|  |  |
| --- | --- |
| 资助编号 |  |

华中科技大学本科生自然科学创新基金

申请书（机械学院初步申报版）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称： | 热塑性复合材料磨削力温建模与  细观有限元仿真研究 |
| 申请人： | 王荣国 |
| 申请人学号： | U202110956 |
| 移动电话： | 18643009046 |
| 电子邮件： | u202110956@hust.edu.cn |
| 所在院系： | 机械科学与工程学院 |
| 填表日期： | 2024.5.23 |

华中科技大学本科生院制

2024年5月

基本信息

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 申请人信息 | 姓名 | 王荣国 | 性别 | 男 |
| 出生年月 | 2003.10.9 | 民族 | 汉 |
| 导师姓名 | 赵欢 | 导师职称 | 教授 |
| 学籍单位 | 机械科学与工程学院  职称 | 学号 | U202110956 |
| 电子邮箱 | u202110956@hust.edu.cn | | |
| 手机号码 | 18643009046 | QQ | 2694723418 |
| 研究领域 | 机械工程 | | |
| 是否基础学科拔尖学生培养计划2.0基地 | | | □是 ☑否 |
| 项目基本信息 | 项目名称 | 热塑性复合材料磨削力温建模与细观有限元仿真研究 | | |
| 英文名称 | Research on force/temperature modelling and micro-scale finite element simulation of CFRTP grinding | | |
| 研究期限 | 2024年5月16日---2025年5月30日 | | |
| 研究方向 | 热塑性复合材料磨削加工、有限元仿真 | | |
| 申请金额 | 5万元 | | |
| 中文关键词 | 有限元仿真、热塑性复合材料、力、温度、磨削加工 | | |
| 英文关键词 | FEM; CFRTP; Force; Temperature; Grinding; | | |
| 中文摘要 | **（本部分内容字数不超过500字）**  **热塑性复合材料（CFRTP）具有韧性高、抗冲击性强、热成型工艺性好、固化周期短、可回收等优点，成为高端装备减重增效的优选材料。CFRTP构件近净成形之后精度难以保证，需通过磨削提高精度。但CFRTP基体与纤维的难加工性相悖，且材料本身断裂韧性大，切屑难断裂；同时磨削过程中热量积聚，造成磨削高温使得树脂基体软化，对碳纤维的约束作用减弱，工件表面容易产生层间剥离、裂纹和纤维断裂等缺陷，影响表面质量；且砂轮容易发生堵塞，影响砂轮寿命且进一步恶化表面质量。因此，本项目针对CFRTP磨削过程的关键痛难点，围绕CFRTP磨削去除机理开展理论探析，研究磨削过程多场建模方法，建立热塑性复合材料磨削加工过程的力温预测模型，揭示复材-磨具动态磨削中的力温分布规律，并通过有限元分析进行CFRTP的细观切削仿真，阐明CFRTP磨削加工中切屑和表面损伤的形成机理和影响因素并开展实验验证，最后开展工艺参数优化实验，形成CFRTP低损伤磨削加工关键技术。本项目将采用“机理分析-模型建立-仿真模拟-工艺优化”的研究思路解决复材磨削难题，提高复材磨削加工质量。** | | | |

