

热处理温度对 Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo 合金板材 显微组织和性能的影响

文志刚, 王伟琪, 王小翔, 李晓燕

(宝钛集团有限公司, 宝鸡 721014)

摘要: 研究了厚度为 10 mm 的 Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo 合金(Ti-6321)板材经 800、840、880、920 及 1 040 °C 热处理后力学性能、显微组织及冲击性能的变化。研究表明, 为保证 Ti-6321 合金具有较高的综合性能, Ti-6321 合金板材应选择的最佳退火制度为(880~920 °C, 1 h, AC)。

关键词: Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo; 冲击性能; 热处理

中图分类号: TG 146.2

文献标志码: A

Effects of heat treatment temperature on microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo alloy plate

WEN Zhi-gang, WANG Wei-qi, WANG Xiao-xiang, LI Xiao-yan

(Baoti Group Co., Ltd., Baoji 721014, China)

Abstract: The mechanical properties, microstructure and impact property of Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo alloy plate with thickness of 10 mm after annealing at 800, 840, 880, 920 and 1 040 °C were studied. The results show that the best annealing schedule is (880~920 °C, 1 h, AC), in order to ensure the high comprehensive performance of Ti-6321 alloy.

Key words: Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo; impact properties; heat treatment

Ti-6Al-3Nb-2Zr-1Mo(简称 Ti-6321)合金是一种铝含量较高(5.5%~6.5%), 并含有少量 β 稳定元素 Nb、Mo 和中性元素 Zr 的近 α 型钛合金。作为一种中强钛合金, Ti-6321 合金具有高比强度、抗耐蚀及良好的焊接性, 是一种新型船用结构钛合金, 在船舶、石油、化工、机械等领域具有广阔的应用前景^[1]。

本文作者通过对 Ti-6321 合金板材进行不同温度的退火热处理试验, 初步探讨退火热处理工艺对 Ti-6321 合金板材显微组织和冲击性能的影响。

1 实验

实验用 Ti-6321 合金采用 3 次真空自耗电弧炉熔炼而成, 铸锭经 β 相区开坯锻造后在两相区锻造成板坯, 最终在两相区轧制成厚度为 10 mm 的板材。采用金相法测定 Ti-6321 合金的相变点为 1 010~1 020 °C。

从板材上截取 40 mm×200 mm 的试样, 在 INSTRON 力学试验机上测试力学性能及冲击性能, 同时截取 15 mm×25 mm 的试样在 AX10VER 200 MAT 型金相显微镜上进行显微组织观察。

通常, 钛合金材料退火温度均在相变点以下进行, 参考 TC4 合金板材热处理温度, 实验时热处理温度选择 800、840、880、920 和 1 040 °C, 热处理时间选择 1 h, 冷却方式为空冷。然后, 对不同温度热处理的板材取样进行力学性能、冲击性能和显微组织检测; 最终选择出最佳的热处理工艺。

2 结果与讨论

2.1 力学性能

从表 1 可以看出, 随着退火温度的升高, 强度略有下降, 但仍符合退火温度升高、强度下降的规律。

表 1 退火后 Ti-6321 合金的力学性能

Table 1 Mechanical properties of Ti-6321 alloy after annealing

Annealing process	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%
800 , 1 h, AC	990	925	13
840 , 1 h, AC	990	920	14
880 , 1 h, AC	980	905	15
920 , 1 h, AC	975	880	14

2.2 冲击性能

试样在冲击试验过程中通常要经历弹性变形、塑性变形和断裂 3 个阶段。冲击实验中得到的冲击功包括试样在冲击断裂过程中吸收的弹性变形功、塑性变形功和裂纹形成及扩展功等,属于一种混合的性能指标,冲击性能高低是对材料的塑性和韧性的匹配的综合反映。图 1 所示为合金经退火热处理后获得的冲击性能。从图 1 可以看出:随着退火温度的升高,冲击性能提高。

2.3 显微组织

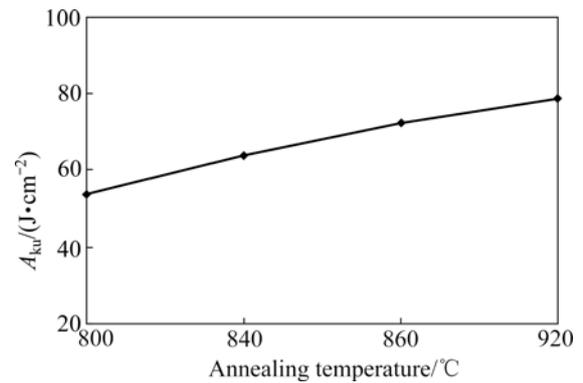


图 1 不同退火温度下 Ti-6321 合金的冲击性能

Fig.1 Impact properties of Ti-6321 alloy with different annealing temperature

对于近 α 型钛合金来说,显微组织的类型在很大程度上影响其冲击韧性。通常是通过调整热加工温度和热处理参数获得不同的显微组织,在 5 种不同温度热处理后对应的组织如图 2 所示。

