2021年度山东省科学技术进步奖提名书的情况

1. 项目名称：高性能钛基复合材料短流程制备及其高端紧固件智能制造关键技术
2. 提名单位意见：

提名单位：烟台市科学技术局；通讯地址：山东烟台莱山区海普路8号；联系人：王增福；联系电话：0535-6786622

我单位认真阅读了本项目推荐材料，确认推荐材料真实有效，确认完成人、完成单位排序无异议，确认相关栏目符合填写要求。

本项目基于航空航天、交通运输等领域中重大工程对轻质、高效能、高服役温度的材料迫切需求及钛基复合材料的轻质、耐高温、高强韧的特性，着力解决钛基复合材料的室温脆性大、难塑性变形、成本昂贵、高温金属界面弱化的瓶颈问题，创设了最具价值的低成本的韧化结构，实现了非均匀增强相空间分布及特征的可控制备，极大提高了其强度水平和服役温度；基于温度场与力场、微观与宏观、结构与性能协同耦合作用研发了适于近净成形的短流程制备技术，形成了高成品率、低成本、高效率、规模化、成形与成性一体化制备技术；自主设计了一系列高端紧固件，攻克了头部连续墩挤、全自动真空水淬、超精密螺纹成型等生产技术难点，突破了国外技术封锁，深度融合了生产流程柔性智能管理与智能检测系统，充分满足了高标准、高质量的生产要求与小批量、多批次的生产现状，完美实现了超精密钛基复合材料紧固件“智能”制造，在国际竞争中处于领先水平，全方位助力航空航天核心部件国产化，深层次推动国内钛基复合材料产业升级。

本项目成果获得授权发明专利5项，实用新型1项，软件著作权2项，发表SCI论文2篇，通过了相关项目验收3项。项目研发产品已应用于国产C919、ARJ21、CR929、神州飞船、天宫二号、航空航天发动机和长征系列火箭等重大工程中。近3年累计实现销售收入2.53亿元，共缴税款701万元，净利润2099万元，经济社会效益显著。

提名该项目为山东省科学技术进步奖二等奖。

1. 项目简介：

项目属于金属基复合材料、塑性加工工艺与设备学科。

一、项目背景

着眼于航空航天、交通运输等领域技术升级与转型对轻质、耐高温、高强韧型材的重大需求，钛基复合材料因其低密度、耐高温、高比强度、高比刚度等特性，被用来替代传统材料并被认为是提高力学性能、降低重量、提高效能的最佳候选材料。针对于其室温脆性大、难塑性加工、高温金属界面弱化、成本昂贵等难题，研发了最具价值的高塑性复合材料，设计了低成本的韧化结构，基于原位自生增强体非均匀调控技术，获得了理想增强相空间分布及特征的韧化结构，极大提高了其强度水平和服役温度。聚焦于高性能、高效率、规模化制备钛基复合材料的需要，研发了适于近净成形的短流程制备技术，借助于强塑变致密工艺，完美实现了温度场与力场、微观与宏观、结构与性能协同耦合作用，形成了高成品率、低成本、成形与成性一体化制备技术，对推动钛基复合材料的应用具有非常重大的意义，还将对其它金属基复合材料具有重大的指导与借鉴意义。在航空航天紧固件国外技术封锁与核心部件国产化背景下，自主设计了一系列高端紧固件，攻克了头部连续墩挤、全自动真空水淬、超精密螺纹成型等生产技术难点，突破了国外技术封锁，实现了紧固件的超精密、大规模制造。面对航空航天领域大发展和世界格局变化，在高标准、高质量的生产要求与小批量、大批次的应用现状下，深度融合了生产流程柔性智能管理与智能检测系统，实现了钛基复合材料紧固件“智能”制造，在国际竞争中处于领先水平，全方位助力航空航天核心部件国产化，深层次推动国内钛基复合材料产业升级。

二、主要创新点

**（1）高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术**

创新设计了增强相“三维梯度”的韧化结构，攻克了增强相空间分布与特征的可控制备技术，解决了室温脆性大的技术瓶颈，获得了高塑性钛基复合材料，同时提高了其强度水平和服役温度，丰富了增强相可控分布理论，对其它金属基复合材料具有重大的指导与借鉴意义。

