

湖南省技术发明奖推荐书

(2018 年度)

一、项目名称

航空装备难加工材料的高效低损伤加工关键技术与应用

二、推荐单位意见

航空装备是《湖南省加快培育和发展战略性新兴产业总体规划纲要》明确提出做强做优的 7 大类产品之一，航空装备核心零部件的高效低损伤加工关键技术是《中国制造 2025》工业强基工程所明确指出的重点发展领域。湘潭大学联合湘潭三峰数控机床股份有限公司开展相关领域的技术创新，在“高效低损伤磨削与切削加工技术、增减材再制造修复技术”等方面取得了丰硕成果，新增销售收入 1.47 亿元，新增利润 1443 万元，获得用户的一致好评。属于原创性成果，具有重要的理论意义和工程应用价值，项目整体水平达到国内领先水平。项目进行期间已获授权国家发明专利 5 项，在权威期刊上发表研究论文 30 余篇；相关技术成果及推广应用，有效缓解了我国航空装备核心零部件的加工技术瓶颈，对推动我国航空装备制造水平的提升具有十分重要的意义。同意推荐该项目申报湖南省技术发明奖二等奖。

三、项目简介

《中国制造 2025》规划了 5 大工程，工业强基工程就是其中之一，明确提出了要加强航天装备核心基础零部件（元器件）和关键基础材料的先进制造工艺的自主研发与推广应用。《湖南省加快培育和发展战略性新兴产业总体规划纲要》明确提出做强做优先进装备制造产业，其中航空航天装备是重点发展的 7 大类产品之一。

镍基高温合金、钛合金、陶瓷等难加工材料，因其具有高强度、耐高温、耐疲劳等优异性能而广泛应用于航空装备的核心零部件，航空装备不仅要求核心零部件具有极高的可靠性，而且对其加工质量提出了更高的要求。然而其优良的物理与力学性能也给航空装备核心零部件的后续制造加工带来了新的挑战。其关键技术难点

主要包含：难点一：材料强度高与导热性差，切削与磨削加工温度高；难点二：现有冷却技术的冷却效果差，加工损伤大，影响产品服役寿命与性能稳定性；难点三：加工精度与效率低，产品制造周期长，制造成本高。如何降低镍基高温合金、钛合金、陶瓷等难加工材料的加工损伤是我国航空装备制造所面临的主要困难之一。自2008年以来，项目组先后承担了3项国家自然科学基金项目、2项省科技厅项目，围绕航空装备核心零部件难加工材料的加工工艺与技术创新取得了一系列的创新成果。

(1) 织构化砂轮制备与磨削技术。针对镍基高温合金磨削温度高、磨削损伤严重的问题，采用金刚石纤维工具实现砂轮表面形貌织构化，减少加工区域的摩擦面积，并有利于磨削液对磨削区内部的进行降温，降低了航空装备关键零部件高效磨削时的加工损伤。相关技术取得1项发明专利授权。

(2) 织构化刀具的高效制备与切削技术。为降低航空装备导热性差难加工材料切削区域的温度，采用织构模压成型工艺制备了表面织构化硬质合金刀片，并结合刀具涂层技术制备了织构化涂层刀具。刀具表面的织构形貌有助于冷却液渗入切削区，降低了切削区域的温度，降低了航空装备零部件切削加工的热损伤。相关技术取得2项发明专利授权。

(3) 航空装备核心零部件的增减材修复技术与工艺。针对航空装备核心零部件在服役后的磨损问题，基于机器视觉技术与增减材复合修复技术，实现了航空装备核心零部件的高效、精密再制造与修复。相关技术取得2项发明专利授权。

通过本项目研究，掌握了航空装备核心零部件用难加工材料的精密、高效低损伤加工核心技术，完成了具有自主知识产权的高效、低损伤加工工艺工具与装备的研制。项目实现了工程示范应用，基本解决了航空装备核心零部件高效加工时的损伤问题，提升了我国航空装备核心零部件的精密加工技术与装备的创新和自主研发能力。项目研究的技术与工艺已授权发明专利5项，与国内外同类技术与产品相比，项目整体水平达到国内领先水平。研究成果已应用于三峰数控机床有限公司、株洲精工硬质合金有限公司、湖南法泽尔再制造动力有限公司等企业推广应用，新增销售额1.47亿元，新增利润1443万元。