报告正文（从以下三方面进行阐述，不超过3000字。请勿删除或改动下述提纲标题及括号中的文字。）建议2-3页

|  |  |
| --- | --- |
| 研究初衷 | （为什么选择该研究课题？）  **航空、航天、能源等领域对高端装备性能要求（如高速、重载、高机动性等）越来越高，而减轻结构重量、提高结构效率是高端装备性能跃升的根本。碳纤维增强复合材料（CFRP）具有轻质高强、性能可设计、可整体制造等优势，已成为极具发展潜力和工程应用前景的材料。图1为CFRP在民航客机A380结构部件上的应用。提升CFRP用量、提高CFRP制造水平对于提高高端装备先进性具有重要意义。**  **图 1 CFRP在A380上的应用**  **CFRP复合材料通常按照树脂基的类型可分为热固性复合材料和热塑性复合材料（CFRTP）。相比于传统的热固性复合材料，热塑性复合材料具有韧性高、抗冲击性强、热成型工艺性好、固化周期短、可回收等优点，图2为热塑性与热固性复合材料磨削表现对比。热塑性复合材料构件一般通过近净成形方式制造，难以满足尺寸精度和组装要求，装配过程中易发生错边、间隙等缺陷，而引起较大装配应力，增加构件开裂、失效等风险。因此需要后续的磨削等二次加工方式，提高几何精度，以保证其使用性能、可靠性和使用寿命等。**  **图 3 CFRTP磨削产生的加工缺陷**  **图 2 (a)热塑性与热固性(b)复合材料磨削表现对比**  **然而CFRTP 复材主要由树脂和纤维构成，强度、导热性都存在极大差异，且磨削过程中力、热相互耦合，作用机理复杂。相比于热固性复材，热塑性复材断裂韧性大，切屑难断裂。并且磨削时热量积聚，造成磨削高温使得树脂基体软化，对碳纤维的约束作用减弱，工件表面容易产生层间剥离、裂纹和纤维断裂等缺陷，影响表面质量；且砂轮容易发生堵塞，影响砂轮寿命且进一步恶化表面质量。图3为CFRTP磨削产生的加工缺陷。因此，热塑性复材磨削加工机理亟待进一步揭示。**  **综上所述，CFRTP磨削加工仍存在较多研究难点。因此，本项目深入分析CFRTP材料特性、习惯构成为高效低损伤磨削带来的困难，开展相应理论建模、模拟仿真和工艺优化的研究，揭示CFRTP磨削加工中力温分布规律及切屑、表面损伤的形成机理和影响因素，形成CFRTP低损伤磨削加工关键技术，以满足航天、航天等高端领域对CFRTP构件的低损伤加工需求。** |
| 前期工作 | **（前期做了哪些思考和准备？包括但不限于查阅文献、理论分析、实验验证等）**  **碳纤维复合材料呈宏、细观多相态，具有非均质、各向异性等特征，其磨削加工过程是由大量无规则的离散分布在磨具表面的磨粒所完成的滑擦、耕犁、切削作用的随机综合，微观作用机理复杂。力是磨削加工过程中各种物理现象的根源，磨削力产生磨削热，磨削过程中的力、热共同作用影响磨削的加工精度和表面质量。**  **国内外学者针对磨削过程中磨削力、磨削温度建模方面开展了相关研究。高航等基于CFRP均质化热特性，建立了CFRP磨削温度场的三维有限差分法模型（如图4所示），研究了工件速度、纤维方向角等物理参数对磨削温度分布的影响，同时利用试验数据回归分析得到了磨削温度经验公式。陈明等研究了T800级高强度CFRP单向层复合材料在直角自由切削过程中的切削力和切削热随纤维方向角的变化产生的各向异性行为，建立了CFRP 层合板单层材料周向切削时的切削比能图谱和二维切削温度预测模型。Liu等以CFRP工件为研究对象，研究了****螺旋铣削过程中CFRP工件的温度分布，提出了绝热边界条件下CFRP工件传热的非稳态三维控制方程，预测工件的温度分布；根据提出的切削力模型，计算螺旋铣削过程中产生的热量，使用共轭梯度法求解传到CFRP工件中的热量分配。贾振元等以单向CFRP层合板为研究对象，考虑到材料的各向异性和层间强度，建立基于损伤本构关系、Hashin失效准则和损伤演化的复合材料有限元模型。从上述调研可以看出，目前研究主要集中于热固性复合材料的建模，热塑性复合材料磨削过程中的力温建模有待于进一步研究。**  (a)  (b)  **图 4 CFRP磨削温度场的三维有限差分法模型：(a)离散模型，(b)热边界条件**  **有限元法（FEM）通过数值可视化能够直观反映磨削过程中应力、应变和温度的分布情况，且能够在微观尺度上模拟材料去除过程，广泛应用于材料切削机理研究。F. Cepero-Mejías等建立了基于连续损伤力学理论和断裂能理论的三维损伤模型以及反映碳纤维复合材料层压板的三维宏观切削模型，如图5所示。Qin等建立了热塑性复合材料的微观切削模型，并系统的比对了热固性和热塑性材料在不同切削方向下材料去除机制、切屑形成机制以及缺陷产生机制的不同。Brahim等提出了一种损伤热耦合的有限元模型，用于预测钻削热引起的温度变化对杂化复合材料构成相的影响。Cheng等建立了一种考虑切削过程中的热应变的碳纤维复合材料本构模型，并分析了不同切削方向下材料切削过程中的损伤表现。Gao等研究了CFRP三维正交微切削的热力耦合模型，并比较分析了不同切削参数下4种典型纤维方向角下的切屑形成机理和表面质量状况。从上述调研可以看出，目前研究主要集中于复合材料切削、铣削、钻削，CFRTP磨削加工中的微观有限元模型的相关研究较少。**  **图 5 CFRP层压板在不同纤维角下的宏观切削有限元仿真**  **针对以上现有研究的不足，截止目前，本项目已开展了如下前期准备工作：**  **（1）通过解析法建立了CFRTP磨削过程中的温度预测模型；**  **（2）建立了考虑纤维随机分布的材料模型，并通过ABAQUS平台开展了基于弹塑性本构模型的CFRTP的细观切削仿真。**  **（3）在DY-618AHQ数控磨床上开展了不同加工参数（砂轮转速、进给速度、进给深度、纤维角方向等）下CFRTP的磨削加工实验，通过Kistler 9129AA测力仪与FLIR SC325红外测温相机测量磨削过程中的磨削力与磨削温度。** |
| 研究内容 | （包括研究目标和拟解决的关键问题，以及拟采取的研究方法、技术路线等）  **项目围绕CFRTP磨削加工过程中材料异质性和各向异性所导致的磨削质量差、材料易产生高温软化、损伤严重等问题。拟开展CFRTP磨削力温建模与细观有限元仿真研究磨削研究：**  **（1）探究磨粒与基体、纤维的动态交互作用机理与材料去除关系，建立考虑碳纤维特征与分布规律的磨削力温预测模型，揭示工艺参数到CFRTP磨削质量的非线性映射关系；**  **（2）建立CFRTP的微观本构模型，开展多参数下的细观切削有限元仿真研究，揭示CFRTP磨削加工中切屑和表面损伤的形成机理和影响因素，优化工艺参数，提升加工质量。**  **进而解决CFRTP材料磨削力温模型、综合考虑切屑、损伤形成机制与材料各向异性的工艺参数优化的关键问题。**  **本项目拟采用如下所示的技术路线：**  **（1）考虑纤维随机分布的CFRTP复材的几何建模**  **针对CFRTP因呈多形态、跨尺度、随机分布等特点而导致准确表征复材几何形貌极其困难的问题，借助场发射电子扫描显微镜（FESEM）、超景深显微镜分析CFRTP物理结构特性，建立纤维、磨粒分布的统计模型，进而建立磨削过程CFRTP及磨具的微观几何模型。**  **（2）CFRTP磨削过程磨削力与温度预测建模**  **针对CFRTP材料基体-纤维结构物性参数非均匀性、几何非连续性所导致的材料去除机制不清晰、热传导复杂等问题，建立基体和纤维的单相磨削力学模型，并综合考虑随机分布的CFRTP复材及磨具几何建模，建立CFRTP多相磨削力学模型，并进一步考虑磨削过程中磨具、工件、切屑的综合热影响，建立CFRTP动态磨削温度模型。**  **（3）CFRTP微观切削有限元仿真**  **针对CFRTP材料磨削过程中小余量、高转速、力热作用复杂所导致的切屑、损伤形成机制不明显等问题，建立CFRTP微观本构模型，通过ABAQUS进行细观切削有限元仿真，并开展验证性实验验证模型有效性和准确性。**  **（4）CFRTP低损伤表面磨削加工工艺参数优化**  **针对CFRP磨削加工中多工艺参数综合作用下由于不同的“磨粒-复材”切削作用而导致切屑形状、磨削力、表面质量各异的问题，在前述理论研究的基础上，开展多参数组合的磨削加工正交试验，分析研究各参数及其耦合作用对复材磨削质量的影响规律，进而确定CFRTP磨削加工工艺参数域，从而优化磨削工艺，提高磨削表面质量。** |

