

海绵钛颗粒热机械固结与加工制备钛丝的组织与性能

刘永旭, 来洪臣, 王 聪, 赵梅瑛, 张德良

(东北大学 材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 以海绵钛颗粒为原料, 采用颗粒压坯热挤压工艺制备出直径分别为 38 mm 和 24 mm 的纯钛棒材, 随后经多道次冷拉拔和道次间 400 °C 退火, 得到 $\phi 4$ mm 和 $\phi 1$ mm 的丝材, 研究了纯钛棒材和丝材的显微组织和力学性能。结果表明: 随着变形量的增大, 钛丝的再结晶程度上升, 显微组织由片层状逐渐转变为等轴状, 其中 $\phi 1$ mm 丝材中心出现了直径 5~25 μm 的孔洞, 说明在拉拔过程中, 海绵钛颗粒间弱连部位形成了集中孔洞。 $\phi 4$ mm 和 $\phi 1$ mm 丝材的屈服强度分别为 355 MPa 和 230 MPa, 抗拉强度分别为 467 MPa 和 337 MPa, 断后伸长率分别为 23.2% 和 17.2%。丝材拉伸断裂模式为塑性断裂。

关键词: 海绵钛; 颗粒热机械固结; 冷拉拔; 力学性能

中图分类号: TG146.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9964(2026)03-018-07

Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Wires Fabricated by Thermomechanical Consolidation and Processing of Titanium Sponge Particles

Liu Yongxu, Lai Hongchen, Wang Cong, Zhao Meiyang, Zhang Deliang

(School of Materials Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: Using titanium sponge particles as the raw material, the pure titanium rods with diameters of 38 mm and 24 mm were fabricated by hot extrusion of particle compacts. After multiple rounds of cold drawing and inter-drawing annealing at 400 °C, wires of $\phi 4$ mm and $\phi 1$ mm were obtained. The microstructures and mechanical properties of the pure titanium rods and wires were investigated. The results indicate that as the deformation amount increases, the degree of recrystallization in the titanium wires rises, and the microstructure gradually transforms from lamellar to equiaxed. Notably, pores with diameter of 5–25 μm appear in the center of $\phi 1$ mm wire, suggesting that weak bonding areas between titanium sponge particles evolved into concentrated pores during the drawing process. The yield strengths of $\phi 4$ mm and $\phi 1$ mm wires are 355 MPa and 230 MPa, with ultimate tensile strengths of 467 MPa and 337 MPa, and elongations of 23.2% and 17.2%, respectively. The mode of tensile fracture of the wires is ductile fracture.

Keywords: titanium sponge; thermomechanical consolidation of particles; cold drawing; mechanical properties

钛及钛合金以其高比强度、优异的耐腐蚀性、良好的生物相容性和无磁性, 成为航空航天、化工、海洋工程、生物医疗等领域的理想选材^[1-5]。然而, 由于钛的热导率较低, 屈服强度与弹性模量比值高, 本身变形能力差, 采用常规方法加工成形较为困难, 这使得钛材的制备成本较高, 已成为制约钛材广泛应用的主要障碍^[6-7]。因此, 降低钛材生产成本一直是相关从业人员关注的热点之一。

目前, 铸锭冶金与粉末冶金是制备钛及钛合金材

料的两大主流工艺体系^[8-9]。粉末冶金法属于近净成形技术, 材料利用率极高, 且能有效避免传统铸锭冶金中可能出现的成分偏析问题。Sun 等人^[10]通过粉末冶金法制备出拉伸强度 973.6 MPa、断后伸长率 26% 的纯钛丝材, 讨论了晶粒取向、晶粒细化对纯钛丝材力学性能的影响。Zhang 等人^[11]采用高能机械球磨 TiH₂ 粉末, 通过脱氢处理和热挤压成形, 制备出一种由等轴 α 相与超细晶相组成的双模结构纯钛材料, 其抗拉强度为 932 MPa, 断后伸长率可达 26.2%。Liang 等人^[12]通过粉末锻造和热挤压工艺分别制备出屈服强度 708 MPa、抗拉强度 824 MPa、断后伸长率 21% 的

收稿日期: 2026-03-30

通信作者: 张德良(1964—), 男, 教授。

锻造钛盘和屈服强度 625 MPa、抗拉强度 809 MPa、断后伸长率 25%的挤压钛棒。为了充分挖掘钛材的性能潜力，粉末冶金工艺通过细化晶粒、调控亚晶粒结构及优化织构等手段，显著改善其力学性能，最终获得综合性能优异的钛材。