**（2）高性能钛基复合材料短流程制备技术**

基于温度场与力场的协同耦合作用，研发出粉体短时烧结+控温强塑变短流程制备技术，突破塑性加工成形的技术瓶颈，实现了成品率高、成形与成性一体化制备，大幅度提高了钛基复合材料的强韧性和成型性，规模化生产出高性能、高质量的产品，显著拓宽了应用领域。

**（3）高端钛基复合材料紧固件智能制造技术**

自主设计了以高锁螺栓为代表的系列高端钛基复合材料紧固件，针对性攻克了头部连续镦挤、全自动真空水淬、超精密螺纹成型等生产技术难点，实现了紧固件超精密批产制造，突破了国外技术封锁。着眼于紧固件高标准、高质量生产要求和多品种、小批量的应用需求，深度融合了智能调度与检测系统，自诊断闭环运行调整生产工序和检测，完美实现了高质量产品的柔性生产。

三、获得的项目成果

验收科技成果3项，授权发明专利5项、实用新型1项、软件著作权2项，发表SCI论文2篇。

四、技术经济指标

钛基复合材料室温Rm 1216MPa、延伸率A 13.5%；500℃时Rm 980MPa、延伸率A10%。

紧固件产品抗拉强度大于1300MPa，抗拉载荷、双剪切载荷、高频疲劳等指标符合GJB71523A-2008标准要求。

五、应用推广效益情况

项目研发的高性能钛基复合材料短流程及其高端紧固件智能化制造技术，已形成了烧结成形构件及高端紧固件产品，产品与生产环节已通过民用航空要求的质量体系认证AS9100D & NADCAP，军工产品质量体系认证GJB9001C、保密三级认证，以及其他资质ISO17025，ISO14001 & ISO18001等，其性能满足材料高强韧的需求和质量稳定的要求，在航空航天、交通运输、国防军工等多个领域实现成果转化，近3年期间，为企也累计增加销售收入2.53亿元，净利润2099万元，经济效益显著。项目研发产品已应用于国产C919、ARJ21、CR929、神州飞船、天宫二号、航空航天发动机和长征系列火箭等重大工程中。已发展成为高性能钛基复合材料短流程制备及其高端紧固件智能制造技术，突破了国外技术封锁，处于国内领先水平，有效拓宽了钛基复合材料的应用领域，并推动我国钛基复合材料产业结构升级、优化及相关领域产业技术提升。

4主要知识产权证明目录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权名称 | 知识产权类别 | 发明人 | 知识产权人 | 授权号 | 取得日期 | 国（区）别 | 发明专利有效状态 |
| 1 | 一种高塑性钛基复合材料制备方法 | 发明专利 | 崔国荣、陈文振、张文丛、杨建雷 | 哈尔滨工业大学（威海） | ZL201811619408.1 | 2020-10-02 | 中国 | 授权 |
| 2 | 准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法 | 发明专利 | 张文丛、陈文振、杨建雷、于洋、冯养巨 | 哈尔滨工业大学（威海） | ZL201410541654.5 | 2016-10-19 | 中国 | 授权 |
| 3 | 轻型螺栓紧固件、其加工方法与模具 | 发明专利 | 李顺安、高慎金、王晓亮、李建华 | 东方蓝天钛金科技有限公司 | ZL201310569562.3 | 2015-09-30 | 中国 | 授权 |
| 4 | 复合钛粉与钛基复合材料及其制备方法 | 发明专利 | 张文丛、崔国荣、杨博 | 哈尔滨工业大学（威海） | ZL201510750829.8 | 2017-08-04 | 中国 | 授权 |
| 5 | 一种自动限位防松脱紧固件 | 发明专利 | 申庆援、王晓亮、潘彦霖、张志成、孙凯 | 东方蓝天钛金科技有限公司 | ZL201611255863.9 | 2018-11-02 | 中国 | 授权 |
| 6 | 一种开槽式托板自锁螺母 | 实用新型 | 申庆援、洪俊杰、孙凯、高超、贾东华 | 东方蓝天钛金科技有限公司 | ZL201822250458.9 | 2019-08-20 | 中国 | 授权 |
| 7 | 蓝天钛合金紧固件超精密螺纹成型控制系统V1.0 | 软件著作权 |  | 东方蓝天钛金科技有限公司 | 2012SR034226 | 2012-05-02 | 中国 | 授权 |
| 8 | 蓝天高精度钛合金零部件切削精度控制系统V1.0 | 软件著作权型 |  | 东方蓝天钛金科技有限公司 | 2012SR034231 | 2012-05-02 | 中国 | 授权 |
| 9 | Influence of TiBw volume fraction on microstructure and high-temperature properties of in situ TiBw/Ti6Al4V composites with TiBw columnar reinforced structure fabricated by pre-sintering and cannedextrusion | SCI论文 | Wenzhen Chen, Jianlei Yang, Wencong Zhang, Mengmeng Wang, Dandan Du, Guorong Cui | 哈尔滨工业大学（威海） | 10.1016/j.apt.2017.06.016 | 2017-07-01 |  |  |
| 10 | Grain Refinement of Ti-15Mo-3Al-2.7Nb-0.2Si Alloy with the Rotation of TiB Whiskers by PowderMetallurgy and Canned Hot Extrusion | SCI论文 | Jiabin Hou，Lin Gao, Guorong Cui, Wenzhen Chen , Wencong Zhang，,Wenguang Tian | 哈尔滨工业大学（威海）；山东交通学院；东方蓝天钛金科技有限公司 | doi:10.3390/met10010126 | 2020-01-15 |  |  |

