

退火温度对旋压钛筒微观组织及力学性能的影响

李梦媛, 王超, 张乐, 陈元园, 李耀辉

西安泰金新能科技股份有限公司 陕西西安 710201

摘要: 将冷旋压成形的钛筒分别在510℃、520℃、530℃及540℃下保温相同的时间,探究旋压钛筒组织和性能的变化规律。结果表明:筒形件旋压后晶粒均具有明显的方向性,沿着旋压轴向被拉长。经过退火处理后钛筒的晶粒度等级与导电率为正相关关系,随退火温度的升高呈现先升高后降低的趋势,在520℃时晶粒度等级达到最高12级,导电率达到3.44%IACS。对不同温度退火后的钛筒样品进行硬度与抗拉强度检测发现,随着退火温度的升高而降低,硬度从旋压态191HV降低至540℃时的134HV,抗拉强度从旋压态434MPa逐步降低到296MPa,但伸长率从24.3%升高至44.3%。

关键词: 工业纯钛;旋压成形;退火;力学性能

Effects of annealing temperature on microstructure and mechanical properties of spinning titanium cylinder

LI Mengyuan, WANG Chao, ZHANG Le, CHEN Yuanyuan, LI Yaohui

Xi'an Taijin New Energy and Materials Sci-Tech Co., Ltd., Xi'an 710201, Shaanxi, China

Abstract: In this paper, the changes of the structure and properties of the spinning titanium cylinder were studied by keeping the titanium cylinders at 510℃, 520℃, 530℃ and 540℃ for the same time. The results show that the grain size grade and conductivity of the titanium cylinder increased first and then decreased with the increase of the temperature. At 520℃, the grain size grade reached the highest grade 12 and the conductivity reached 3.44% IACS. The hardness and tensile strength of titanium cylinder decreased with the increase of annealing temperature, the hardness decreased from 191HV in spinning state to 134HV at 540℃, and the tensile strength gradually decreased from 434MPa in spinning state to 296MPa, the elongation increased from 24.3% to 44.3%.

Keywords: commercial pure titanium; spinning forming; anneal; mechanical property

1 序言

钛及钛合金由于其具有比强度、比刚度高,抗腐蚀性能、接合性能、高温力学性能、抗疲劳性能和蠕变性能好等优良的综合性能,具有广泛的应

用前景,已被广泛应用于国防军工、航空航天、海洋工程及新能源等各个领域^[1, 2]。目前,强力旋压是最常用的制造高质量无缝筒体的工艺,旋压过程中坯料厚度变薄、高度增加,是比较成熟的旋压技

第一作者:李梦媛,硕士,助理工程师,主要研究方向为钛及合金加工成形, E-mail: 1015704955@qq.com。

术,具有成形精度高、表面晶粒度均匀、材料利用率及生产效率高优点^[3-5]。在强力旋压过程中,材料会产生较大的塑性变形,其显微组织发生明显变化,从而影响其物理性能,最终会影响产品的使用性能^[6-9]。本文主要分析不同退火工艺对旋压成形的工业纯钛筒形件微观组织及力学性能的影响,从而得到合适的退火工艺,以提高钛筒的晶粒度及其性能,使其满足实际应用的需求。

2 试验方法

本文所研究TA1工业纯钛筒形件为冷旋压成形,旋压减薄率为10%,进给比为7,该筒形件直径为2700mm、高度为1900mm、平均厚度为25mm,本文选取筒形件中部位置进行退火试验及表征检测,取样位置如图1所示。