目前，粉末冶金法制备钛及钛合金的原料主要为氢化脱氢(HDH)钛粉和氢化钛粉。尽管其成本显著低于等离子旋转电极(PREP)或气体雾化(GA)等工艺制备的球形钛粉^[13]，但仍远高于海绵钛颗粒。若能直接以海绵钛颗粒为原料，不仅可大幅缩短工艺流程、降低原材料成本，更有利于实现大规模工业化生产。王亚铮等人^[14]将海绵钛压块后用纯钛板密封焊接，随后在 900 °C 下进行多火次纵向热轧，制备出厚度 4 mm 的轧板。该轧板经 590 °C/30 min/AC 退火处理后，屈服强度为 258 MPa，抗拉强度为 309 MPa，断后伸长率达到 30%，均符合 GB/T 3621—2022 标准要求，为海绵钛直接轧制技术提供了理论依据。在本课题组先前的研究中，张彦虎等人^[15]以海绵钛颗粒为原料，利用热机械固结工艺制备了纯钛棒材。为此，本研究同样采用热机械固结工艺制备纯钛棒材，对棒材进行多道次室温拉拔和道次间退火，进而获得 $\phi 4$ mm 和 $\phi 1$ mm 的纯钛丝材。对棒材和丝材进行显微组织分析和力学性能测试，探究变形量对纯钛丝材显微组织和力学性能的影响，以期制定海绵钛颗粒直接成形钛丝的加工工艺提供实验参考。

1 实验

实验原料为海绵钛颗粒，采用颗粒压坯热挤压工艺制备纯钛棒材，随后经过多道次冷拉拔，制备纯钛丝材。具体工艺过程：① 将海绵钛颗粒置入真空烘干箱烘干；② 将烘干后的海绵钛颗粒压制成海绵钛压坯，随后在氩气氛围保护下对压坯进行快速加热烧结，烧结温度为 1100 °C，保温时间为 5 min，得到温度均匀的烧结坯；③ 将烧结坯至于挤压模具中，在氩气氛围保护下利用带有内腔的挤压模具进行挤压，经冷却后得到直径分别为 38 mm 和 24 mm 的纯钛棒材，分别命名为 Rod-1 和 Rod-2；④ Rod-1 和 Rod-2 棒材经过多道次拉拔和道次间 400 °C 退火，分别获得 $\phi 4$ mm 和 $\phi 1$ mm 的丝材，其中每道次变形量均为 10%；⑤ 两种丝材经过 700 °C 真空退火 6 h 后，分别命名为 W-1 和 W-2 丝材。用气相色谱仪测定了不同棒材和丝材的 H、O、N 含量，结果如表 1 所示。

采用电子万能试验机(Shimadzu AG-Xplus100kN)进行拉伸试验，应变率为 $5.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 。沿挤压棒材的挤压方向切取哑铃状拉伸试样，总长为 52 mm，标距

表 1 不同样品的 H、O、N 元素含量(w%)

Table 1 Content of H、O and N elements of different specimens

Specimen	H	O	N
Rod-1	0.006	0.10	0.012
Rod-2	0.005	0.10	0.005
W-1	0.005	0.14	0.005
W-2	0.006	0.13	0.010

段尺寸为 10 mm×3 mm×2 mm。拉拔丝材的拉伸试样无需机加工，试样总长 150 mm，标距长 50 mm。用引伸仪测量拉伸应变。每种样品取 3 支平行试样，取平均值作为测量结果。

采用光学显微镜(OM, Zeiss Axio Lab.A1)和场发射扫描电子显微镜(FESEM, Zeiss Sigma 300)观察样品微观组织，观察面沿挤压方向或拉拔方向。采用 401MVD 型维氏硬度计测量样品的显微硬度，载荷为 500 g，保压时间为 10 s。每个样品测量 10 个不同位置，取平均值并计算硬度的标准差。采用钨灯丝扫描电子显微镜(SEM, JEOL JSM-6510A)观察拉伸试样的断口形貌，分析试样的断裂机制。采用配备电子背散射衍射(EBSD)探测器的场发射双束扫描电镜(FIB-SEM, Zeiss Crossbeam 550)对材料的显微组织、再结晶分数、位错密度及微观应变分布进行系统表征。EBSD 试样首先用砂纸打磨和 Kroll 试剂腐蚀，随后在 -15 °C 下，使用高氯酸+正丁醇+甲醇混合溶液(体积比为 6 : 34 : 60)电解抛光 90~120 s，电解电压 25 V，电流 0.7 A。

2 结果与讨论

2.1 XRD

图 1 为不同样品的 XRD 谱图。从图 1 可以看出，不同直径纯钛棒材和拉拔退火后纯钛丝材的 XRD 谱图上均只显示了 α -Ti 相衍射峰。对比 Rod-1 和 Rod-2 棒材的 XRD 衍射峰发现，Rod-2 棒材的 $\{11\bar{2}0\}$ 衍射峰强