四、 客观评价

（1）行业协会评价意见

航空发动机的主要组成部分都包含机匣结构，包括压气机、燃烧室、涡轮等，这些机匣外面还要连接非常复杂的排气管道、油路管道、冷却管道等结构，并且现代航空发动机机匣大多为薄壁设计，这类结构特征使得其在恶劣工作环境下容易局部受损。如何充分发挥数控加工和再制造的潜能，以提高机匣、主轴等关键零件的再制造加工精度和效率，延长其使用寿命是当前研究的一个重点。2018年4月，湖南省再制造联盟对本项目取得的成果给予充分肯定：项目团队在机匣等航空关键零件高效低损伤再制造的研究和推广应用方面居于国内领先水平，对提升我国钛合金、陶瓷等难加工材料的高效再制造技术水平具有重要促进作用，为我国航空发动机产业的快速发展作出了重要贡献，已经达到国际先进水平。

（2）同行专家评价意见

项目成果得到多个镍基高温合金、钛合金、陶瓷等难加工材料制造领域知名专家的高度评价，某些技术成果也得到了同行课题组的关注和借鉴。

1) 湖南大学周志雄教授认为：叶片、主轴、叶盘、机匣等部件作为航空发动机关键部件，长期处在高温、高压、高转速及高负荷环境，成为工况最为恶劣的航空零部件，加工质量要求极高，对现有技术的高效低损伤加工性能进行提标改造具有重要的理论研究价值和国防战略前景。项目团队在镍基高温合金、钛合金、陶瓷等难加工材料高效低损伤加工的研究和推广应用方面取得了显著进步，相关设计和制造技术居于国内领先水平，并达到国际先进水平，促进了我国航空核心零件高效低损伤制造技术的发展，为我国航空事业的发展作出了重要贡献。

2) 中南大学黄明辉教授认为：镍基高温合金、钛合金、陶瓷等难加工材料的制造及其相关技术属于西方国家对我国严密封锁的核心技术之一，如叶盘、机匣等是航空发动机关键零件，制造量占整机制造量的三分之一以上。此类航空核心零件属于易变形零件，如何控制加工过程中的热变形和热损伤，实现高效率、高质量的加工是目前航空领域的重要课题之一。项目团队在航空装备难加工材料高效低损伤加工研究和推广应用方面居于国内领先水平，达到国际先进水平，为我国航空事业的提升作出了重要贡献。

3) 湖南科技大学邓朝晖教授认为：湘潭大学与湘潭三峰数控机床有限公司、株洲精工硬质合金有限公司通过产学研合作，在航空装备关键零部件用镍基高温合金、

钛合金、陶瓷等材料的高效低损伤加工方面开展了卓有成效的研究工作，取得了一系列的发明专利与创新成果，在降低镍基高温合金磨削损伤、改善钛合金切削加工时的刀具磨损与粘刀方面效果显著。项目团队在航空装备难加工材料高效低损伤加工技术研究和推广应用方面达到国内领先水平，达到国际先进水平，为我国航空装备制造制造业的发展与加工技术进步作出了重要贡献。

（3）用户评价意见

1) 湘潭三峰数控机床有限公司针对传统砂带抛光效率低、工艺稳定性差的问题，在其新开发的航空发动机叶片复合加工专用机床上先后采用了本项目中的结构化砂轮制备工艺及其磨削技术、结构化刀具高效制备工艺及其切削技术。三峰公司认为：采用该系列技术后，可以有效降低镍基高温合金、钛合金、陶瓷等材料表面加工区域的温度，减少热变形误差和粘刀问题，显著地提高了切削/磨削的加工效率，降低了加工损伤，获得了更好加工精度，得到其出口单位的一致好评。

2) 株洲精工硬质合金有限公司利用结构化砂轮制备工艺、结构化刀具高效制备工艺开发出新的硬质合金刀具产品。株洲精工硬质合金有限公司认为：采用该技术后，获得了优良的新硬质合金刀具产品，拓展了硬质刀具的应用领域，增加了新的客户。

3) 湖南法泽尔再制造动力有限公司对主轴、机匣航空装备零部件的增减材修复技术与工艺表现出极大的兴趣，在合作期间，他们发现无需换刀机械手即可通过控制系统很快捷地实现航空难加工零件的增减材制造，并有效提高加工效率以及保证复杂零件加工精度，已经获得一些客户的订单需求，研制的再制造机床得到用户单位的高度好评。