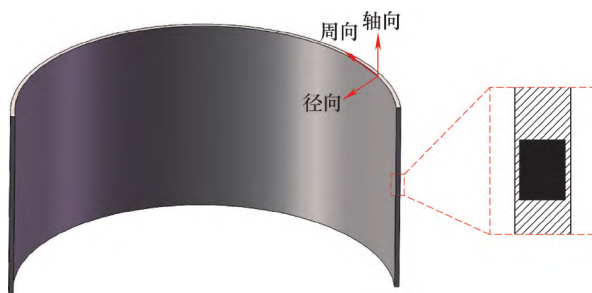


图1 取样位置

金相试样采用数控线切割机切割得到20mm×10mm×10mm的样品,然后依次使用800#、1500#、2000#金相砂纸进行研磨至表面无明显划痕,使用无水酒精清洗后再用腐蚀剂进行化学腐蚀,腐蚀剂成分为1mL氢氟酸+3mL硝酸+100mL蒸馏水,腐蚀时间约为20s。晶粒度等级评定按照GB/T 6394—2017《金属平均晶粒度测定方法》进行。采用维氏硬度计对样品进行显微硬度检测,试验载荷5N,加载时间15s。拉伸性能在TFW-100G拉伸试验机上进行检测,样品切割成板状,拉伸试样如图2所示。导电性能采用Sigma2008B便携式数字涡流电导率仪检测,检测前使用1500#砂纸对样品进行研磨,使样品表面保持光滑、干燥。

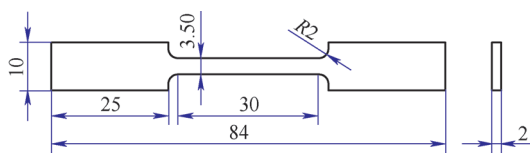
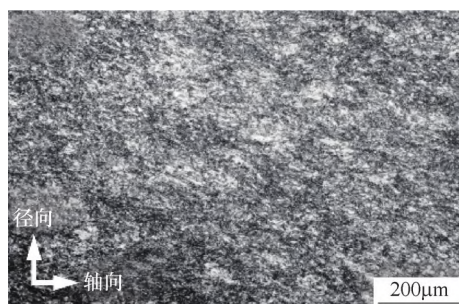


图2 拉伸试样尺寸

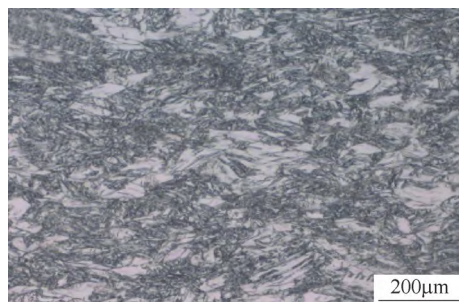
3 结果与讨论

3.1 退火温度对钛筒晶粒度的影响

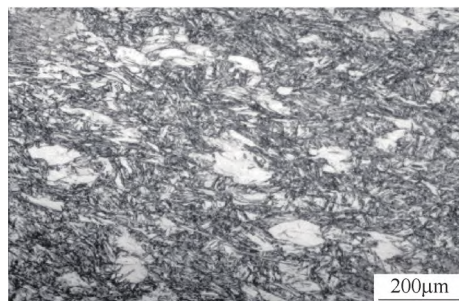
筒形件旋压后轴向不同位置的金相组织如图3所示。从图3可看出,上部晶粒尺寸较为均匀,这可能是由于上部变形量最大,晶粒由于机械作用破碎,从而使得此处晶粒比另外两个位置细小。中部和下部位置晶粒差异不大,主要由粗大变形晶粒组成,但可明显看出,这些晶粒都具有明显的方向性,均沿着筒形件的轴向被拉长,这是由于强力旋压过程近似为平面压缩变形,在旋压过程中金属沿周向流动受到较强的限制,所以主要沿着轴向变形^[10]。