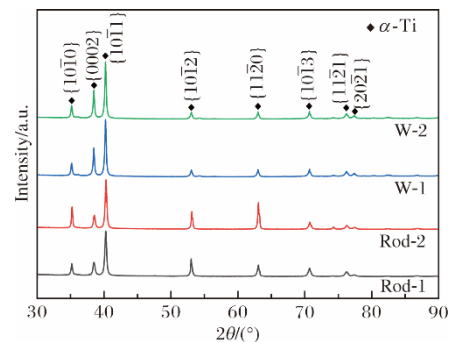


图 1 不同样品的 XRD 谱图

Fig.1 XRD patterns of different specimens

度明显高于 Rod-1 棒材。这可能是由于 Rod-2 棒材在 $\{11\bar{2}0\}$ 面存在择优取向, 该织构是在热挤压过程中形成的。W-1 和 W-2 丝材的峰形较为尖锐, 说明经过 700 °C 长时间退火后, 材料内部的位错密度和微观应力明显降低, 回复与再结晶过程较为充分, 且晶粒取向分布趋于随机化。

2.2 显微组织

2.2.1 棒材

图 2 为 Rod-1 和 Rod-2 棒材横截面和纵截面(沿挤

压方向)的显微组织。从图 2 可以看出, Rod-1 和 Rod-2 两种棒材均获得了较为致密的显微组织, 且横截面与纵截面组织均主要呈现不规则的等轴晶特征。纵截面组织中拉长晶与局部等轴晶并存, 未表现出明显沿挤压方向拉长的流线形貌, 表明材料在热挤压过程中可能伴随动态回复与动态再结晶行为。此外, 显微组织中仅观察到少量微小孔隙或点状缺陷, 说明该工艺能够有效促进海绵钛颗粒间的冶金结合并显著提高致密化程度。

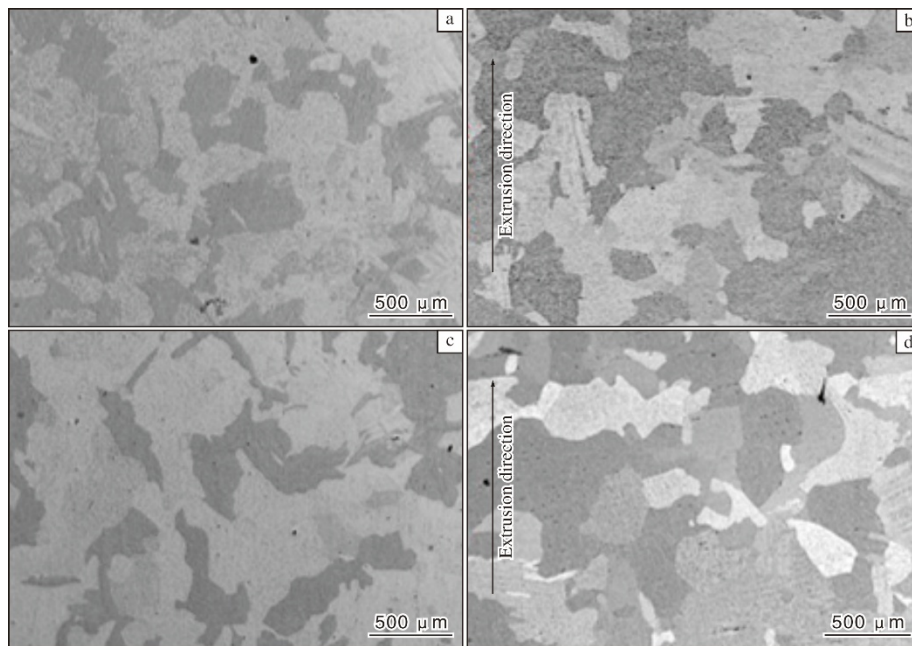


图 2 Rod-1 和 Rod-2 棒材横、纵截面的显微组织

Fig.2 Microstructures of different rods in transverse sections (a, c) and longitudinal sections (b, d): (a, b) Rod-1; (c, d) Rod-2

图 3 为 Rod-1 和 Rod-2 棒材纵截面的 EBSD 分析结果。从图 3a、3d 反极图(IPF)可以看出, 纯钛棒材的显微组织由大片层状 α 集束和类似等轴状的组织构成, 且随着棒材直径的减小, 等轴组织比例明显增大。图 3b、3e 为晶粒取向散布(GOS)图, 其通过计算晶粒内各点取向与该晶粒平均取向的偏差揭示再结晶程度。本研究将 GOS 值为 $0^\circ\sim 2^\circ$ 的晶粒判定为再结晶晶粒^[16-17]。从图中可以看出, 随着棒材直径的减小, 再结晶程度明显升高, 这是由于更大的变形量提供了更高的储存能, 单位体积内瞬间形成大量细小 β 晶核, 冷却后得到的魏氏体集束也越细小, 再结晶程度越高。图 3c、3f 为核平均取向差(KAM)图, 可用于定性表征晶粒局部变形程度及残余应力分布特征, 还可用于分析位错密度^[18-19]。从图中可以看出, 随着棒材直径的减小, KAM 值减小, 且高亮区域都在晶界附近和未发生再结晶的晶粒内部。这是由于塑性变形时, 位错在

