

同行专家业内评价意见书编号: 20250856083

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: 刘傲

学号: 22260213

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05月17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)

在硕士研究期间，我系统学习并深入掌握了材料科学与工程专业的的基础理论知识。此外，还熟练掌握了专业技术知识，特别是在金属材料微观组织表征与性能分析方面，能够独立开展电子背散射衍射（EBSD）、扫描电子显微镜（SEM）及拉伸压缩性能测试等实验技术操作，具备数据分析与图像处理能力。在研究课题开展过程中，我熟悉并运用了晶粒取向分析、孪晶识别、位错密度分析等方法，同时具备材料变形机制和再结晶理论的深入理解和实际应用能力。这些理论与技术的综合应用，使我能够顺利完成本课题的研究工作，并具备了较为扎实的专业理论功底与实践技能基础，为后续的科研和工程实践奠定了坚实的基础。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

在研究生期间，我积极参与了锆合金织构改善技术以及锆合金带材微式样显微结构与力学性能的原位研究项目，积累了较为丰富的工程实践经验。在织构改善技术研究中，我针对锆合金在不同压缩及退火条件下的晶粒组织演变规律开展了大量实验，探索并确定了优化锆合金力学性能的关键工艺参数，成功实现了材料织构的有效调控，掌握了织构分析和改善的工程化方法。在锆合金带材微式样显微结构与性能的原位测试项目中，我熟练掌握了原位电子背散射衍射（EBSD）和力学加载设备的联用技术，系统研究了微式样在不同变形条件下的显微组织演化特征与力学响应关系。通过上述工程实践，我提高了独立解决复杂工程技术问题的能力，深化了对锆合金材料加工工艺与性能调控规律的认识。

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）

在攻读硕士学位期间，我参与了一项以“锆合金带材微式样显微组织与力学性能的原位研究”为主题的复杂工程项目，该项目旨在通过显微组织的调控改善锆合金带材的综合力学性能。整个研究过程中，我综合运用了材料科学基础理论、显微组织表征手段以及先进的原位测试技术，系统地解决了涉及材料加工工艺优化和微观机制探索的复杂工程问题。

项目初期，我们发现锆合金带材在特定的加载条件下表现出明显的各向异性问题，表现为沿轧制方向与垂直轧制方向横向的塑性和强度差异显著，严重影响了材料的可靠性和使用性能。为了解决该复杂工程问题，我首先从基础理论入手，深入分析了锆合金密排六方晶体结构所固有的各向异性特征，明确了孪晶与位错运动是导致这种性能差异的重要微观机制，并据此制定了合理的技术路线。

具体而言，我提出采用“压缩变形—

退火处理”组合技术，通过系统的离位压缩与后续精准的退火工艺调控，来改善锆合金带材显微组织的不均匀性及晶粒取向问题。在实施过程中，我系统设计了一系列压缩实验，选择适当的应变量施加到样品上，观察在不同压缩应变下晶粒组织的变化规律。利用原位电子背散射衍射（EBSD）技术，我实时跟踪了样品在不同压缩阶段的孪晶形成、生长及位错的分布变化，明确了位错滑移和孪晶机制的协同作用规律。通过大量实验数据的积累和细致的表征分析，我总结出了压缩变形过程中晶粒组织的变化趋势，并揭示了不同织构取向的晶粒在变形过程中的显微组织响应差异。

在压缩实验取得初步进展后，我进一步开展了退火研究，通过精确控制退火的温度（600° C）和保温时间（如10-

180分钟），探讨退火过程对显微组织与力学性能的具体影响。退火处理过程中，样品内高密度的位错逐渐回复消失，孪晶结构通过界面迁移及再结晶作用逐步转化为稳定的晶界，晶

粒尺寸趋于细化均匀，织构取向也得到了显著改善。我利用EBSD等先进材料表征技术，深入观察了退火前后材料晶粒的尺寸分布、晶界特征、位错密度变化及织构取向的演变规律。

为进一步验证压缩-

退火组合工艺对锆合金带材性能的优化效果，我通过拉伸试验系统评价了材料的力学性能。试验结果表明，经过适当压缩变形和退火处理的锆合金带材，其屈服强度与延展性均获得了明显提升。通过将显微组织演变规律与拉伸性能测试结果深入结合分析，我成功建立了组织结构—加工工艺—性能的关联模型，有效实现了材料性能的可控调节。

在整个研究过程中，我综合运用了金属材料加工工艺原理、显微组织调控理论、晶体塑性变形基础理论以及显微结构表征技术，系统解决了锆合金带材性能不均匀这一复杂工程问题，取得了预期的良好效果。通过该项目的实施，我进一步深化了对锆合金微观机制的理解，提升了将理论知识应用于实际工程技术难题的能力，也为高性能锆合金材料的进一步开发和应用提供了重要的理论与技术支撑。

(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
Formation mechanism of cross-boundary twin pairs during compression in an α -Zr alloy	TOP期刊	2025年03月05日	Materials Characterization	1/5	

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： 87 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： 1.1 年（要求1年及以上） 考核成绩： 84 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：刘毅	

