

# 国家自然科学基金提名公示内容

(2020 年度)

## 一、项目基本情况

提名者	工业和信息化部
项目名称	钛合金及其复合材料组织调控与改性机理
主要完成人	耿林(哈尔滨工业大学), 黄陆军(哈尔滨工业大学), 彭华新(浙江大学), 崔喜平(哈尔滨工业大学), 李爱滨(哈尔滨工业大学)

## 二、提名意见

(适用于提名机构和部门)

提名者	工业和信息化部
<p>提名意见:</p> <p>我单位认真阅读了该项目推荐书及附件材料, 确认全部材料真实有效, 相关栏目均符合国家科学技术奖励办公室的填写要求。钛合金及其复合材料因具有轻质、高强、耐热等优点, 已成为航空、航天、国防等领域需求迫切且应用广泛的关键金属结构材料。本项目针对钛合金及其复合材料组织精确调控难而造成加工成本高、性能亟需进一步提升且对组织敏感性高的难题, 提出了组织调控新思想, 揭示了非连续增强钛基复合材料基体钛合金组织、钛基复合材料体系、增强相种类、增强相网状分布等组织调控机理, 及其成形性、强韧性、耐热性等改性机理。8 篇代表性论文总计被他引 1526 次, 其中单篇最高他引 348 次(始终处于 ESI 高被引状态), 获得了国内外学术界的广泛认可。应邀在 Springer 与国防工业出版社主编中英文专著 2 部, 参编专著 2 部。项目研究成果提出了钛合金及其复合材料组织调控理论模型与强韧化机理, 引领了金属基复合材料增强相分布调控研究方向, 巩固及提高了我国在金属基复合材料领域的地位, 达到了国际先进水平。基于上述学术成果已成功研制出航天发动机用气动格栅、涡轮泵壳体、耐热喷油管、高端紧固件等关键构件, 可实现减重约 45% 和打破其他国家的技术封锁与价格垄断。完成人耿林教授主持金属基复合材料领域唯一国家重点研发计划项目、黄陆军教授获得国家自然科学基金优秀青年项目资助、彭华新教授获得国家海外高层次人才引进计划资助。部分研究成果获得黑龙江省自然科学一等奖(2019 年)、二等奖(2012 年)、中国复合材料学会青年科学家奖(2019 年)等。</p> <p>提名该项目为国家自然科学基金 <u>二</u> 等奖</p>	

### 三、项目简介

(限 1 页)

钛合金及其复合材料因具有轻质、高强、耐热等优点，已成为航空、航天、国防等领域需求迫切且应用广泛的关键金属结构材料，是 600℃唯一可以采用的轻质金属结构材料。随着我国高超声速飞行器和高性能航空航天发动机的快速发展，对钛合金的各种性能提出了更高的要求，包括更好的室温力学性能、更高的耐热性能和更优的成型加工性能。本项目针对我国航天航空等领域对轻质耐热高强韧金属结构材料的重大战略需求，在国家重点研发计划项目、863 课题、973 课题、国家自然科学基金项目等资助下，经过 20 年的潜心研究和攻关，在钛合金组织调控规律与成形加工性能改善机理、钛基复合材料体系设计、原位自生增强相优化和混杂增强相的强化机制、钛基复合材料准连续网状结构增强相分布精确调控、强韧化机制和耐热机理等三方面取得了具有原创性的理论与技术基础研究成果。主要科学发现包括：

一、基于数值模拟理论预测与形变热处理改性技术，开发了钛合金粗大魏氏组织调控为等轴、双态、网篮等组织形态的精确调控方法，阐明了一步热变形结合两步热处理魏氏组织等轴化机制，同时构建了流变应力模型与热加工图，优化了钛合金热成形工艺，实现了高温钛合金复杂盘类构件的高质量成形，并揭示了等轴组织钛合金的成形性改善机理。

二、基于原位反应自生技术，建立了粉末冶金法合成钛合金中非连续增强相种类、尺寸、混杂增强相相对含量等精确调控理论，阐明了原料配比-制备参数-组织性能-成形工艺的关系，发现了 TiB 晶须与 TiC 颗粒异种增强相原位共生现象并揭示了共生机制，优化了粉末冶金非连续增强钛基复合材料体系，揭示了混杂增强相优异的强化机理。

三、基于 Hashin-Shtrikman(H-S)理论，创新性地提出了钛基复合材料准连续网状结构增强相分布方式精确调控新思路与新方法，从根本上解决了粉末冶金钛基复合材料脆性大的国际性瓶颈问题，阐明了网状结构与梯度界面的组织形成机理，优化了网状结构组织参数，建立了微观非均匀网状结构复合材料理论模型，完善了网状结构设计制备基本理论，揭示了网状结构优异的耐热与强韧化机理，攻克了大尺寸坯料与构件的稳定制备与成形加工技术，为其它金属基复合材料设计提供了实验与理论支撑，引领了复合材料增强相分布调控研究方向。

