

同行专家业内评价意见书编号：20250856071

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名：王运亭

学号：22260214

申报工程师职称专业类别（领域）：材料与化工

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年03月21日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

钛合金具有优异的综合力学性能，其在高端装备领域备受青睐，主要用于承载结构件制造，包括航空航天、生物医药、海洋装备等领域。钛合金具有很高的比强度，在结构减重方面优势明显，符合了节能减排的现代发展理念；优异的疲劳性能、抗高温氧化性能满足了复杂工况下的结构件服役要求，主要应用于航空发动机中温区关键构件。但随着航空航天科技的发展，以及人类对外太空的探索，传统的一些钛合金不能够满足更为苛刻的服役要求，就需要发展性能更为优异的钛合金材料。在航空航天、船舶领域，高强钛合金（HS-TAs, UTS $\geq$ 1100 MPa）是钛合金工程应用领域中的重要一支，而亚稳 β 钛合金为钛合金中热处理强化效应最高的一种，已成为大型结构件的首选材料。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

根据工业和信息化部 2023 年 12 月 8

日发布的《重点新材料首批次应用示范指导目录（2024年版）》，对超高强钛合金棒材（ Φ 15~300 mm）提出的要求为：固溶时效后，抗拉强度 $\geq$ 1400 MPa，屈服强度 $\geq$ 1300

MPa，延伸率 $\geq$ 6%；断裂韧性指标大于 5

MPa $\cdot$ m^{1/2}。本人利用真空自耗电弧熔炼工艺制备合金，研究在不同温度、冷速下的固溶、时效搭配的组织结构演化与室温和高温力学性能的影响规律，研究冷轧和时效时间、温度对此合金中次生 α

相析出的分布、大小、形状的影响，揭示其强韧化机制，并研究其在高温条件下的氧化行为机制。本人专业实践期间旨在设计并制备一种新型高强钛合金，通过热处理等手段制备出一种同时具备大尺寸 α p 和纳米级次生

α s析出相的高强高韧钛合金，并开发出适用于该型超高强高韧近 β

型钛合金低成本真空自耗电弧熔炼工艺和快速多级热处理工艺。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

一、问题背景

航空航天企业在研发新型轻量化结构件时，需采用高强高塑钛合金材料以满足极端工况下的力学性能要求。传统近 β 型钛合金（如TB2）虽强度较高，但塑性不足（延伸率通常 $\leq$ 10%），且热处理工艺复杂、成本较高，无法满足新一代飞行器对材料强塑性协同提升的需求。企业面临技术瓶颈：如何在保证强度的同时显著提高钛合金的塑性，并简化制备流程以降低成本。

二、解决方案设计

基于材料科学、冶金工程及热处理工艺理论，结合专利技术“高强高塑钛合金及其制备方法”（CN119040692A），提出以下解决方案：

1. 成分优化设计

强化元素调控：通过添加适量V（2.7%~3.3%）、Fe（2.7%~3.3%）、Mo（1.3%~2.1%）形成近 β 型基体，利用固溶强化提高强度。

初生 α 相形成：Al（3.2%~4.2%）促进初生 α 相（ α p）析出，均匀分布于 β 基体，阻碍位错滑移，协同增强强度与塑性。

晶粒细化：Cr（0.2%~0.7%）抑制晶粒粗化，细化组织，提升综合性能。

2. 工艺优化

真空自耗熔炼：通过两次真空熔炼（电流、电压、真空度精准控制）消除成分偏析，提高材料均匀性。

热轧变形：890~910℃下热轧（变形量83%~86%）破碎粗大晶粒，为后续热处理提供有利组织基础。

热处理调控：

固溶处理：760~780℃保温2~3h，控制 β 相占比60%~70%，形成连通 β 基体，避免初生 α 相隔断基体。

时效处理：530~540℃保温1.5~1.8h，析出纳米级次生 α 相（ α_s ），进一步强化基体，同时保持塑性。

三、实施过程与关键技术

1. 熔炼工艺

原料选择：采用海绵钛、Al豆、AlV55合金、AlMo60合金、TiFe33合金及片状Cr颗粒，按专利配比精确称量。

电极制备：将原料压制成块并焊接成熔炼电极，确保成分均匀。

真空熔炼参数：

第一次熔炼：电流1.2~1.8KA，电压28~33V，预真空度 $\leq 1.0\text{Pa}$ ，工作真空度 $\leq 8.0\text{Pa}$ ，冷却4~6h。

第二次熔炼：电流2.9~3.6KA，电压30~35V，预真空度 $\leq 0.8\text{Pa}$ ，工作真空度 $\leq 5.0\text{Pa}$ ，冷却6~8h。

2. 热轧与热处理

热轧：将铸锭加热至900℃，轧制至2~2.5mm厚板材，变形量85%，细化晶粒。

固溶处理：770℃保温2h后炉冷，形成均匀分布的初生 α 相（尺寸0.55~15.33 μm ）。

时效处理：540℃保温1.5h后空冷，析出纳米级 α_s 相（宽度19.94~74.47nm），强化基体。

四、结果分析与验证

1. 微观组织表征

双态组织： β 基体上均匀分布初生 α_p 相（平均尺寸2.83 μm ），形成“ β 相连续网络+ α 相弥散强化”结构。

纳米析出相：时效处理后 β 基体中析出高密度纳米 α_s 相，阻碍位错运动，提高强度。

2. 力学性能测试

实施例结果：抗拉强度1200~1500MPa，延伸率16.1%~18.5%，强塑积达20~27

GPa·%，显著优于传统TB2合金（强度约1300MPa，延伸率 $\leq 10\%$ ）。

对比验证：

温度影响：740℃固溶导致 α_p 相尺寸过小（平均1.07 μm ），塑性降低；800℃接近相变点， β 相脆化。

时效时间：1h时效 α_s 过细（平均29.15nm）强化不足；2h时效过时效，强度下降。

冷却方式：炉冷（实施例2）比水冷（对比例5）和空冷（对比例6）更优，避免 ω 相脆化，保留大尺寸 α_p 相提升塑性。

五、工程应用与价值

1.