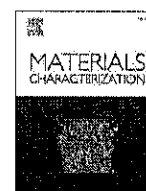
浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260213	姓名：刘傲	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
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	86	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	87	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	金属学原理与先进合金材料		2.0	91	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生英语基础技能		1.0	78	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	工程伦理		2.0	96	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	研究生论文写作指导		1.0	90	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	工程中的有限元方法		2.0	100	专业选修课
2022-2023学年冬季学期	材料现代研究方法与应用实践		2.0	95	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	高阶工程认知实践		3.0	78	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	88	专业学位课
2022-2023学年冬季学期	研究生英语		2.0	81	公共学位课
2022-2023学年春季学期	科技创新案例探讨与实战		2.0	87	专业选修课
2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	76	公共学位课
2022-2023学年春季学期	金属氢系统		2.0	85	跨专业课
2022-2023学年春季学期	硕士生读书报告		2.0	通过	

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：2025-06-03



Formation mechanism of cross-boundary twin pairs during compression in an α -Zr alloy

Ao Liu^{a,b}, Jiahao Li^{a,b}, Xianjue Ye^{a,d,*}, Yuefei Zhang^{a,c,*}, Ze Zhang^a

^a Institute of Superalloys Science and Technology, School of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

^b Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China

^c State Key Laboratory of Silicon and Advanced Semiconductor Materials, School of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

^d State Key Laboratory for Strength and Vibration of Mechanical Structures, School of Aerospace Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

ARTICLE INFO

Keywords:

Zirconium alloy
Schmid factor
Geometric compatibility
Twin pairs
Twin variants

ABSTRACT

The formation mechanisms of $\{10\text{--}12\}$ cross-boundary twin pairs (CBTPs) and the selection criteria of twin variants were systematically investigated in the present research. Ex-situ and quasi-in-situ compression tests along the rolling direction (RD) were conducted on Zr-4 alloy. The deformation mechanisms were analyzed by using the Schmid factor (SF) m and the geometric compatibility factor (GCF) m' . The results demonstrate that CBTPs are formed by both twin-assisted nucleation (TAN) and twin-independent nucleation (TIN) modes. The TAN mode includes twin transmission (TT) and synergistic nucleation (SN), while the TIN mode includes face-to-face growth, homodromous growth, and reverse growth. All TIN-CBTPs and most TAN-CBTPs select variants with high m ranks, but TAN-CBTPs also require high ranks of m' values to ensure compatibility between twins. However, certain TAN-CBTPs with the a -axis of the parent grain parallel to the RD exhibit twin variants with high m' ranks and low m ranks. Furthermore, an interesting phenomenon was observed: for grains that meet the conditions for TAN-CBTPs, the complex stress state generated at the common grain boundary (GB) by twins from two different parent grains fails to assist in the twinning of a third grain.

1. Introduction

Zirconium (Zr) alloys are characterized by their low thermal neutron absorption cross-sections, excellent corrosion resistance, and superior mechanical properties, making them the preferred materials for nuclear fuel cladding tubes and structural components in the nuclear industry [1–5]. Zr alloys have a hexagonal close-packed (HCP) crystal structure at room temperature, which has lower symmetry compared to cubic structures. This HCP configuration inherently provides a limited number of slip systems that are unevenly distributed. At room temperature, the prismatic $\langle a \rangle$ slip is the most commonly activated slip system to accommodate strain along the a -axis [6]. Conversely, the pyramidal $\langle c + a \rangle$ slip is critical for accommodating strain along the c -axis but it is challenging to activate in the initial stages of deformation [7–9]. However, twinning assists Zr alloys in accommodating strain along the c -axis in addition to slip [9–11]. Based on the strain conditions (tensile/compressive strain) experienced by the c -axis of the grains during deformation, the types of twins in Zr alloys can be categorized into tensile twins and compressive twins. Tensile twins include $\{10\text{--}12\}$

$\langle -1011 \rangle$ and $\{11\text{--}21\} \langle -1\text{--}126 \rangle$, which cause the lattice to rotate approximately 85.2° and 34.8° around the c -axis. Compressive twins include $\{11\text{--}22\} \langle -1\text{--}123 \rangle$ and $\{10\text{--}11\} \langle -1011 \rangle$, which rotate the lattice by approximately 64.2° and 57.1° around the c -axis, respectively [9,10,12–14]. Twinning significantly alters the texture of Zr alloys, leading to a more dispersed orientation. This change helps to reduce the anisotropy of Zr alloys and has a notable impact on their irradiation performance [15], mechanical properties [16,17], and corrosion resistance [18].

Many studies have been conducted to investigate the twinning in Zr alloys. It has been found that the twinning behavior during deformation is complex and the Schmid factor (SF) is an effective criterion for variant selection during twinning [19,20]. Since the SF represents the degree of applied stress resolving into shear stress on the twinning system, twin variants with high SF are preferentially nucleated during twinning [21,22]. However, twin variants with low SF may also appear as twin pairs in HCP-structured materials, indicating that the SF alone is insufficient for predicting variant selection in twins [23,24]. It has been reported that the driving force for twinning is not only the applied stress

* Corresponding authors.

E-mail addresses: yexianjue@zju.edu.cn (X. Ye), yfzhang76@zju.edu.cn (Y. Zhang).

<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2025.114914>

Received 16 December 2024; Received in revised form 17 February 2025; Accepted 6 March 2025

Available online 7 March 2025

1044-5803/© 2025 Published by Elsevier Inc.