1. 主要完成人情况（姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献）

（1）张文丛：第一完成人，1971年12月生，威海校区副校长，正高/教授职称，现工作于哈尔滨工业大学（威海），完成单位哈尔滨工业大学（威海），2013年起至今参与本项目研发。对该项目《主要科技创新》栏中所列第1、2和3项创新做出了创造性贡献。其中对创新点1中的高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术做出了贡献，旁证是授权发明专利—《一种高塑性钛基复合材料制备方法》，第3位，见附件1；发明专利—《准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》，第1位，见附件2；发明专利—《复合钛粉与钛基复合材料及其制备方法》，第1位，见附件4；论文—Influence of TiBw volume fraction on microstructure，第3位，附件9；论文- Grain Refinement of第5位，附件10；对创新点2中的高性能钛基复合材料短流程制备技术做出了贡献，旁证为授权发明专利—准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》，第1位，见附件2；论文—Influence of TiBw volume fraction on microstructure，第3位，附件9；论文- Grain Refinement of第5位，附件10；对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证为项目验收结论—国家高技术研究发展计划（863计划），第1位，见附件11；项目验收结论—山东省重点研发计划（重大关键技术），合作单位第2位，见附件12；项目验收结论—山东省科技重大专项（军民科技融合）项目验收意见，第4位，见附件13。

（2）陈文振：第二完成人，1985年12月生，副高/副教授职称，现工作于哈尔滨工业大学（威海），完成单位哈尔滨工业大学（威海），2013年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第1、2和3项创新做出了创造性贡献。其中对创新点1中的高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术做出了贡献，旁证是授权发明专利—《一种高塑性钛基复合材料制备方法》，第2位，见附件1；发明专利—《准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》，第2位，见附件2；论文—Influence of TiBw volume fraction on microstructure，第1位，附件9；论文- Grain Refinement of第5位，附件10；对创新点2中的高性能钛基复合材料短流程制备技术做出了贡献，旁证为授权发明专利—准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》，第1位，见附件2；论文—Influence of TiBw volume fraction on microstructure，第3位，附件9；论文- Grain Refinement of第4位，附件10；对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证为—山东省重点研发计划（重大关键技术），合作单位第1位，见附件12。

（3）申庆援：第三完成人，1966年2月生，副总经理兼总工程师，高级工程师，现工作于东方蓝天钛金科技有限公司，完成单位东方蓝天钛金科技有限公司，2013年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第3项创新做出了创造性贡献。