a) 上部



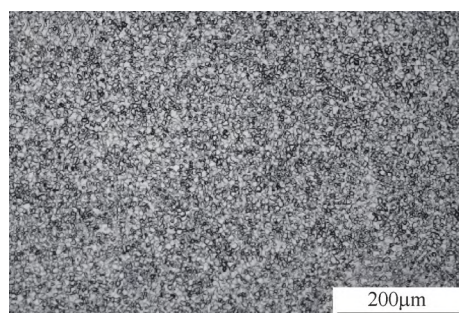
b) 中部



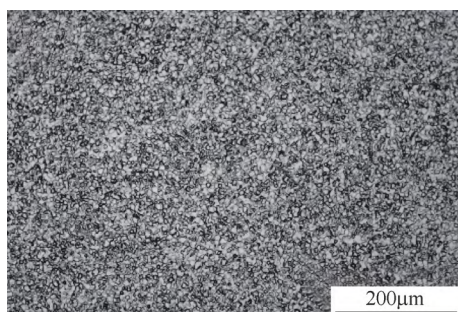
c) 下部

图3 钛筒不同位置金相组织

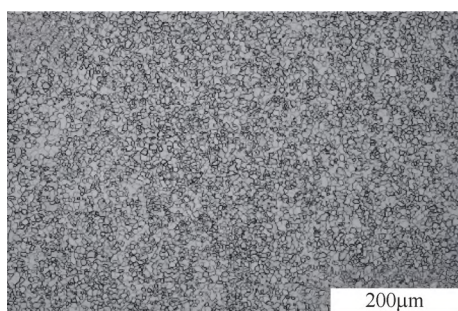
将中部的旋压态样品放入箱式电阻炉中,分别在510℃、520℃、530℃和540℃下保温40min,其金相组织如图4所示。



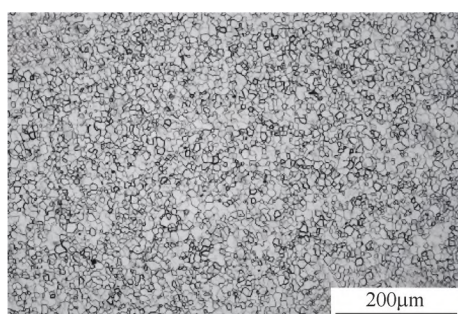
a) 510℃



b) 520℃



c) 530℃



d) 540℃

图4 不同退火温度下钛筒金相组织

从图4可看出,经过不同温度退火后,所有晶粒都发生了再结晶,从变形晶粒再结晶成为细小等轴晶,随着保温温度的增加,再结晶晶粒尺寸进一步增大,晶粒尺寸呈现先变小后变大的趋势,根据GB/T 6394—2017对样品晶粒度进行评级,统计结果如图5所示。

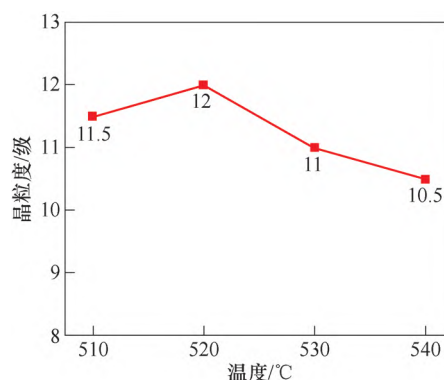


图5 不同退火温度样品的晶粒度等级

从图5可看出,随着温度的升高,晶粒度呈先升高后降低的趋势,在520℃时晶粒度达到最高12级,当温度<520℃时,晶粒没有完全再结晶,材料内部还存在一定数量的变形晶粒,而当温度>520℃时,所有晶粒均发生再结晶成为等轴晶,而一部分等轴晶的大角度晶界开始移动并吞噬其他晶粒,发生晶粒长大现象,因此随着温度的升高,晶粒度等级降低。

3.2 退火温度对钛筒性能的影响

不同的退火温度分别对钛筒的晶粒度和性能产生了影响。在不同的温度下保温相同的时间后,钛筒的硬度、导电率如图6所示。

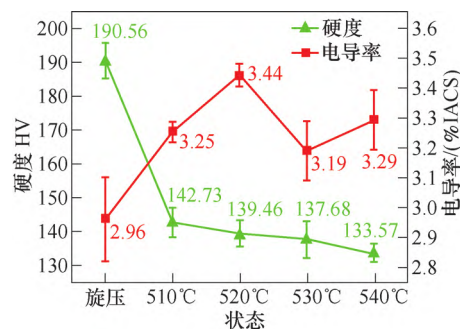


图6 不同退火温度下钛筒硬度及导电率

从图6可看出,经过不同温度的退火后,材料的导电率与晶粒度的变化趋势相同,都呈现先升高后降低的趋势,且都在520℃时达到最高,导电率在520℃时达到最高的3.44%IACS。这说明旋压钛筒中导电率与晶粒度等级成正相关关系,即晶粒度的等级越高,导电率越高,钛筒的导电性就越好。而钛筒的硬度变化趋势与晶粒度变化趋势不同,旋压态样品的硬度最高,为191HV,退火温度为510℃时硬度下降到了143HV,并且随着退火温度的升高,硬

