

TA2 轧制板材的组织与拉伸性能研究

Microstructure and Tensile Properties of TA2 Rolled Sheet

供稿|赵小龙¹, 张明玉², 于成泉³, 岳旭¹, 同晓乐¹, 杨峥¹ / ZHAO Xiaolong¹, ZHANG Mingyu², YU Chengquan³, YUE Xu¹, TONG Xiaole¹, YANG Zheng¹

内容导读

对电子束 (EB) 炉熔炼扁锭轧制 TA2 板材进行退火处理、拉伸性能测试以及断口微观形貌观察, 研究板材经不同退火温度处理后的组织和拉伸性能关系。结果表明: 板材经不同温度退火处理后, 金相组织有一定变化, 随着退火温度的不断升高, 组织中的晶粒逐渐开始等轴化, 并且不断长大。板材的强度与塑性呈现相反趋势, 其中强度随着退火温度的升高而先降低再升高, 塑性随着退火温度的升高而先升高再降低。经不同退火温度处理后的板材拉伸断口微观形貌大体一致, 均为大量等轴韧窝。

钛及钛合金具有高比强度、无磁性、生物兼容性好等较多优异特点, 使得其在军工、医疗、航天等众多领域具有十分广泛的应用^[1-2]。而纯钛因为其造价较低、生产工艺成熟、以及优异的力学性能, 使其在核电工程、汽车工程以及众多民用领域都得到十分广泛的使用, 是目前应用最广泛的金属材料之一^[3-5]。

对纯钛的研究也十分广泛, 其中, 张家铭等^[6]研究了工业纯钛 TA1 薄带制备工艺对织构与性能的影响, 结果表明: 纯钛的塑性与强度性能与组织中晶粒大小成反比, 在进行拉伸时, 组织中会产生孪晶以及滑移 2 种作用, 并在力学性能上有各向异性产生, 在进行轧制工艺时, 棱锥面会产生滑移协调性, 并有织构产生, 当进行换向轧制时, 形成的织构会使得晶粒受到的阻力增加, 从而减小各向

异性。龙杰等^[7]研究了退火工艺对 TA1 热轧宽厚板组织与性能的影响, 结果表明: TA1 热轧宽厚板在经历 730 °C×1.5 h 退火后, 会得到最佳的金相组织, 经测得此时组织中的晶粒尺寸为 133~150 μm, 同时其力学性能十分优异, 其抗拉强度为 315 MPa, 屈服强度为 245 MPa, 断后伸长率为 45%。

鉴于实际生产, 缩短加工过程, 精简工艺流程是最重要的研究领域, 本文选取电子束 (EB) 炉熔炼扁锭, 随后直接进行轧制生产, 制成厚度为 50 mm 的板材, 研究其组织与力学性能关系, 进一步探索 EB 炉熔炼扁锭的轧制工艺, 为实际生产做出参考。

实验材料与方法

实验用材料为经 EB 炉熔炼扁锭, 随后经

作者单位: 1. 新疆润新新材料科技有限公司, 新疆 哈密 839000; 2. 大连交通大学连续挤压教育部工程研究中心, 辽宁 大连 116028; 3. 长春工业大学应用科技学院, 吉林 长春 130000

2450 mm 轧机轧制加工成厚度为 50 mm 的板材, 对实验用 TA2 板材进行化学成分检测, 测的板材具体化学成分如表 1 所示。随后将 TA2 板材进行切割, 对切割后的试样进行退火处理, 具体退火制度为 $(720\text{ }^{\circ}\text{C}、780\text{ }^{\circ}\text{C}、840\text{ }^{\circ}\text{C}、900\text{ }^{\circ}\text{C}) \times 1.5\text{ h/AC}$, AC 表示室温冷却, 对加热后试样进行取样测试, 分别进行金相组织观察、室温拉伸性能测试, 并观察拉伸断口微观形貌。为确保实验数据的稳定性, 试样取样方向均为板材纵向, 且每次力学性能测试 3 组试样, 取其平均值。其中加热用电阻炉为高精度 H-2 型号电阻炉, 金相组织观察使用 APXOL 型号光学显微镜, 室温拉伸测试使用 XJ-7 型拉伸试验机, 拉伸断口微观形貌观察使用 ZEISS 型号扫描电镜。

