关系的计算机模拟曲线

Fig.1 The simulation curve of solid phase fraction of Ti-15Mo-3Nb alloy versus temperature

500 °C×10 h,随后将试样空冷。

利用扫描电子显微镜观察 β 钛合金的微观组织;利用 EDAX 能谱仪分析试样成分;用微机控制电液伺服万能试验机测试 β 钛合金在不同状态下的压缩弹性模量和抗压强度。

2 实验结果及分析

图 2 为 Ti-15Mo-3Nb 合金在不同状态下的 SEM 照片及表面能谱。可以看出,Ti-15Mo-3Nb 合金铸锭表面宏观组织为粗大柱状晶,铸锭内部为粒径在 50~100 μ m 的等轴晶粒,且晶界上有析出物出现。通过能谱分析可知,晶界析出物为 Mo 元素,且 Ti 晶格中还存在少量未完全固溶的 Mo。通过比较

收稿日期:2013-09-15

作者简介:黄玉萍(1980-),女,河南郑州人,硕士研究生,讲师。电话:13938522103,E-mail:wangluoru123@163.com

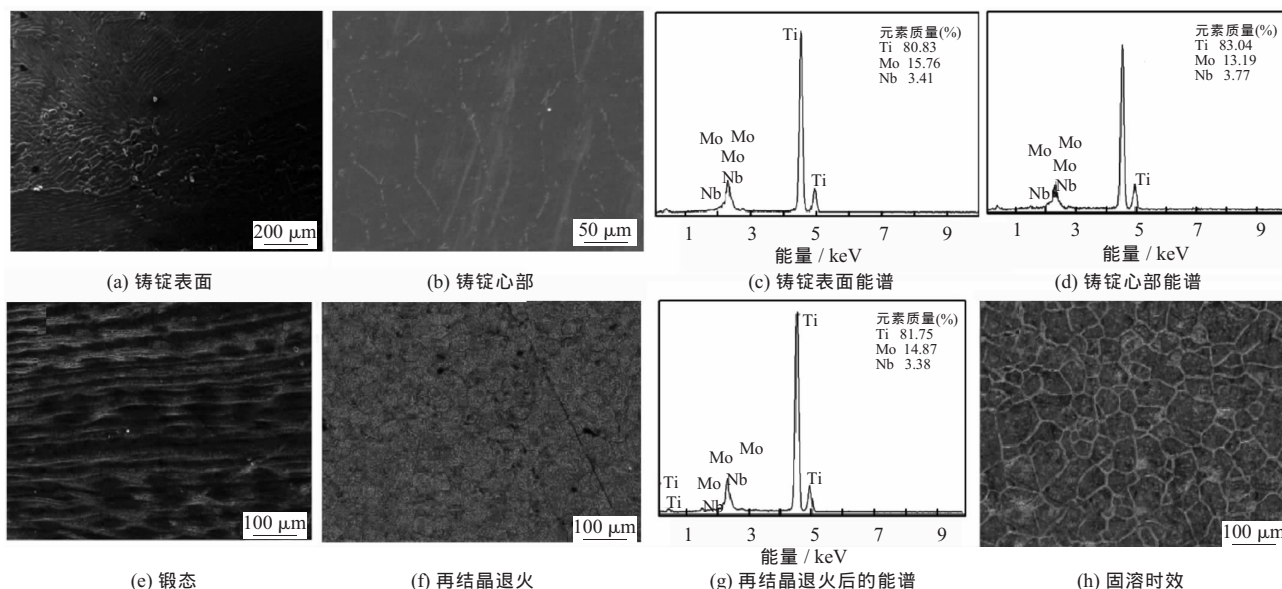


图2 Ti-15Mo-3Nb合金在不同状态下的SEM照片及表面能谱

Fig.2 The SEM pictures and energy spectrum of the alloy Ti-15Mo-3Nb with different states