对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证为授权发明专利《一种自动限位防松脱紧固件》，第1位，见附件5；实用新型专利《一种开槽式托板自锁螺母》，第1位，见附件6；项目验收结论—山东省科技重大专项（军民科技融合）项目验收意见，第1位，见附件13。

（4）崔国荣：第四完成人，1980年10月生，副高/副教授职称，现工作于哈尔滨工业大学（威海），完成单位哈尔滨工业大学（威海），2013年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第1、2和3项创新做出了创造性贡献。其中对创新点1中的高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术做出了贡献，旁证是授权发明专利—《一种高塑性钛基复合材料制备方法》，第1位，见附件1；发明专利—《复合钛粉与钛基复合材料及其制备方法》，第2位，见附件4；论文—Influence of TiBw volume fraction on microstructure，第6位，附件9；论文- Grain Refinement of第3位（通讯），附件10；对创新点2中的高性能钛基复合材料短流程制备技术做出了贡献，旁证为论文—Influence of TiBw volume，第6位，附件9；论文- Grain Refinement of第3位（通讯），附件10；对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证为项目验收结论—国家高技术研究发展计划（863计划），第21位，见附件11。

（5）杨建雷：第五完成人，1986年9月生，中级/讲师职称，现工作于哈尔滨工业大学（威海），完成单位哈尔滨工业大学（威海），2013年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第1、2和3项创新做出了创造性贡献。其中对创新点1中的高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术做出了贡献，旁证是授权发明专利—《一种高塑性钛基复合材料制备方法》，第4位，见附件1；发明专利—《准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》，第3位，见附件2；论文—Influence of TiBw volume，第2位，附件9；对创新点2中的高性能钛基复合材料短流程制备技术做出了贡献，旁证为授权发明专利—准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》，第3位，见附件2；论文—Influence of TiBw volume，第2位，附件9；对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证为项目验收结论—国家高技术研究发展计划（863计划），第29位，见附件11。

（6）田文广：第六完成人，1969年2月生，党总支副书记，经济师，现工作于东方蓝天钛金科技有限公司，完成单位东方蓝天钛金科技有限公司，2013年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第1、2和3项创新做出了创造性贡献。其中对创新点1中的高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术做出了贡献，对创新点2中的高性能钛基复合材料短流程制备技术做出了贡献，论文- Grain Refinement of第6位，附件10；项目验收结论—山东省重点研发计划（重大关键技术），第4位，见附件12；对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证为项目验收结论—国家高技术研究发展计划（863计划），第6位，见附件11；项目验收结论—山东省重点研发计划（重大关键技术），第4位，见附件12；项目验收结论—山东省科技重大专项（军民科技融合）项目验收意见，第5位，见附件13。

（7）侯甲彬：第七完成人，1990年10月生，中级/讲师职称，现工作于山东交通学院，完成单位哈尔滨工业大学（威海），2016年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第1和2项创新做出了创造性贡献。其中对创新点1中的高塑性钛基复合材料韧化结构原位自生增强体非均匀调控技术做出了贡献，旁证为论文— Grain Refinement of第1位，附件10；对创新点2中的高性能钛基复合材料短流程制备技术做出了贡献，旁证为论文— Grain Refinement of第1位，附件10。

（8）洪俊杰：第八完成人，1992年12月生，研发部副部长，助理工程师，现工作于东方蓝天钛金科技有限公司，完成单位东方蓝天钛金科技有限公司，2016年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第3项创新做出了创造性贡献。

其中对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证实用新型专利《一种开槽式托板自锁螺母》，第2位，见附件6；项目验收结论—山东省重点研发计划（重大关键技术），第22位，见附件12。

（9）王晓亮：第九完成人，1985年8月生，总经理业务助理，工程师，现工作于东方蓝天钛金科技有限公司，完成单位东方蓝天钛金科技有限公司，2016年起至今参与本项目研发。本人对该项目《主要科技创新》栏中所列第3项创新做出了创造性贡献。对创新点3中的高端钛基复合材料紧固件智能制造技术做出了贡献，旁证授权专利《轻型螺栓紧固件、其加工方法与模具》第3位，见附件3；授权专利《一种自动限位防松脱紧固件》第2位，见附件5。