表 1 实验用板材化学成分分析 (质量分数) %

Fe	C	N	H	O	Ti
0.078	0.013	0.020	0.001	0.126	余量

实验结果与讨论

微观组织

图 1 为 TA2 钛板经不同退火温度处理后的金相组织, 由图 1 可知, 板材经不同温度退火处理后,

金相组织有一定变化, 随着退火温度的不断升高, 组织中的晶粒逐渐开始等轴化, 并且不断长大, 在退火温度为 $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 可以发现组织中的晶粒有部分形状为长条状, 说明在轧制过程中造成的晶粒变形并没有完全发生回复, 当退火温度升至 $780\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 组织中长条状晶粒数量减少, 等轴化程度升高, 这是因为温度升高, 组织中发生部分再结晶的原因, 当退火温度升至 $840\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 长条状晶粒几乎完全消失, 并且出现较多十分细小均匀的小晶粒, 这是由于在轧制过程中的变形储存能会减小热激活能, 这会增加组织中发生再结晶形核的机率, 当提高退火温度时, 会增加组织中的原子扩散能力, 在轧制变形过程中形成的位错会相抵消, 并形成亚晶, 其中相邻的亚晶间会发生吞并现象, 进而抑制晶粒长大, 促使晶粒逐渐等轴化^[8-9]。当退火温度升至 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 此时组织的晶粒尺寸明显变大, 这是因为退火温度较高, 板材在加热以及保温的过程中, 会有足够的能量进行长大, 因为晶粒附近存在较多的小晶粒, 组织中晶粒在发生再结晶时, 会吞噬小晶粒并长大。

拉伸性能

图 2 为板材经不同退火温度处理后的拉伸性

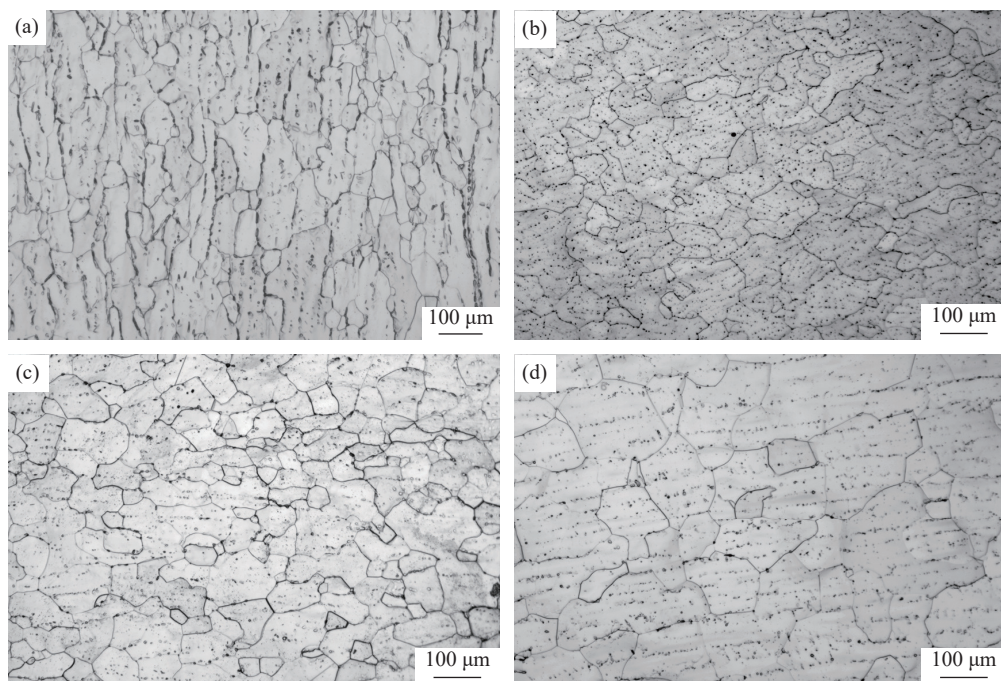


图 1 经不同退火温度处理的金相组织: (a) $720\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $780\text{ }^{\circ}\text{C}$; (c) $840\text{ }^{\circ}\text{C}$; (d) $900\text{ }^{\circ}\text{C}$

能,由图2可知,板材室温强度与塑性呈现相反趋势,其中强度随着退火温度的升高而先降低再升高,塑性随着退火温度的升高而先升高再降低,其中当板材的退火温度为840℃时,其强度值最小,其中抗拉强度(R_m)为502 MPa,屈服强度($R_{p0.2}$)为369 MPa。而板材塑性值方面,其延伸率(A)在840℃时最大,其延伸率为32%。