可知,铸锭心部的Mo元素含量低于表面含量。这说明 β 钛合金经过反复熔炼后,铸锭表面和心部组织存在成分不均匀问题。从图2(e)中可以看出,Ti-15Mo-3Nb合金热锻后晶粒呈波浪形且被拉长,但未出现裂纹等锻造缺陷,说明经过反复热锻后该材料发生了塑性变形。铸锭经过再结晶退火后,晶粒尺寸减小呈等轴状分布,未发现明显析出物。说明Ti-15Mo-3Nb合金经过再结晶退火处理后发生了再结晶,使得组织分布均匀。从图2(g)的能谱分析可知,试样组织基本均匀化。试样经固溶时效处理后,其组织呈现细化的等轴晶。从整体上看,固溶时效后的晶粒尺寸和再晶界退火后的相当^[2]。

图3为Ti-15Mo-3Nb合金再结晶退火后的断口形貌。可以看出,断口特征为密布的撕裂韧窝,且撕裂棱角尖锐、数量较多,说明试样经过再结晶退火后强韧性较高^[3]。

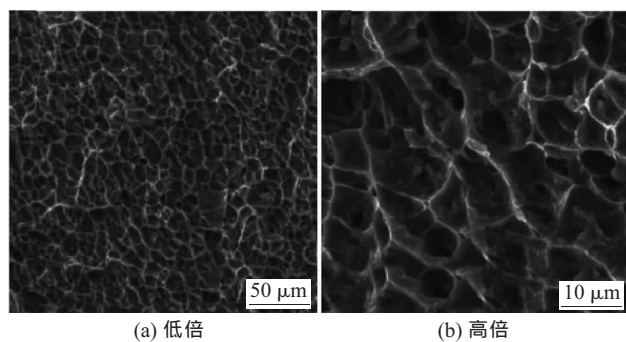


图3 Ti-15Mo-3Nb合金再结晶退火后的断口形貌

Fig.3 The fracture morphologies of the alloy Ti-15Mo-3Nb after recrystallization annealing treatment

文献[4]指出, β 钛合金的生物力学适应性和承重能力受其压缩弹性模量、抗压强度的影响较大。因

此,对不同状态下的 β 钛合金进行了压缩弹性模量和抗压强度的测试,结果如表1所示。可以看出,测试结果和文献[5]中的人体密质骨性能相比,再结晶退火后的 β 钛合金综合性能更优秀。尤其是 β 钛合金的压缩弹性模量和密质骨的压缩弹性模量(17~18.6 GPa)非常接近,能够满足生物力学适应性。

表1 β 钛合金在不同状态下的性能Tab.1 The property of β titanium alloy with different states

性能	铸态	锻态	退火	再结晶退火
压缩弹性模量/GPa	12.9	23.1	19.8	22.6
抗压强度/MPa	892	1 293	1 231	1 498

3 结论

熔炼后的 β 钛合金组织成分不均匀、晶粒粗大。通过再结晶退火和固溶时效处理后, β 钛合金组织稳定均匀,材料的抗压强度得到提高,并且其弹性模量值与人体密质骨的弹性模量值接近。

参考文献:

- [1] 杨海欧,林鑫,陈静,等. 激光成形制备生物医用钛合金材料研究进展[J]. 铸造技术, 2011, 32(10): 1431-1434.
- [2] 夏兴川,李日,刘宏伟,等. 钛合金髋关节铸造工艺CAD及模拟验证[J]. 铸造技术, 2007, 28(10): 1375-1378.
- [3] 张菊梅,王志虎,蒋百灵. 基于表面生物学改性的钛合金微弧氧化陶瓷层研究[J]. 铸造技术, 2007, 28(8): 1063-1066.
- [4] 赵杰. 低弹性模量 Ti-27Nb-8Zr 医用钛合金组织与力学性能(英文)[J]. 稀有金属材料与工程, 2010(10): 5-6.
- [5] 马秀梅. 生物医用 β 型 Ti-Nb-Ta-Zr 系合金的研究进展[J]. 材料导报, 2008(S2): 29-33.