从图 2 可以看出:试样在 β 转变温度下进行退火

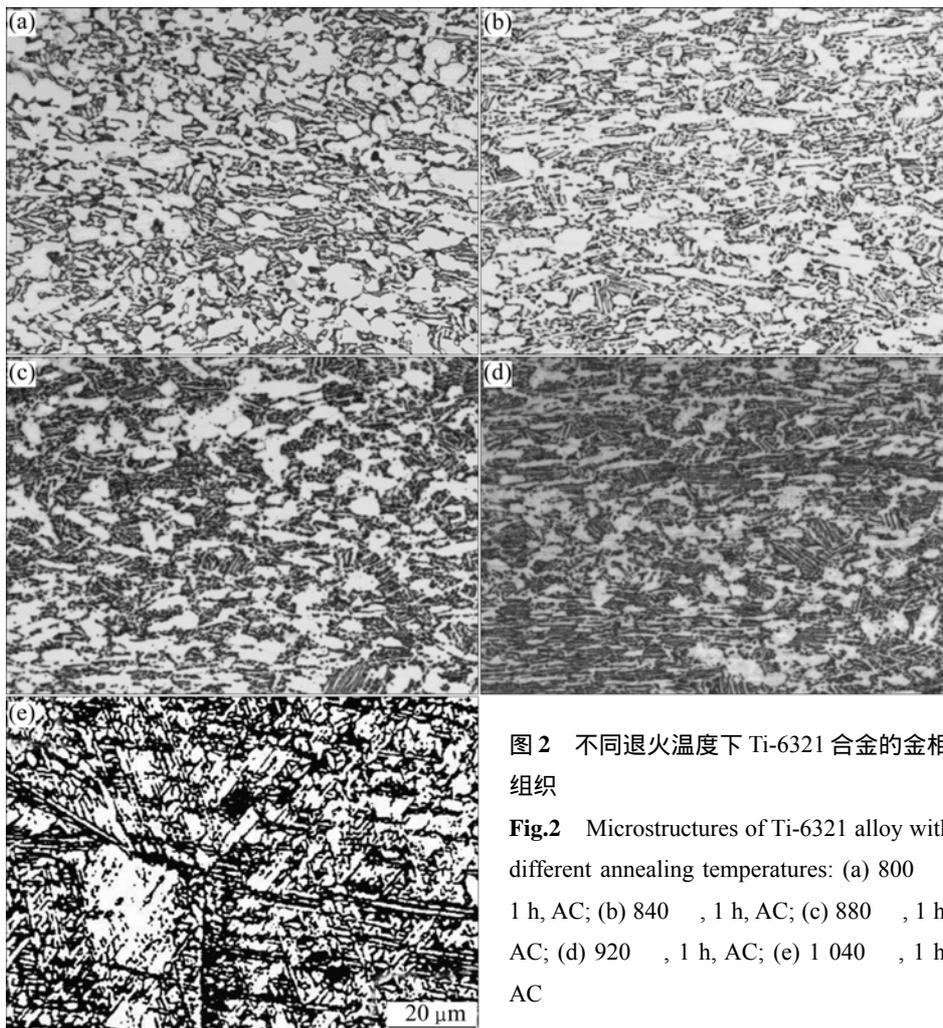


图 2 不同退火温度下 Ti-6321 合金的金相组织

Fig.2 Microstructures of Ti-6321 alloy with different annealing temperatures: (a) 800 , 1 h, AC; (b) 840 , 1 h, AC; (c) 880 , 1 h, AC; (d) 920 , 1 h, AC; (e) 1040 , 1 h, AC

热处理后,显微组织由球状 α 和呈现扭曲的条状 α 组成,随着温度的升高, α 相逐渐减少。在800℃退火,显微组织大多数为等轴的 α 相晶粒之间有少量扭曲长条 α 相, α 相含量在90%以上;840℃热处理组织与800℃的相当;当热处理温度为880℃时,显微组织中原来扭曲变形的 α 相演变为次生 α 相, α 相比比例明显减少;当热处理温度达到920℃时,部分等轴的初生 α 相边界也转变为次生 α 相,而且次生 α 相内部明显出现细小片层;当热处理温度为1040℃时,板材组织已经显示出粗大的原始 β 晶界和 β 晶粒内部的针状 α ,是典型的魏氏体组织,此时对应较高的强度和较低的拉伸塑性。

显微组织的变化也说明了力学性能的改变,结合表1中的力学性能数据,随着热处理温度的升高,Ti-6321抗拉强度和屈服强度缓慢下降,伸长率变化较小。这是因为随着温度的升高, α 相比比例减少,所以强度下降,但 α 相比比例减少量不大,因此强度指标下降幅度不大。

随着加热温度的升高,Ti-6321合金的冲击性能得以提高。从显微组织上看,随着热处理温度的升高,板材内在的轧制力逐渐消除,再结晶的晶粒逐渐增多,晶粒也逐渐长大。穿晶断裂所需能量要大于沿着晶界

断裂所需要的能量,因此冲击性能也逐渐增加^[2]。

3 结论

1) 在相变点以下温度退火后,合金显微组织由球状 α 和呈现扭曲的条状 α 组成,随着退火温度的升高,Ti-6321合金强度下降,冲击性能升高。

2) 为保证Ti-6321合金具有较高的综合性能,Ti-6321合金板材应选择的最佳退火热处理制度为(880~920℃,1h,AC)。

REFERENCES

- [1] 徐希军,何刚,卢海. Ti80合金厚壁焊管冷压成形工艺[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(S3): 247-249.
XU Xi-jun, HE Gang, LU Hai. Cold pressing formation process for Ti80 alloy thick wall welded pipe [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2008, 37(S3): 247-249.
- [2] 曹福辛. STi80合金的热成形[J]. 金属学报, 1999, 35(S1): 606-608.
CAO Fu-xing. Hot forming process of STi80 alloy [J]. Acta Metallurgica Sinica, 1999, 35(S1): 606-608.

(编辑 杨兵)