五、推广应用情况、经济效益、社会效益和生态效益

1. 推广应用情况

项目的实施形成了一套完善的提高航空难加工零件的高效低损伤制造技术及方法，2015 年完成了集成相关技术数控机床样机的研制和镍基高温合金、钛合金、陶瓷等航空零件的加工试验，同年 12 月，相关技术成果最先应用于湘潭三峰数控机床有限公司的航空发动机叶片专用机床上，由于湘潭三峰数控机床有限公司早期在与北京航材院的交流中得知其需要开发航空发动机叶片的专用复合机床，故一直对本项目的关键技术表现出极大的兴趣，与本项目团队齐心协力，一起全程参与了整个项目的研制过程。本项目的其中 2 个主要创新点“微织构刀具高效制备工艺及切削技术”、“微织构砂轮制备工艺及磨削技术”最先在湘潭三峰数控机床有限公司得到运用，样机研制及后续测试加工中发现该方法可以有效降低磨削加工区域的温度，减少粘刀现象，提高了镍基高温合金、钛合金、陶瓷等材料的加工效率，并能降低工件表面和亚表面的加工损伤，可望提高叶片等航空核心部件的使用寿命。

2015 年 10 月，株洲精工硬质合金有限公司获知该技术应用后的效果后，主动与本项目进行洽谈，并迅速签订了合作协议，先后将“微织构刀具高效制备工艺”、“微织构砂轮制备工艺”应用于该公司的新刀具产品开发，采用上述新技术后，获得了优良的硬质合金刀具新产品，拓展了硬质刀具的应用领域，增加了新的客户。

2015 年 12 月，由于主轴、机匣等关键零件在航空发动机的长期高速运转中可能出现局部受损地问题，如何将其快速修复是我国航空装备领域面临的问题。面对该需求，湖南法泽尔再制造动力有限公司对本项目的关键技术“航空零件再制造技术”进行了应用，无需换刀机械手即可很快捷地实现镍基高温合金、钛合金等难加工材料的再制造，可以高效率修复受损的航空核心零件，延长主轴、机匣等关键零件的使用寿命，提高了我国航空发动机的服役时间，为我国的航空事业作出了重要贡献。

2. 近三年经济效益

单位：万元人民币

自 然 年	完成单位		其他应用单位	
	新增销售额	新增利润	新增销售额	新增利润
2015 年				

2016 年	6191	341	951	143
2017 年	6222	493	1303	196
累 计	12413	834	2254	339

主要经济效益指标的有关说明：

1、结构化砂轮制备及其磨削技术、航空装备核心零部件的增减材修复技术应用起始于 2015 年底，只统计了 16 年和 17 年两年的经济效益。

2、新增销售额和新增利润，统计的是应用项目所有技术企业产品的总数，其中部分传统为负利润，抵消掉一部分新产品利润。

3、新增销售额来自三峰 15 年、16 年、17 年审计报告【附件】。

4、新增利润=新产品新增销售额-生产成本-税金。

3. 社会效益、生态效益

航空发动机叶片、机匣、整体叶轮为自由曲面薄壁零件，目前通常采用砂带磨抛方式进行精密加工，存在加工效率低、工艺稳定差、工作环境差的问题。针对上述问题，本项目基于结构化砂轮制备工艺及其磨削技术、结构化刀具高效制备工艺及其切削技术、航空核心部件的再制造技术，研制开发了系列适用于镍基高温合金、钛合金、陶瓷等航空难加工材料的加工装备，促进了我国航空装备难加工材料高效低损伤加工技术的发展。采用这些新技术后可以降低加工区域的热变形，提高了加工效率和加工精度，提升了我国高精尖装备的加工精度和能力，为我国规模化生产尖端装备奠定坚实的基础；增强我国航空领域的制造实力、提升综合国力；解决了航空发动机叶片精加工原来只能抛光不能精准修形的缺陷，极大的提高了我国发动航空发动机叶片加工的合格率和产能；为航空发动机及燃气轮机的大规模化批产提供了有力的保障，解决了产能不足的瓶颈。此外，促进了湘潭大学机械工程学科的建设与发展，为我国航空事业培养了一批高素质的专业型人才。

本项目通过数控机床与上述新技术的集成，搭建了相对封闭的加工空间，可以有效避免传统砂带抛光所带来的环境污染问题，为车间技术人员提供了更加环保的工作环境；通过对磨削液、切削液的集中回收处理，不会给当地环境带来任何不良影响，实现经济效益与生态效益的统一。