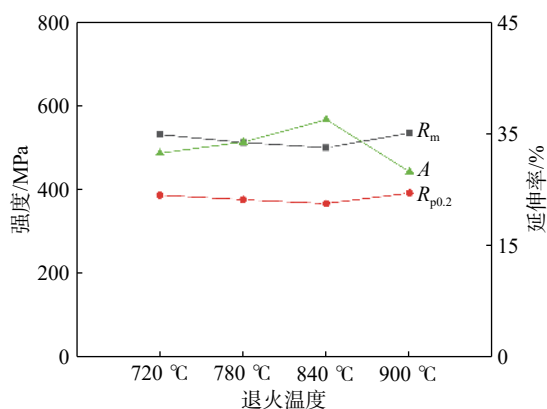


图2 经不同退火温度处理的拉伸性能

因为板材在轧制过程中会导致内部组织中的晶格产生畸变,进而形成较多位错与缺陷,同时在组织内部还有大量的残余应力,导致其畸变能较高,当板材经历720℃退火处理后,并不能将上述因素

完全消除,使得板材此时强度较高,而塑性较低^[10]。当将退火温度提高到780℃时,产生的畸变能够提供组织内部回复与再结晶所需驱动力,同时降低内部缺陷,组织逐渐变得稳定,致使其塑性升高。随着退火温度进一步升至840℃,组织中有细小晶粒的产生,轧制过程中形成的位错、空位、残余应力全部消失,再结晶所形成的晶粒会长大并趋于等轴形貌,退火产生的软化效果在此时达到最佳性能,组织的拉伸性能最稳定,而强度最小,塑性达到最大值。当退火温度在900℃时,因为此时温度已经超过再结晶的最佳温度,组织中形成的小晶粒“吞食”附近基体并长大,当组织中晶粒较大时,在进行拉伸测试过程中,较大的晶粒容易形成应力集中,在晶界位置容易开裂,使得板材的塑性性能降低^[11]。

拉伸断口微观形貌

图3为板材经不同退火温度处理后的拉伸断口微观形貌,由图3可知,经不同退火温度处理后的板材拉伸断口微观形貌大体一致,均为大量等轴韧窝,断口形貌中的韧窝数量与形貌是反应板材塑性性能大小的主要依据,当断口形貌中韧窝数量较多且较深时,板材的塑性较高;当韧窝数量较少且深

