

冷轧诱发纯钛板材的表面纳米化

文 王绍东 刘刚 张瑞君 马野 李超 刘勇凯

东北大学 研究院 沈阳 110819

摘要:对工业纯钛板材进行多道次、大压下量和变方向的轧制,观察显微组织和测试性能。结果表明,工业纯钛板材表面形成等轴状、具有中等到大角度的取向差的纳米晶组织。经过 83%压下量轧制的板材表面形成厚度约 20 μm 的强化层。表面纳米化使纯钛板材抗拉强度提高至 860 MPa,延伸率下降至 9.5%。

关键词:工业纯钛;冷轧;表面纳米化;显微组织;性能

中图分类号: TG146.23; TG339

文献标志码: A

文章编号: 2095-1744(2013)06-0030-03

表面纳米化是一种基于细晶强化的表面强化技术,该技术能够在金属表面频繁施加载荷,使表面通过多方向、往复强烈塑性变形而实现纳米化^[1],从而大幅度地提高金属材料整体的综合性能和服役行为^[2]。迄今已有多种表面纳米化处理办法,如表面机械研磨处理、超声喷丸、超音速微粒轰击和超声表面冲击等^[1,3-5],这些方法为纳米化研究制备了大量的实验样品,从而促进了基础研究的开展^[2],但因这些方法主要针对块体材料而设计,难以为表面纳米化的大规模应用提供灵活的选择。

钛(合金)板在军工和民用工业上用量大、用途广,若能在冷轧生产线上实现钛板的表面纳米化,有助于解决其表面疲劳和磨损性能差等问题。目前已有将表面纳米化处理法与冷轧结合制备一定尺寸的表面纳米化薄板的报道^[6],但因该组合工艺受表面纳米化处理时间长、处理面尺寸小等因素的制约,难以应用。既然板材由冷轧而成,那么只有按照表面纳米化基本原理设计现有的轧制工艺,才有可能开发出板材表面纳米化的实用技术。基于这种设想,开展冷轧诱发纯钛板材的表面纳米化研究,并对显微组织和性能的变化进行测试分析。

1 实验方法

实验材料为 2.4 mm 厚度的工业纯钛板材。在室温下进行同步轧制,参数为轧制道次 20 次,总压下量 83%,板材最终厚度 0.4 mm,相邻道次之间板材相对轧辊的方向需做首尾对调。

用 AxioCam ERc5s 型金相显微镜观测横截面组织,选取压下量为 83%的冷轧板材进行测试。用 JEOL-JEM2100F 场发射电子显微镜 (TEM) 对表面进行组织观测。用 MVK-H3 显微维氏硬度计测量硬度沿深度的分布,施加载荷为 25 g,加载时间为 15 s,每次测试 5 点,取平均值。用 CMT5105 微机控制电子万能试验机进行拉伸实验,拉伸速度为 1 mm/min,拉伸试样尺寸依照国家标准 GB/T 228-2002,由电火花切割而成。拉伸断口形貌用 JEOL-JSM 6360LV 型扫描电子显微镜(SEM)观察。

2 试验结果与讨论

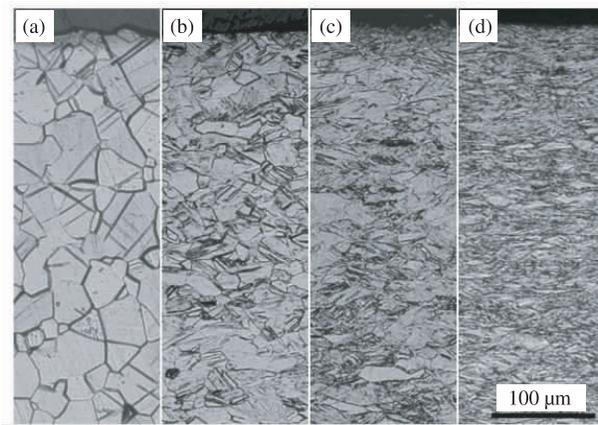
2.1 组织观测

图 1 为原始及经过不同压下量轧制的板材的横截面金相组织。图 1(a)为原始板材,由等轴晶组成,晶粒尺寸为 20~60 μm 。图 1(b)为经过 21%压下量轧制后的样品,晶粒沿轧向拉长,组织明显细化,其中表面附近的晶粒比心部略小。如图 1(c)和图 1(d)所示,随着压下量增加,晶粒继续沿着轧制方向拉长,尺寸继续减小,表面附近晶粒尺寸与心部之间差异更加明显,最终形成流线形组织。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50571095)