六、主要知识产权证明目录（不超过 10 件）

知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	一种微织构硬质合金刀片的制备方法	中国	ZL201510653803.1	2017.9.29	2626101	湘潭大学	张高峰；曾亿江；龙石山；周后明；朱科军；周里群；冯建军；徐志强；谭援强	有效
发明专利	一种采用金刚石纤维微切削进行砂轮形貌重构的方法	中国	ZL201610437161.6	2016.6.17	2843693	湘潭大学	张高峰；何宏林；温张亚；周后明；周里群；朱科军；徐志强；冯建军	有效
发明专利	一种并联增减材复合制造机床及其复合制造方法	中国	ZL201510848663.3	2018.5.18	2927652	湘潭大学	张高峰；刘楚梁；曾泽恩；邓志强；朱乐军；周后明；朱科军；徐志强；冯建军	有效
发明专利	一种基于增减材制造的零件修复装置及其使用方法	中国	ZL201610002977.6	2017.12.8	2731205 核实	湘潭大学	张高峰；刘楚梁；曾泽恩；邓志强；朱乐军；周后明；朱科军；徐志强；冯建军	有效
发明专利	一种可组合高柔性刀杆	中国	ZL201510279523.9	2017.12.8	2731252	湘潭大学	周后明；罗文懿；刘博；曾国章；张高峰；周友行	有效

七、主要完成人情况表

姓名	排名	职称	职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
张高峰	1	工程中心主任	教授	湘潭大学	湘潭大学	负责项目的总体规划和实施。对 3 个关键技术有重要贡献，参与关键技术创新 4 的研究。开发了微织构砂轮/刀具加工技术，解决了加工区域热变形和热烧伤的技术难题，较大地降低了加工区刷的温度，提高了加工效率并降低了加工损伤。开发了受损航空零件的再制造技术，提高了受损零件的修复效率与精度。本人投入该项目技术研究工作量占本人工作量的 70%。
朱科军	2	无	讲师	湘潭大学	湘潭大学	负责本项目中织构切削与织构砂轮磨削工艺的实验研究，参与了 3 项关键技术的开发与研究。进行了大量的镍基合金、钛合金及陶瓷材料的加工工艺实验，参与开发了微织构刀具切削样机、织构砂轮磨削样机的研制。负责本项目关键技术在湘潭三峰数控机床有限公司的推广与应用，本人投入该项目技术研究工作量占本人工作量的 70%。
周后明	3	无	教授	湘潭大学	湘潭大学	负责建立了可组合柔性刀杆的柔性加工理论和技术体系工作。对关键技术创新 3 有重要贡献，参与其它两个关键技术的研究与试验工作。开展了大量的切削实验和再制造实验，揭示了柔性刀杆加工和再制造加工技术的特性。本人投入该项目技术研究工作量占本人工作量的 50%。
周里群	4	无	教授	湘潭大学	湘潭大学	参与了本项目织构化砂轮制备及其磨削技术、织构化刀具及其切削工艺、柔性刀杆制备及加工工艺的研究，参与了相应样机的研制及工艺实验分析，重点对机床的热稳定性进行了研究，通过微织构砂轮可以减少砂轮与工件的接触面积，降低摩擦产生的热量，提高加工效率，降低加工损伤。本人投入该项目技术研究工作量占本人工作量的 50%。
郭怀仲	5	董事长	高级工程师	湘潭三峰数控机床有限公司	湘潭三峰数控机床有限公司	参与了本项目织构化砂轮制备及其磨削技术、织构刀具切削技术的研究，采用金刚石纤维工具来实现砂轮/刀具表面形貌的织构化，改善了导热性差航空材料加工表面的局部摩擦温度过高的问题，并有利于磨削液进入到磨削区域，很好的解决了磨削温度高引起加工表面局部变形等问题。本人投入该项目技术研究工作量占本人工作量的 45%。
李欣	6		工程	湘潭三峰	湘潭三峰	参与了本项目织构化砂轮制备及其磨削技术、织构刀具切削技术的研究，采用织构模压成型公司制备表

			师	数控 机床 有限 公司	数控 机床 有限 公司	面织构化硬质合金刀片，并结合涂层技术制备了织构化涂层刀具，有效地解决了切削温度高、粘刀等问题，提高了加工效率和精度。本人投入该项目技术研究工作量占本人工作量的 50%。
--	--	--	---	----------------------	----------------------	--