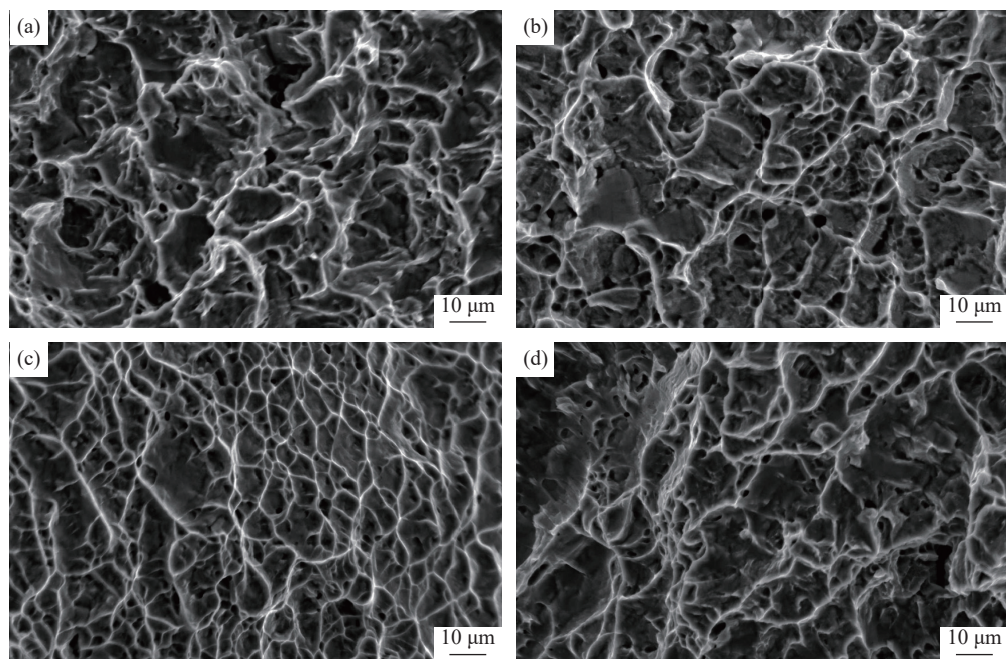


图3 经不同退火温度处理的拉伸断裂微观形貌: (a) 720℃; (b) 780℃; (c) 840℃; (d) 900℃

度较浅时, 板材的塑性较低。断口中的韧窝是因为当板材在拉伸时, 较快的变形速度会导致组织中的位错在进行滑移时, 产生应力集中现象, 组织内部的微孔发生形核, 在拉伸的过程中, 位错在运动时受到的排斥力下降, 同时少量位错会进入微孔中, 位错源被再次激活, 因为拉伸过程中会不断产生新位错, 使得新位错会源源不断的进入微孔中, 促进微孔长大, 大量微孔会汇聚到断口位置, 从而留下痕迹, 进而形成韧窝^[12]。

可以发现, 840 °C (图 3 (c)) 的韧窝数量最多且较深, 说明此时板材的塑性最佳, 这与实际结果相符合, 而 720 °C (图 3 (a))、780 °C (图 3 (b)) 的断口形貌几乎一致, 均为大量的韧窝, 无明显差异, 而在 900 °C (图 3 (d)) 可以发现明显的撕裂棱存在, 这是因为此时组织中形成粗大的晶粒, 在拉伸过程中, 粗大的晶粒会容易形成空洞, 导致板材延伸率下降, 而强度上升, 这与实际结果一致。

结论

(1) 板材经不同温度退火处理后, 金相组织有一定变化, 随着退火温度的不断升高, 组织中的晶粒逐渐开始等轴化, 并且不断长大。

(2) 板材的强度与塑性呈现相反趋势, 其中强度随着退火温度的升高而先降低再升高, 塑性随着退火温度的升高而先升高再降低。

(3) 经不同退火温度处理后的板材拉伸断口微观形貌大体一致, 均为大量等轴韧窝。

参考文献

- [1] 王庆娟, 田云飞, 高贝特, 等. 工业纯钛TA1的双道次热压缩变形及软化行为. 金属热处理, 2022, 47(4): 75
- [2] 沈楚, 冯庆, 王思琦, 等. 退火温度对旋压工业纯钛TA1组织演变与力学性能的影响. 材料导报, 2021, 35(S2): 452
- [3] 张平平, 魏东东, 牛文字, 等. 退火工艺对钛阳极用1.0 mmTA1钛卷组织和性能的影响. 金属世界, 2022(4): 92
- [4] 穆晓辉, 陈令杰, 李渤渤, 等. 冷轧TA1钛卷线状起皮缺陷分析. 世界有色金属, 2021(16): 231
- [5] 肖斌, 马振峰, 徐海秀. TA1复合板焊接工艺及焊缝组织和性能研究. 中国设备工程, 2021(6): 133
- [6] 张家铭, 余伟, 史佳新, 等. 工业纯钛TA1薄带制备工艺对组织结构与性能的影响. 稀有金属, 2021, 45(8): 905
- [7] 龙杰, 李双江, 付振坡, 等. 退火工艺对TA1热轧宽厚板组织与性能的影响. 金属热处理, 2019, 44(6): 133
- [8] 张孝军, 孔玢, 刘正乔, 等. 冷轧TA1钛卷表面形貌演变及其对深冲性能的影响. 冶金管理, 2020(13): 15
- [9] 张孝军, 向午渊, 孔玢, 等. 退火工艺对板式换热器用冷轧TA1钛卷组织与性能的影响. 中国金属通报, 2020(5): 13
- [10] 朱岩, 郝永刚, 林鹏, 等. 变形温度对TA1工业纯钛板拉压不对称性的影响. 塑性工程学报, 2020, 27(3): 102
- [11] 王瑞琴, 黄先明, 付文杰, 等. TA1钛板材的组织 and 性能改进. 金属热处理, 2014, 39(8): 88
- [12] Huang Y, Gao H, Nix W D, et al. Mechanism-based strain gradient plasticity-II. *analysis. J Mech Phys Solids*, 2000, 48(1): 99

基金项目: 2021 年度自治区创新环境 (人才、基地) 建设专项资助项目 (XJQY2009)。

作者简介: 赵小龙 (1985—), 男, 陕西扶风人, 硕士, 钛合金加工中级工程师, 主要从事钛及钛合金塑性成型工作。通信地址: 新疆湘润新材料科技有限公司, E-mail: zxldj123@126.com。