度进一步降低,在540℃时硬度为134HV。对不同温度的退火样品进行拉伸性能检测,结果如图7所示。从图7可看出,随着退火温度的升高,钛筒的抗拉强度逐步降低,而伸长率呈现相反的趋势,抗拉强度从旋压态434MPa逐步降低到296MPa,而伸长率从24.3%升高至44.3%。这是由于材料在旋压变形时内部会产生大量的点缺陷及位错,使材料的抗拉强度较高而伸长率较低,退火会引起钛筒内部晶体位错等缺陷密度降低,从而抵消了部分加工的强化效果,因此抗拉强度会降低。随着退火温度的升高,缺陷逐步消失,材料的力学性能下降速度变得缓慢。

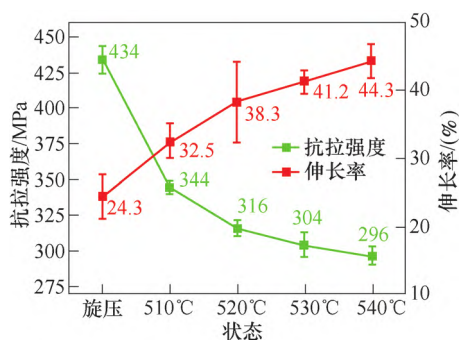


图7 不同温度退火样品拉伸性能

4 结束语

本文主要研究了TA1工业纯钛筒形件在不同的温度下保温相同时间后,组织及性能的变化规律,得出如下结论。

1) 分别在510℃、520℃、530℃和540℃下保温相同的时间,钛筒的晶粒度等级呈先升高后降低的趋势,在520℃时晶粒度等级达到最高12级。

2) 随着退火温度的升高,钛筒的导电率与晶粒度等级变化趋势一致,均呈先升高后降低的趋势,在520℃时导电率达到最高3.44%IACS。这说明旋压钛筒中导电率与晶粒度等级成正相关关系,即晶粒度的等级越高,钛筒的导电性越好。

3) 钛筒的硬度变化趋势与晶粒度变化趋势不同,旋压态样品的硬度最高,为191HV,随着退火温度的升高,硬度降低至540℃时的134HV。钛筒的抗拉强度随着温度的升高而降低,从旋压态434MPa逐步降低到296MPa,而伸长率从24.3%升高至44.3%。

4) 本研究为钛筒的生产提供数据支持,根据本

研究结论对钛筒的生产工艺进行改进,能够稳定提高钛筒的晶粒度等级,若需要进一步提高钛筒的晶粒度等级则需要配合旋压工艺的改进。可根据钛筒的实际使用要求选择不同的退火温度对其组织性能进行调控,从而得到更加优异的TA1工业纯钛筒形件。

参考文献:

- [1] 雷霆. 钛及钛合金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2018.
- [2] 安仲生, 陈岩, 赵巍. 2022年中国钛工业发展报告[J]. 钢铁钒钛, 2023, 44 (3): 1-8.
- [3] 孙松, 陈庆, 杨纯梅, 等. 旋压技术特点及其发展[J]. 铝加工, 2021 (1): 8-11.
- [4] 徐恒秋, 樊桂森, 张锐, 等. 旋压设备及工艺技术的应用与发展[J]. 新技术新工艺, 2007 (2): 6-8.
- [5] 杨羽, 贾艳艳, 毛亚杰, 等. 旋压工艺发展现状及展望[J]. 轻工科技, 2022, 38 (2): 72-74.
- [6] MOLLADAVOUDI H R, DJAVANROODI F. Experimental study of thickness reduction effects on mechanical properties and spinning accuracy of aluminum 7075-O, during flow forming[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52 (9-12): 949-957.
- [7] WANG X X, LONG H, ZHAN M. Mechanism of grain refinement of aluminium alloy in shear spinning under different deviation ratios[J]. Materials & Design, 2016, 108: 207-216.
- [8] 陈勇. TA15钛合金热强力旋压组织演化规律及强化机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [9] CAO Z, WANG F H, WAN Q, et al. Microstructure and mechanical properties of AZ80 magnesium alloy tube fabricated by hot flow forming[J]. Materials & Design, 2015, 67: 64-71.
- [10] SHAN D B, YANG G P, XU W C. Deformation history and the resultant microstructure and texture in backward tube spinning of Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209 (17): 5713-5719.

(收稿日期: 20241223)