该项目 8 篇代表性论文总计被 *Progress in Materials Science*、*Nature Communication*、*Acta Materialia* 等期刊总他引 1526 次，其中单篇最高他引 348 次(始终处于 ESI 高被引状态)。应邀在 Springer 与国防工业出版社主编中英文专著 2 部，参编专著 2 部。研究思想被美国国家工程院 Robert O. Ritchie 院士、美国材料研究学会 Amiya K. Mukherjee 会士、美国粉末材料学会主席 Khaled Morsi 教授、中国工程院徐滨士院士、才鸿年院士、傅恒志院士等国内外权威专家和同行公认并被广泛引用、借鉴，且高度评价了项目组提出的组织调控新方法与改性机理。在国际国内学术会议上应邀做大会报告/特邀报告 50 余次。完成人耿林教授主持金属基复合材料领域唯一国家重点研发计划项目、黄陆军教授获得国家自然科学基金优秀青年项目资助、彭华新教授获得国家海外高层次人才引进计划资助。部分研究成果获得黑龙江省自然科学奖一等奖(2019年)、二等奖(2012年)、中国复合材料学会青年科学家奖(2019年)等。

#### 四、代表性论文专著目录(不超过8篇)

序号	论文(专著)名称/刊名/作者	年卷页码(XX年XX卷XX页)	发表时间(年月日)	通讯作者(含共同)	第一作者(含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是否包括国外单位
1	Characteristics of Hot Compression Behavior of Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si Alloy with an Equiaxed Microstructure/Materials Science and Engineering A/L.J. Huang, L. Geng, A. B. Li, X. P. Cui, H. Z. Li, G. S. Wang	2009年 505卷 136-143页	2009年 4月15日	L. Geng	L.J. Huang	黄陆军, 耿林, 李爱滨, 崔喜平, 李昊泽, 王桂松	133	SCI-E SCOP US CNKI	否
2	Hot Working of Ti-6Al-3Mo-2Zr-0.3Si Alloy with Lamellar $\alpha+\beta$ Starting Structure Using Processing Map/Materials and Design/A.B. Li, L.J. Huang, Q. Y. Meng, L. Geng, X. P. Cui	2009年 30卷 1625-1631页	2009年 5月	A.B. Li	A.B. Li	李爱滨, 黄陆军, 孟庆元, 耿林, 崔喜平	218	SCI-E SCOP US CNKI	否
3	In-situ Ti-TiB Metal-Matrix Composite Prepared by a Reactive Pressing Process/ Scripta Materialia/Z.Y. Ma, S.C. Tjong, L. Gen	2000年 42卷 376-373页	2000年 1月31日	Z.Y. Ma	Z.Y. Ma	马宗义, 张世振, 耿林	276	SCI-E SCOP US CNKI	否
4	Effect of B4C Particle Size on	2006年 55卷	2006年 9月	D.R. Ni	D.R. Ni	倪丁瑞, 耿	126	SCI-E SCOP	否

	Microstructure of In Situ Titanium Matrix Composites Prepared by Reactive Processing of Ti-B4C System/Scripta Materialia/D.R. Ni, L. Geng, J. Zhang, Z.Z Zheng	429-432 页				林, 张杰, 郑镇洙		US CNKI	
5	<i>In-situ</i> (TiBw+TiCp)/Ti6 Al4V Composites with a Network Reinforcement Distribution/ Materials Science and Engineering A/L.J. Huang, L. Geng, H.X. Peng	2010 年 527卷 6723-6727页	2010年 9月25 日	L. Geng	L.J. Huang	黄陆军, 耿林, 彭华新	129	SCI-E SCOP US CNKI	是
6	Microstructurally Inhomogeneous Composites: Is a homogeneous reinforcement distribution optimal? /Progress in Materials Science/L.J. Huang, L. Geng and H.X. Peng	2015 年 71 卷 93-168 页	2015年 6月	L.J. Huang, H.X. Peng	L.J. Huang	黄陆军, 耿林, 彭华新	348	SCI-E SCOP US CNKI	否
7	In situ TiBw/Ti-6Al-4V Composites with Novel Reinforcement Architecture Fabricated by Reaction Hot Pressing/ Scripta Materialia/L.J. Huang, L. Geng, A.B. Li, F.Y. Yang,	2009 年 60卷 996-999 页	2009年 6月	L. Geng	L.J. Huang	黄陆军, 耿林, 李爱滨, 杨富尧, 彭华新	191	SCI-E SCOP US CNKI	是

	H.X. Peng								
8	<i>In situ</i> TiC Particles Reinforced Ti6Al4V Matrix Composite with a Network Reinforcement Architecture/Materials Science and Engineering A/L.J. Huang, L. Geng, H.Y. Xu, H.X. Peng	2011 年 528 卷 2859-2862页	2011年 3月15 日	L. Geng	L.J. Huang	黄陆军, 耿林, 许宏宇, 彭华新	105	SCI-E SCOP US CNKI	是
合计							1526		