收稿日期:2012-12-14

作者简介:王绍东(1987-),男,山东临清市人,硕士研究生,主要从事形变诱发表面纳米化等方面的研究。



(a)原始样品;(b)压下量 21%;(c)压下量 42%;(d)压下量 63%

图1 轧制板材的横截面组织

图2为经过83%压下量轧制板材表面的TEM像和对应的选区电子衍射(SAED)。可以看出,经过轧制后,表层晶粒发生了明显的细化,显微组织主要是等轴状纳米

晶,对应的SAED谱由呈环状分布的衍射斑组成,说明显微组织具有中等到大角度的取向差。

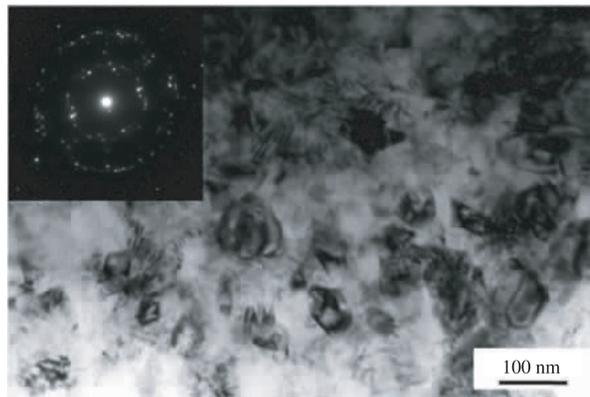


图2 经过83%压下量轧制板材表面的TEM像和对应的SAED

2.2 性能测试

图3给出经过83%压下量轧制板材硬度沿深度的变化曲线。轧制初期表面硬度与心部差别不大,随着压下量的增加,表面硬度开始高于心部,至83%压下量时,表面硬度明显高于心部,并随着深度的增加而逐渐下降至与基体相同,从而在表面附近形成了一个硬度梯度层,其厚度约为20 μm。

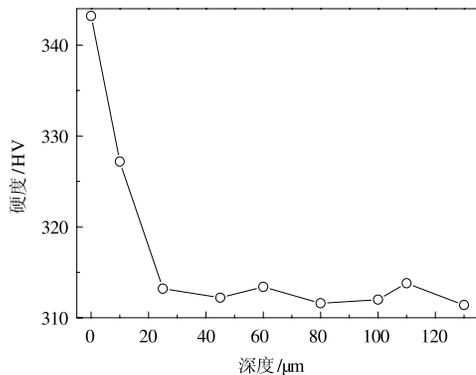


图3 经过83%压下量轧制板材硬度沿深度的变化

图4给出经过83%压下量轧制板材的工程应力-应变曲线。在拉力的持续作用下,样品首先发生弹性变形,在随后的塑性变形过程中,强度逐渐升高至最大值,之后缓慢降低,直至断裂。抗拉强度约为860 MPa,而延伸率约为9.5%。

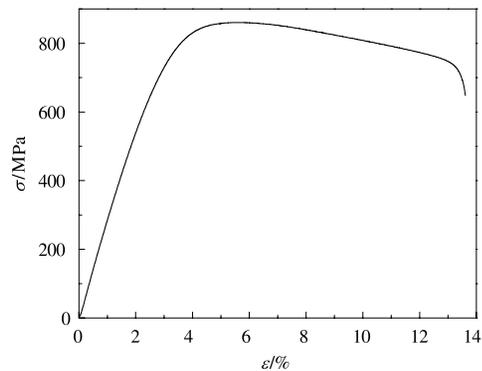


图4 经过83%压下量轧制板材工程应力-应变曲线

图5为拉伸样品断口的SEM像。可以看出,心部表现为韧性断裂,形成典型单轴拉伸具有的等轴切窝,尺寸约在2~5 μm。表面附近表现为解理断裂,并随着深度的增加而逐渐过渡为韧性断裂,整个过渡层的厚度约为40 μm。

