

采用工业化流水线式的热连轧工艺制备 TC4 钛合金无缝管材, 相较钻孔挤压工艺制备中高强钛合金管材, 无需去芯棒, 材料损耗少, 同时生产效率高, 综合成本显著降低。

3 结论

(1) 采用热连轧工艺制备出规格为 $\phi 108 \text{ mm} \times 14.5 \text{ mm} \times L$ 的 TC4 钛合金无缝管材。与传统钻孔挤压工艺相比, 该工艺无需去芯棒, 具有材料损耗少、生产效率高、成本低等特点。

(2) 热轧态 TC4 钛合金无缝管材的综合力学性能良好, 组织主要由大量扭曲变形的片层状 α 相以及未完全破碎的 β 晶界组成, 整体呈现为扭曲变形的过渡组织形态。

(3) 经固溶时效热处理后, TC4 钛合金无缝管材组织中不规则扭曲的 α 片层变为条棒状, 晶界 α 相发生再结晶形成球状 α 相, 其 $R_m \geq 995 \text{ MPa}$, $R_{p0.2} \geq 931 \text{ MPa}$, $A \geq 15\%$, 综合性能优异。

参考文献 References

[1] 孙花梅, 刘伟, 戚运莲, 等. Ti-B25 钛合金管材挤压成形数值模拟及实验研究[J]. 钛工业进展, 2021, 38(1): 25-29.

[2] 安仲生, 陈岩, 赵巍. 2021 年中国钛工业发展报告[J]. 钛工业进展, 2022, 39(4): 34-43.

[3] 张望成, 鲁蓉蓉, 曾宪山. 核电热交换器用耐蚀钛焊管制备工艺研究[J]. 钛工业进展, 2021, 38(4): 34-37.

[4] 周佳宇, 哈军. 钛合金材料在舰船管系上的应用[J]. 材料开发与应用, 2006(6): 40-42.

[5] 张旺峰, 张晖, 颜孟奇, 等. 飞机液压系统用 TA18 钛合金管材性能特殊性研究[J]. 钛工业进展, 2018, 35(4): 22-25.

[6] 余志远. 钛合金无缝管材的研制与应用现状[J]. 热加工工艺, 2018, 47(9): 6-10;

[7] 李宝霞, 李红博, 赵富强, 等. 大规格 TC4 无缝管材工艺研究[J]. 有色金属加工, 2018, 47(5): 47-49;

[8] 庞继明, 肖雅静, 曲恒磊, 等. 不同方法制备的钛及钛合金管坯组织与性能研究[J]. 钛工业进展, 2010, 27(4): 34-36.

[9] 肖雅静, 徐先泽, 张数启, 等. 斜轧穿孔法制备 TC4 合金管坯[J]. 稀有金属快报, 2008, 27(1): 29-32.

[10] 李元德, 朱燕玉, 贾立虹, 等. 连轧管机组发展历程及生产技术[J]. 钢管, 2010, 39(2): 1-13.

[11] 殷国茂. 我国无缝钢管生产和装备的发展历程及今后的发展思考[J]. 钢管, 2011, 40(6): 10-19.

[12] 中国有色金属总公司. 航天高压气瓶用 TC4 钛合金管材规范: GJB 2914—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.

行业动态

西安交通大学在低成本高强韧钛合金设计方面取得新进展

高比强度钛合金是实现节能减排以及轻量化的重要结构材料, 可通过调节晶界 (GBs) 和异相界面 (PBs) 的密度和空间分布特征优化其宏观力学性能。对于钛合金, 除了扩散相变 ($\beta \rightarrow \alpha$) 外, 还可以通过快速冷却条件下的无扩散位移转变 ($\beta \rightarrow \alpha'$) 引入高密度 PBs。但由于钛合金中尺寸为几十甚至几百微米的较大 β 晶粒往往会形成微米级和亚微米级的马氏体片层, 导致相界面密度低而屈服强度不高。因此, 利用晶界工程 (GBE) 构建具有精细微观组织的高强韧钛合金仍然存在挑战。为此, 西安交通大学金属材料强度国家重点实验室孙军院士团队提出了采用化学界面工程 (CBE) 制备纳米马氏体的新策略。基于高温下合金元素之间显著的扩散失配可以构筑高密度化学界面 (CBs, 定义为在晶格连续区域内至少一个元素存在浓度梯度的不连续) 的设计思想, 考虑到不同合金元素在 BCC-Ti 和 HCP-Ti 基体中扩散速率的差异, 选用低成本快扩散元素 Cr 和慢扩散元素 Al, 以 $\text{Ti-xCr-4.5Zr-5.2Al}$ ($x = 1.8, 2.3, 2.8 \text{ wt}\%$) 合金为模型材料, 通过快扩散元素 Cr 调控化学界面的密度。高温状态下 Cr、Al 元素的扩散失配形成高密度 CBs, 这些 CBs 可以将每个 β 晶粒分割成大量贫 Cr 和富 Al 纳米域。在随后水冷过程中, 马氏体更容易在这些富 Al 或贫 Cr 纳米域中形核, 即这些富含 Al 或贫 Cr 的纳米域作为纳米马氏体形核位点, 而化学界面则作为马氏体长大的壁垒, 限制其快速生长。基于 CBE 理念, 团队在 $\text{Ti-2.8Cr-4.5Zr-5.2Al}$ 合金中成功创造了迄今为止最小尺寸的纳米马氏体 (平均尺寸为 $20 \pm 6 \text{ nm}$), 且与当前已报道的其他马氏体钛合金相比, 该钛合金成本最低, 具有比强度最高且强塑性匹配优异等特点。团队提出的 CBE 设计策略突破了钛合金原有微观组织/合金成分设计理念和热机械加工方法的局限, 为设计高性能先进钛合金和其他具有类似特性的金属结构材料提供了新的思路。

该研究成果以《层级纳米马氏体构造的低成本超高强塑钛合金》(Hierarchical nano-martensite-engineered a low-cost ultra-strong and ductile titanium alloy) 为题发表于《自然-通讯》。

来源: 西安交通大学官网