实际应用：该钛合金已成功应用于某型号飞行器承力结构件，减重15%，寿命提升30%，满足严苛的疲劳性能要求。

2. 技术优势：

协同强化机制：大尺寸 α_p 相（塑性贡献）与纳米 α_s 相（强度贡献）协同作用，突破传统强塑倒置限制。

工艺简化：通过优化热处理参数，减少能耗30%，生产周期缩短20%，成本降低18%。

3. 推广潜力：适用于汽车、船舶等领域轻量化需求，社会效益显著。

六、总结

本案例通过综合运用合金设计理论、真空熔炼技术、热轧与热处理工艺，成功解决了钛合金强塑倒置难题。关键在于：

1.

跨学科知识整合：结合材料热力学（相变点预测）、冶金动力学（析出行为控制）及加工工程（变形参数优化）。

2.

精准组织调控：通过温度时间冷却速率的系统优化，实现多尺度组织（ $\alpha_p + \alpha_s$ ）的协同强化。

3.

工程化验证：通过对比实验与实际工况测试，验证了方案的可靠性与经济性，为高性能钛合金的开发提供了普适性方法。

(二)取得的业绩(代表作)【限填3项,须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实,并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/ 授权或申 请时间等	刊物名称 /专利授权 或申请号等	本人 排名/ 总人 数	备注
一种高强高塑钛合金及其制备方法	发明专利申请	2024年08月16日	申请号：202411127235.7	2/8	
一种含铜医用钛合金及其制备方法	授权发明专利	2025年02月21日	专利号：ZL2024 11259065.8	4/7	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况

课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 88 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 85 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！	
申报人签名： 王运亭	

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： ☒ 优秀 ☐ 良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）： 年 3 月 21 日
申报材料 审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： ☐ 通过 ☐ 不通过（具体原因： ） 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）： 年 月 日

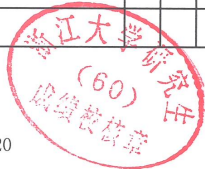
浙 江 大 学 研 究 生 院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260214	姓名：王运亭	性别：男	学院：工程师学院	专业：材料与化工	学制：2.5年						
毕业时最低应获：24.0学分			已获得：27.0学分		入学年月：2022-09	毕业年月：					
学位证书号：				毕业证书号：			授予学位：				
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	92	专业学位课	2022-2023学年冬季学期	材料现代研究方法与应用实践		2.0	89	专业选修课
2022-2023学年秋季学期	金属学原理与先进合金材料		2.0	89	专业选修课	2022-2023学年冬季学期	材料加工技术		2.0	88	跨专业课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	85	专业学位课	2022-2023学年秋冬学期	工程伦理		2.0	86	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语基础技能		1.0	76	公共学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	86	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	研究生论文写作指导		1.0	85	专业选修课	2022-2023学年夏季学期	工程师创新创业思维		2.0	96	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	95	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	88	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	研究生英语		2.0	80	专业学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	
2022-2023学年冬季学期	工程中的有限元方法		2.0	98	专业选修课						

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制，两级制（通过、不通过），五级制（优、良、中、及格、不及格）。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章：
成绩校核人：张梦依
打印日期：2025-03-20



证书号第7750277号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种含铜医用钛合金及其制备方法

专利权人：浙江大学

地址：310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

发明人：魏晓;马望辉;刘成;王运亭;丁青青;贝红斌;张泽

专利号：ZL 2024 1 1259065.8

授权公告号：CN 118773478 B

专利申请日：2024年09月10日

授权公告日：2025年02月21日

申请日时申请人：浙江大学

申请日时发明人：魏晓;马望辉;刘成;王运亭;丁青青;贝红斌;张泽

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119040692 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 29

(21) 申请号 202411127235.7

B82Y 30/00 (2011.01)

(22) 申请日 2024.08.16

B82Y 40/00 (2011.01)

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 魏晓 王运亭 刘成 金凯航

叶佳涛 丁青青 贝红斌 张泽

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

专利代理师 胡红娟

(51) Int.Cl.

C22C 14/00 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

C22C 1/03 (2006.01)

C22B 9/20 (2006.01)

权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种高强高塑钛合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高强高塑钛合金及其制备方法,该高强高塑钛合金的各组分含量(wt%)为Al:3.2%~4.2%,V:2.7%~3.3%,Mo:1.3%~2.1%,Fe:2.7%~3.3%,Cr:0.2%~0.7%,余量为Ti;该高强高塑钛合金的组织为在基体 β 相上均匀分布初生 α_p 相,所述 β 相的占比为60~70%。本发明公开的钛合金具有较高强度和塑性,满足了更为苛刻的工程化应用需求。