八、主要完成单位情况表

单位名称	湘潭大学
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：	
湘潭大学是该项目的第一完成单位，对本项目技术创新和推广应用的主要贡献是： （1）提供了实验场所、基础的实验测试仪器与设备、文献检索等科研条件，为本项目的顺利开展起到了积极的作用。 （2）作为国家自然科学基金（50875225）、（51275436）、（51375418），省市联合基金（12JJ8015）和省科技厅项目（2009GK3166）等科研项目的依托单位，对所承担科研项目研究的全过程进行了有效地科研管理，检查和督促；在本项目的申报过程中，积极组织、严格审核，为本项目的申报工作做出了积极贡献。 （3）协调湘潭大学，三峰数控机床有限公司与新技术应用企业间的关系，在研究和工程应用过程中，定期举行研讨会，及时解决遇到的困难和问题。 （4）新技术的研发单位，以第一单位获得 7 项国家发明专利授权，发表了 30 余篇学术论文，培养了 30 余名硕士研究生。	
单位名称	湘潭三峰数控机床有限公司
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：	
项目的技术应用和技术推广单位，为本项目的技术应用和推广提供了条件。其所属人员对项目的主要贡献在于： （1）参与项目的管理、调度，为项目的顺利实施提供了保证。 （2）参与项目样机的研制和后续工艺试验。 （3）参与开发了微织构砂轮制备装置、织构刀具高效制备装置。 （4）将所开发的微织构砂轮制备工艺及其磨削技术、织构刀具高效制备及其切削技术应用于航空发动机叶片复合加工专用机床，取得了良好的经济和社会效益。	

九、完成人合作关系说明

本项目第一完成人张高峰 2017 年任职湘潭大学工程训练中心主任，仍在原单位机械工程学院担任一定的教学及科研工作、而第三完成人周后明、第二完成人朱科军、第四完成人周里群均为湘潭大学机械工程学院教师，以上老师同属于第一完成人张高峰 2015 年带领成立的“难加工材料制备、工艺及刀具”科研团队，建立了良好的合作关系。第一完成人张高峰、第三完成人周后明、第二完成人朱科军、第四完成人周里群在航空难加工材料零件的高效低损伤方面开展合作研究，合作申请多项发明专利和实用新型专利，其中合作申请并获得授权四项发明专利：一种微织构硬质合金刀片的制备方法、一种并联增减材复合制造机床及其复合制造方法、一种采用金刚石纤维微切削进行砂轮形貌重构的方法、一种基于增减材制造的零件修复装置及其使用方法。第一完成人张高峰和第二完成人周后明合作申请了一种可组合高柔性刀杆的发明专利，并获得授权。

第四完成人周里群、第二完成人朱科军共同参与了国家自然科学基金项目磁流变弹性体砂轮的制备及其柔性抛光机理研究；第四完成人周里群、第一完成人张高峰、第二完成人朱科军一起承担了省科技厅项目精密数控磨床热稳定性的关键技术研究。此外，各完成人之间一起合作发表了多篇学术论文。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同知识产权	张高峰/1 周后明/4; 朱科军/5; 周里群/6	2015	一种微织构硬质合金刀片的制备方法	附件	
2	共同知识产权	张高峰/1; 周后明/6; 朱科军/7	2015	一种并联增减材复合制造机床及其复合制造方法	附件	
3	共同知识产权	张高峰/1; 周后明/4; 周里群/5; 朱科军/6	2016	一种采用金刚石纤维微切削进行砂轮形貌重构的方法	附件	
4	共同知识产权	张高峰/1; 周后明/6; 朱科军/7;	2017	一种基于增减材制造的零件修复装置及其使用方法	附件	
5	共同知识产权	周后明/1; 张高峰/5	2017	一种可组合高柔性刀杆	附件	
6	共同立项	周里群/1; 张高峰/2; 朱科军/4	2016	精密数控磨床热稳定性的关键技术研究	附件	
7	共同立项	徐志强/1; 周里群/2; 朱科军/4	2016	磁流变弹性体砂轮的制备及其柔性抛光机理研究	附件	
8	论文合著	张高峰/1; 郭怀仲/3	2013	多功能数控磨床立柱动态特性分析	附件	
9	论文合著	张高峰/1; 周后明/4; 朱科军/5	2016	碳纤维增强复合材料低温冷风磨削试验研究	附件	
10	共同知识产权	张高峰/1; 周后明/4; 周里群/5; 朱科军/6;	2016	一种砂轮微织构形貌重构切削装置	附件	

11	共同知识产权	张高峰/1; 周后明/6; 朱科军/7;	2016	一种并联增减材复合制造机床	附件	
12	共同知识产权	张高峰/1; 周后明/5; 周里群/6; 朱科军/7;	2016	易于剥离增材制造打印台上成型件的装置	附件	
13	共同知识产权	周后明/1; 张高峰/4;	2015	一种高刚度刀柄装置	附件	