晶界处塞积, 导致晶界附近区域位错密度远高于晶粒内部, 而没有发生再结晶的原始变形晶粒内部充满了位错缠结、位错胞等结构, 所以导致 KAM 值较大。

图 4 为 Rod-1 和 Rod-2 棒材的晶粒尺寸分布图。从图 4 可以看出, Rod-1 棒材的晶粒尺寸分布范围较宽, 部分晶粒尺寸可达 100 μm 以上, 平均晶粒尺寸为 83.5 μm 。Rod-2 棒材的晶粒明显细化, 粗大晶粒比例减少, 组织均匀性较 Rod-1 棒材有所改善, 平均晶粒尺寸降低至 58.1 μm 。

在纯钛棒材挤压过程中, 由于挤压温度高于 β 转变温度, 材料处于单一 β 相区。在此条件下, 变形导致 β 晶粒内部位错密度和储存能显著增加, 而高温为原子扩散提供了驱动力, 从而引发动态再结晶。此时, 无畸变的等轴 β 晶粒从变形 β 晶粒中形核并长大。挤压完成后, 纯钛棒材在极高的温度下空冷至室温, 在此过程中, α 相向 β 晶粒内部生长, 形成一片片平行或交叉的 α 板

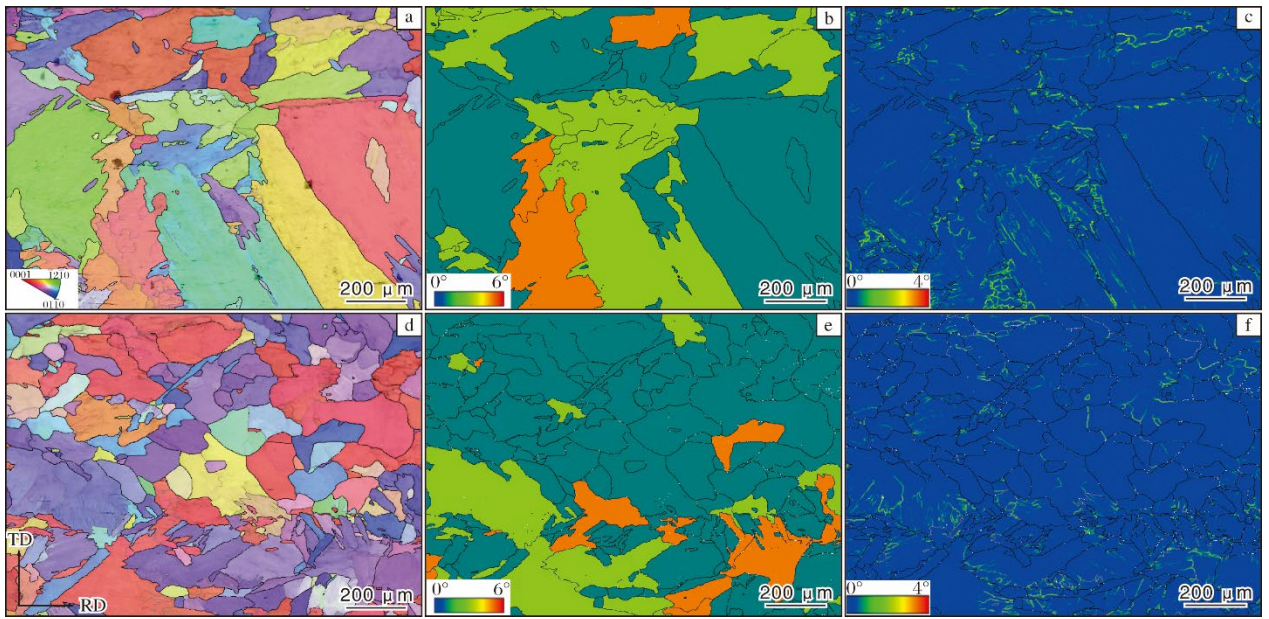


图 3 Rod-1 和 Rod-2 棒材纵截面的 EBSD 分析结果

Fig.3 EBSD analysis results of Rod-1 (a-c) and Rod-2 (d-f) in longitudinal sections: (a, d) IPF maps; (b, e) GOS maps; (c, f) KAM maps