6. 主要完成单位情况

1. 东方蓝天钛金科技有限公司：央企，山东烟台。

1.科技创新的贡献：东方蓝天钛金科技有限公司是中国航天科技集团公司旗下一家集钛基复合材料研发及制备、航空航天高端紧固件及结构件研发、生产与检测为一体的现代化高新技术企业。基于2011年11月成立航空航天新型材料应用及紧固件产业战略联盟，该联盟2012年3月26日正式荣列山东省第三批产业技术创新战略示范联盟（鲁科政字 [2012] 50号）。为了响应国家科技部对于产、学、研联合推动高新技术创新与产业发展的号召，加强对国产大飞机（C919/ARJ21）和航天型号（天宫系列、神舟系列、嫦娥系列飞船及北斗导航卫星）的产业配套与科技支撑力度的战略部署。以紧固件国产化作为突破口，带动钛基复合材料在航空航天的深入应用，以联盟为平台，推进合作深化与多元化，逐步形成覆盖金属原材料研制、生产；紧固件研制、生产、检测、应用上下游企业的“产业聚合体”，以核心辐射、链式运作、平台交流、联盟合作的形式，打造先进金属材料及应用的产业与技术高地。2010年以来，公司已获授权专利44项（其中发明专利5项），软件著作权6项，制定企业标准7份，获批山东省企业技术中心。公司先后承担国家高技术研究发展计划（863计划）1项，山东省重点研发技划（重大关键技术）1项，山东省科技重大专项（军民科技融合）1项，其中山东省重点研发计划（重大关键技术）项目综合绩效评价意见为优秀。

2.推广应用情况的贡献：公司坚持创新驱动与科技研发投入，项目研发的高性能钛基复合材料短流程及其高端紧固件智能化制造技术，已形成了烧结成形构件及高端紧固件产品，其性能满足材料高强韧的需求和质量稳定的要求，在航空航天、交通运输、国防军工等多个领域实现成果转化。近3年期间，为企业累计销售收入2.53亿元，净利润2099万元，实现税金701 万元，经济效益显著。公司通过了民用航空要求的质量体系认证AS9100D & NADCAP，军工产品质量体系认证GJB9001C、保密三级认证，以及其他资质ISO17025，ISO14001 & ISO18001等。在本项目中获得授权发明专利2项，实用新型1项，软件著作权2项，发表SCI学术论文1篇。

（2）哈尔滨工业大学（威海）：事业单位，山东威海

1.科技创新的贡献：哈尔滨工业大学（威海）是山东省航空航天新型材料应用及紧固件产业战略联盟成员单位。近年来，聚焦于航空航天、交通运输等领域技术升级与转型对轻质、耐高温、高强韧钛材的重大需求，以高性能钛基复合材料短流程制备技术为核心，解决制约钛基复合材料轻体构件塑性加工生产、高温金属界面弱化、成本昂贵的瓶颈问题，为下游军工和民用产品的制造提供满足结构性/功能性需求的高性能材料及其轻体构件，以期充分发挥钛基复合材料轻质、耐高温、高强韧的特性，助推国家钛基复合材料精深加工产业的发展。2013年至今承担国家高技术研究发展计划（863计划），山东省重点研发技划（重大关键技术）、国家自然科学基金、航天科技创兴基金、山东省科技重大专项、山东省科技发展计划等科研项目十余项，发表相关论文20 余篇。

2.推广应用情况的贡献：课题研究成果填补了多项国内空白，并形成多项高塑性、高性能短流程制备共性专利技术如《一种高塑性钛基复合材料制备方法》、《复合钛粉与钛基复合材料及其制备方法》、《准连续网状结构TiBw/Ti6Al4V复合材料棒材的制备方法》等。上述多年研究工作积累，特别是在高塑性钛基复合材料、高性能钛基复合材料短流程制备的研究积累，为技术的产业化转化提供了充分支撑，与省内航空航天用高端紧固件生产的领军企业开展产学研合作，提供技术服务和研发支撑，实施钛基复合材料新技术的产业化并取得显著国防、经济与社会效益。

在本项目中获得授权发明专利3项，发表SCI学术论文2 篇。