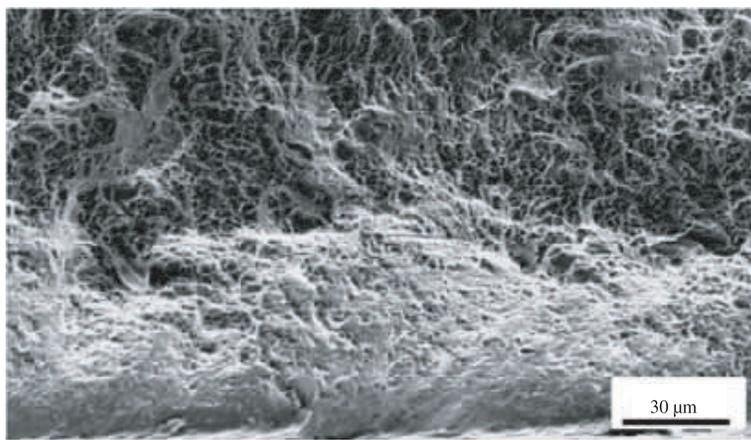


图 5 拉伸样品断口的 SEM 像

2.3 讨论

以往的轧制研究报道中,金属板材的晶粒尺寸只能细化至微米级,而试验中在板材表面获得了纳米晶组织,产生这种差异的原因在于根据表面纳米化加载要求(局部性、往复性和多方向性^[4])对轧制工艺进行设计。轧制过程中作用于板材表面的外力包括垂直于表面的轧制力和平行于表面(由轧辊与板面之间产生)的摩擦力,其中轧制力主要使板材发生整体塑性变形,无法提供位错密度剧增所需的局部变形,而摩擦力却主要作用于板材的表面附近,具有局部性的特点。为了充分利用摩擦力,用增加道次(20次)来增加其作用的往复性,并在相邻道次之间变换轧制方向以满足其多方向性的要求。

经过轧制后,板材硬度均增加,其中表面附近增加的幅度更明显,其值随着深度增加而逐渐下降并趋于恒定,从而在表面形成了一个强化层,其厚度约为 20 μm。与经过表面机械研磨处理获得的表面纳米化纯钛板材相比^[7],板材的抗拉强度大幅度提高(前者约 650 MPa),而延伸率则明显下降(前者约 19%)。

根据表面纳米化原理设计轧制工艺,可以使金属板材在轧制过程中实现表面纳米化,从而大幅度地提高板材表面和整体的综合性能,而如何简化工艺并获得最佳的表面纳米化效果还有待于系统的探索。

3 结论

工业纯钛板材经过多道次、大压下量和变方向的轧制

后可以在表面获得等轴状、具有中等到大角度的取向差的纳米晶组织。经过 83%压下量的轧制后,板材表面形成厚度约为 20 μm 的强化层。轧制诱发的表面纳米化使纯钛板材的抗拉强度提高至 860 MPa,延伸率下降至 9.5%。

参考文献

- [1] LU Ke, LU Jian. Nanostructured surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment [J]. *Materials Science Engineering*, 2004, A375-377: 38-45.
- [2] 刘刚,莫成刚,武保林,等. 钢铁材料的表面纳米化 [J]. *钢铁研究学报*, 2011, 23(8): 1-10.
- [3] LIU Gang, LU Jian, LU Ke. Surface nanocrystallization of 316L stainless steel induced by ultrasonic shot peening [J]. *Materials Science Engineering*, 2000, A286: 91-95.
- [4] 熊天英,刘志文,李智超,等. 超音速微粒轰击金属表面纳米化新技术[J]. *材料导报*, 2003, 17(3): 69-71.
- [5] WANG Ting, WANG Dong-po, LIU Gang, et al. Investigations on the nanocrystallization of 40Cr using ultrasonic surface rolling processing [J]. *Applied Surface Science*, 2008, 255: 1824-1829.
- [6] 吕爱强,张洋,李瑛,等. 异步轧制对表面纳米化 316L 不锈钢组织和性能的影响[J]. *金属学报*, 2005, 41(3): 271-276.
- [7] WEN Ming, LIU Gang, GU Jian-feng, et al. The tensile properties of titanium processed by surface mechanical attrition treatment [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2008, 202 (19): 4728-4733.