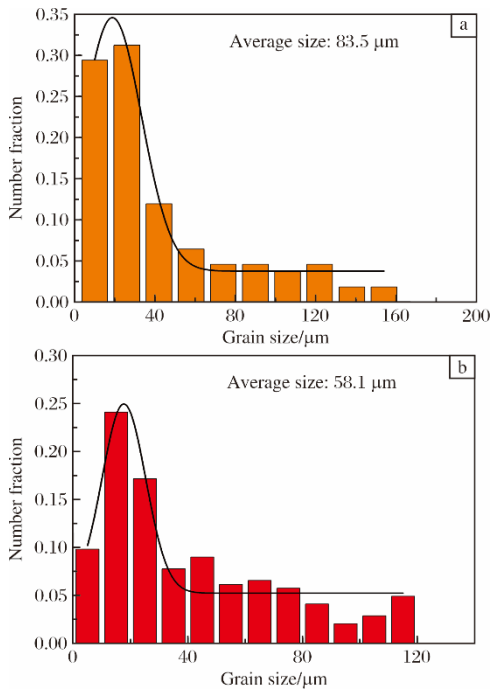


图 4 不同棒材的晶粒尺寸分布图

Fig.4 Grain size distribution diagrams of different rods:
(a) Rod-1; (b) Rod-2

条，从而导致棒材形成具有等轴轮廓的组织。

2.2.2 丝材

图 5 为 W-1 和 W-2 丝材横、纵截面的低倍照片。从图 5 可以看出，W-1 丝材的横、纵截面均无明显冶金缺陷；W-2 丝材的纵截面虽无明显缺陷，但横截面

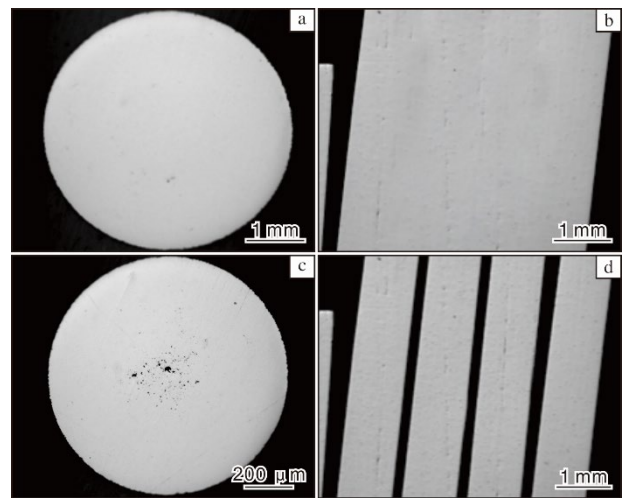


图 5 不同丝材横、纵截面的低倍照片

Fig.5 Macro photographs of different wires in transverse sections (a, c) and longitudinal sections (b, d): (a, b) W-1; (c, d) W-2

心部密集分布着尺寸为 5~25 μm 的孔洞。这是由于海绵钛颗粒间存在弱结合界面，在后续大变形拉拔过程中形成集中孔洞。

图 6 为 W-1 和 W-2 丝材纵截面的 EBSD 分析结果。从图 6a、6d 的 IPF 图可以看到，W-1 和 W-2 丝材的显微组织绝大部分为细小均匀的等轴组织，小部分为长大后的粗大等轴晶粒，且图中颜色丰富，表明晶粒取向随机分布，无明显变形组织残留。从图 6b、6e 的 GOS 图可以看出，画面大部分为深绿色，代表再结

晶晶粒。表明 W-1 和 W-2 丝材在拉拔过程中, 引入了大的变形量, 使材料内部位错密度达到很高的程度。此时, 材料的储存能很大, 在后续去应力退火过程中该储存能驱动了再结晶的发生。从图 6c、6f 的 KAM 图可以看出, 经历退火后, W-1 和 W-2 丝材整体的 KAM 值都很低, 画面几乎为蓝色, 说明材料内部的高密度位错和微观应力已基本消除。

图 7 为 W-1 和 W-2 丝材的晶粒尺寸分布图。从图 7 可以看到, W-1 丝材平均晶粒尺寸为 $19.0\ \mu\text{m}$, 与棒材相比大幅降低。W-2 丝材大尺寸晶粒比例相比 W-1 丝材有所降低, 平均晶粒尺寸减小至 $13.9\ \mu\text{m}$ 。说明更大的累积拉拔变形显著提高了再结晶形核密度, 并抑制了单个晶粒的异常长大, 从而获得更细小的等轴晶组织。

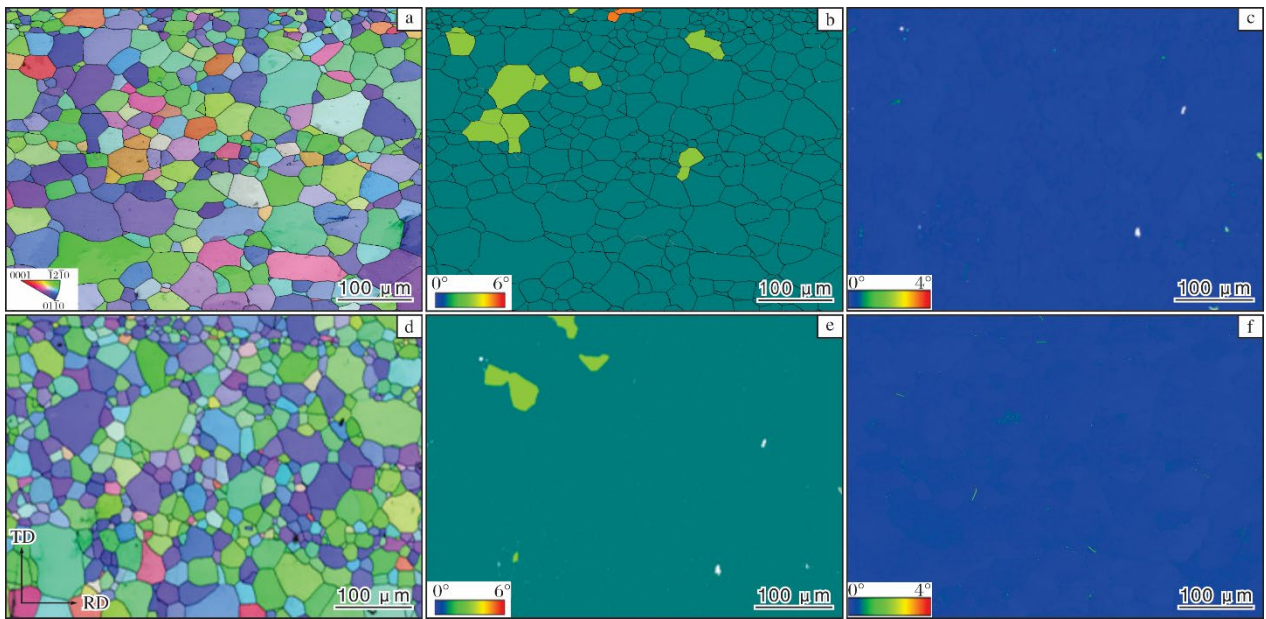


图 6 W-1 和 W-2 丝材纵截面的 EBSD 分析结果

Fig.6 EBSD analysis results of W-1 (a-c) and W-2 (d-f) in longitudinal sections: (a, d) IPF maps; (b, e) GOS maps; (c, f) KAM maps

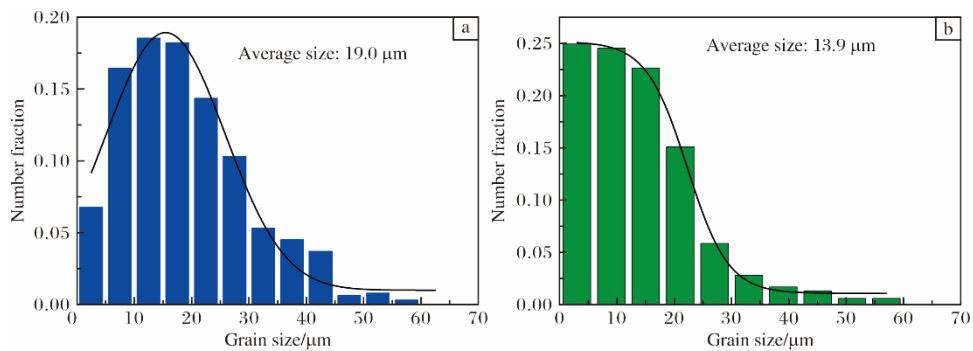


图 7 不同丝材的晶粒尺寸分布图

Fig.7 Grain size distribution diagrams of different wires: (a) W-1; (b) W-2

2.3 力学性能

图 8 为不同样品的显微硬度。从图 8 可知, Rod-1 和 Rod-2 两种棒材的维氏显微硬度分别为 100 HV 和 112 HV。与棒材相比, W-1 和 W-2 两种丝材的维氏显微硬度增大, 分别为 158 HV 和 116 HV, 并且 W-1 丝材的维氏显微硬度显著高于 W-2 丝材。

图 9 为不同样品的室温拉伸工程应力-应变曲线, 表 2 为室温拉伸性能测试结果。从表 2 可知, Rod-1 和

Rod-2 两种棒材的屈服强度分别为 195 MPa 和 223 MPa, 抗拉强度分别为 289 MPa 和 321 MPa, 断后伸长率分别为 39.1%和 46.1%。与棒材相比, W-1 和 W-2 两种丝材的强度显著升高, 屈服强度分别为 355 MPa 和 230 MPa, 抗拉强度分别为 467 MPa 和 337 MPa, 断后伸长率分别为 23.2%和 17.2%。

图 10 为不同样品的拉伸断口形貌。从图 10 可以看出, 所有试样的断裂面上都呈现出大量韧窝, 均属

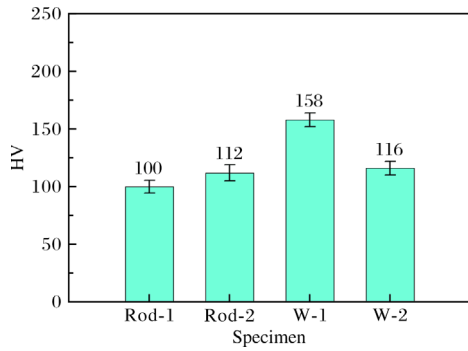


图 8 不同样品的维氏显微硬度

Fig.8 Vickers micro-hardness of different specimens

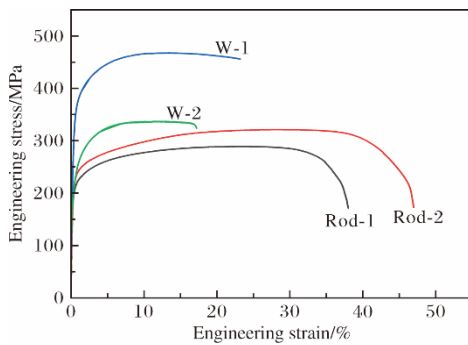


图 9 不同样品的室温拉伸工程应力-应变曲线

Fig.9 Room temperature tensile engineering stress-strain curves of different specimens

表 2 不同样品的室温拉伸性能

Table 2 Room temperature tensile properties of different specimens

Specimen	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$
Rod-1	195±6	289±8	39.1±3.2
Rod-2	223±4	321±5	46.1±2.4
W-1	355±3	467±3	23.2±2.2
W-2	230±4	337±2	17.2±1.4

于塑性断裂。Rod-2 棒材断口上的韧窝小且深，表现出较好的塑性；Rod-1 棒材和 W-1 丝材断口上还能看到一小部分解离小平面，塑性相对较差；W-2 丝材心部存在相对较大的孔洞，这是由于样品原有的小孔洞在拉伸过程中被拉长、扩大，相邻孔洞之间的韧带区域发生严重的颈缩，最终破裂，使孔洞相互连接，从而形成较大孔洞。

Rod-1 棒材的显微组织中含有大量未再结晶的粗大 α 片层，其内部位错密度大、KAM 值高，产生了显著的位错强化效应，成为决定其屈服强度的关键因素。然而，高密度位错区的塑性储备较低，且软硬相交的界面易成为裂纹源。尽管如此，其整体塑性依然很好。

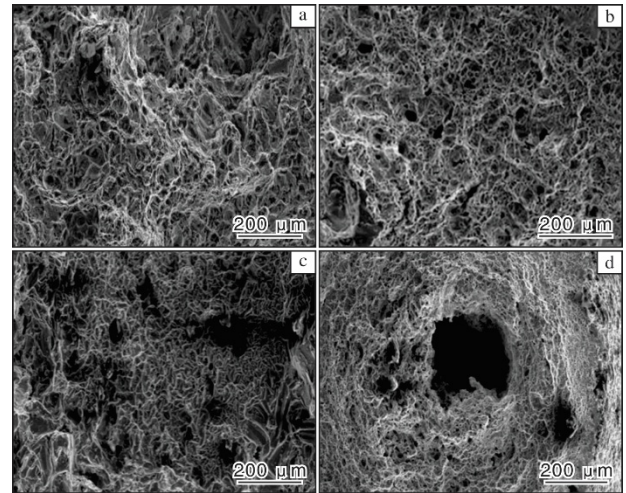


图 10 不同样品的拉伸断口形貌

Fig.10 Tensile fracture morphologies of different specimens: (a) Rod-1; (b) Rod-2; (c) W-1; (d) W-2

对于 Rod-2 棒材，其再结晶程度更高，形成具有等轴轮廓组织和尺寸较小的 α 片层。这些细小的晶界共同构筑了阻碍位错运动的强大屏障，使得细晶强化取代应变强化成为最主要的强化机制，因而 Rod-2 棒材强度稍高。对于再结晶退火后的丝材，其显微组织由完全再结晶的均匀细小等轴晶组成，所有冷加工引入的位错已被完全消除，应变强化效应归零，其强度的提升几乎完全归因于晶粒尺寸减小引起的细晶强化。虽然 W-2 丝材的晶粒尺寸更小，但其屈服强度和抗拉强度均低于 W-1 丝材。原因是 W-2 丝材心部有密集分布的孔洞，导致不承担载荷的面积占据了丝材横截面的 12.3%，在相同拉伸载荷下，W-2 丝材实际承受的应力明显大于表观应力。基于上述考虑，W-2 丝材的实际屈服强度和抗拉强度可修正为 262 MPa 和 387 MPa。其次，在塑性变形过程中，孔洞周围的材料会发生应变集中，导致变形主要集中在孔洞附近，而不是均匀分布在整个样品上，从而诱发了微裂纹的早期萌生，促进了裂纹的快速扩展和连接，降低了材料的塑性。

3 结 论

(1) 通过海绵钛颗粒压坯热挤压制备的直径分别为 38 mm 和 24 mm 的纯钛棒材，经多道次拉拔和道次间 400 °C 退火，获得直径分别为 4 mm 和 1 mm 的纯钛丝材。

(2) 在多道次拉拔和道次间 400 °C 退火过程中，丝材发生完全再结晶，所获得的显微组织由无畸变的细小等轴晶组成。

(3) $\phi 1$ mm 丝材中心部位出现尺寸为 5~25 μm 的

孔洞, 说明部分海绵钛颗粒的界面结合较弱。

(4) $\phi 4$ mm 丝材的屈服强度、抗拉强度和断后伸长率为 355 MPa、467 MPa 和 23.2%, $\phi 1$ mm 丝材的屈服强度、抗拉强度和断后伸长率为 230 MPa、337 MPa 和 17.2%, 二者的断裂模式均为塑性断裂。丝材强度明显高于棒材, 其原因主要为细晶强化。

参考文献 References

- [1] 阚延勇, 苏方正, 徐曦荣, 等. 工业用钛及钛合金材料的应用现状[J]. 上海化工, 2023, 48(6): 58-61.
- [2] 马尹凡, 樊江昆, 唐璐瑶, 等. 激光选区熔化成形高强钛合金研究现状及展望[J]. 稀有金属材料与工程, 2025, 54(1): 280-292.
- [3] Ibrahim P, Garrad R, Penchev P, et al. Hybrid manufacturing and performance evaluation of β Ti-alloy stents[J]. Materials and Design, 2024, 247: 113420.
- [4] 祝鹤, 卢影峰, 焦清洋, 等. TB9 钛合金丝材及拉伸弹簧的热处理工艺研究[J]. 热加工工艺, 2021, 50(24): 131-133.
- [5] 金和喜, 魏克湘, 李建明, 等. 航空用钛合金研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(2): 280-292.
- [6] 李伟东, 史许娜, 李晨阳, 等. 钛及钛合金铸锭制备工艺发展现状[J]. 钛工业进展, 2024, 41(5): 42-48.
- [7] Wang Y H, Li X, Alexandrov I V, et al. Impact of equal channel angular pressing on mechanical behavior and corrosion resistance of hot-rolled Ti-2Fe-0.1B alloy[J]. Materials, 2020, 13(22): 5117.
- [8] Ren J, Wang R C, Peng C Q, et al. Multistage aging treatment influenced precipitate characteristics improve mechanical and corrosion properties in powder hot-extruded 7055 Al alloy[J]. Materials Characterization, 2020, 170: 110683.
- [9] Bolzoni L, Ruiz-Navas E M, Gordo E. Understanding the properties of low-cost ironcontaining powder metallurgy titanium alloys[J]. Materials and Design, 2016, 110: 317-323.
- [10] Sun B, Li S F, Imai H, et al. Fabrication of high-strength Ti materials by in-process solid solution strengthening of oxygen via P/M methods[J]. Materials Science and Engineering A, 2013, 563: 95-100.
- [11] Zhang Y J, Fang S M, Wang Y M, et al. Enhancement of tensile strength and ductility of titanium with a bimodal structure[J]. Materials Science and Engineering A, 2020, 803: 140701.
- [12] Liang C, Ma M X, Jia M T, et al. The tensile mechanical properties of thermomechanically consolidated titanium at different strain rates[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2015, 46(11): 5095-5102.
- [13] Hossain M E, Sun P, Zhou C S, et al. A novel direct reduction and alloying process for making additive manufacturing of titanium alloys greener[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 437: 140723.
- [14] 王亚铮, 张宇, 韩盈, 等. 海绵钛直接轧制板材的组织性能分析[J]. 钛工业进展, 2025, 42(5): 1-6.
- [15] 张彦虎, 张德良, 武晓刚, 等. 一种直接热挤压海绵钛颗粒制备纯态的方法: CN202210007996.3[P]. 2022-01-05.
- [16] 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.
- [17] 张慧. Ti-55511 合金黑斑缺陷调控及微观组织演变机理[D]. 西安: 西安理工大学, 2022.
- [18] Yin Z K, Sun Z C, Huang L, et al. Feasibility analysis of obtaining tri-modal microstructure by multi-pass conventional forging combined with dual heat treatment for near- α titanium alloy with different initial microstructures[J]. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 2023, 6(1): 25-32.
- [19] Dong R F, Zhang X Y, Kou H C, et al. Texture evolution associated with the preferential recrystallization during annealing process in a hot-rolled near β titanium alloy[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2021, 12: 63-73.

专利信息

一种高强度低模量的生物医用钛合金及其制备方法

申请号: CN202511983528.X

申请日: 2025-12-26

公开(公告)日: 2026-05-05

公开(公告)号: CN121976087A

申请(专利权)人: 湖南大学

摘要: 本发明公开了一种高强度低模量的生物医用钛合金及其制备方法。按质量分数计, 该合金化学成分为: Zr 10%~25%, Mo 8%~16%, Sn 1%~4%, Fe 0.5%~2%, C 0.01%~0.2%, 余量为 Ti。其微观组织中含有碳化钛析出相。通过优化锆、钼、锡、铁元素的配比, 获得了具有较低弹性模量的 β 钛合金, 同时利用钼元素可降低碳在基体中溶解度的特性, 采用时效强化调控 TiC_x 的析出行为, 实现了沉淀强化, 使合金在维持塑性的同时显著提升了强度与硬度。与传统医用钛合金相比, 该钛合金在弹性模量、强度、延展性等方面均更符合临床植入体的性能要求。