申请人简历

|  |  |
| --- | --- |
| 教育经历 | （从高中开始;大学期间教育经历需写明所在院系）  **2018-2021：四平市第一高级中学 高中**  **2021-至今：华中科技大学机械科学与工程学院 本科** |
| 项目经历 | （曾参与的科技活动或项目）  **2023-2024参与赵欢教授课题组国家自然科学基金重大项目《热塑性复合材料大型构件机器人小余量去除机理与高精度装配》，参与热塑性复材磨削性能、冷润辅助磨削工艺、细观切削有限元仿真等研究**  **2024作为负责人主持大创项目《基于热力耦合弹塑性本构模型的碳纤维复合材料磨削加工的有限元仿真研究》**  **2024参与华中科技大学第十三届“求是杯”大学生创新创业大赛，作为负责人主持项目《空天智造-国际先进的热塑性复材构件机器人智能磨抛系统》**  **2022-2023参与赵欢教授课题组项目《基于虚拟现实技术的视力矫正平台》。**  **2024参与第十一届全国大学生机械创新设计大赛，项目名为《智能芡实采收机》**  **2024参与华中科技大学第十三届“求是杯”大学生创新创业大赛项目《TTS（Tumor Therapy Specialist）——机器人智能化肿瘤穿刺专家》**  **2024参与大创项目《智能芡实采收机》** |
| 成绩奖励 | 本科学业成绩、加权排名和获得奖励情况（如论文、专利、奖项等，高中期间获得全国性学科竞赛奖项也可列出）  **就读于华中科技大学机械科学与工程学院机械设计制造及其自动化（启明本硕博班），至大三上总加权84.83（12/30），大三上学期加权88.69（6/30）。**  **申请国家专利3项（在审）：**  **2024102561964-一种可移动碳纤维复合材料磨削力温原位监测装置与方法；**  **2024102625059-一种复合材料磨削过程中的力温原位监测装置与方法；**  **2024103707906-碳纤维复材磨削机器人测温、冷却与除尘系统及其方法。**  **投稿SCI论文2篇：**  **“Effects of grinding mode on grinding performance of anisotropic CF/PEEK composites”-Polymer Composites（JCR-Q1，under review）;**  **“An oil-on-water minimum quantity lubrication technology for high-quality grinding of carbon fiber reinforced thermoplastic composites” -Polymer Composites（JCR-Q1，under review）**  **获得2024年第十一届全国大学生机械创新设计大赛省级二等奖。**  **获得2024年华中科技大学第十三届“求是杯”大学生创新创业大赛校铜奖。** |

项目承诺

|  |
| --- |
| 本人承诺遵守学术伦理，承诺遵守国家和学校规定，合法合规使用项目经费；承诺按照申请书制定的目标和计划完成项目；如在项目结题之前毕业，本人承诺按本科生院要求结题。    承诺人：  2024年 5月 23日 |

导师意见

|  |
| --- |
| 对项目创新性及申请者的思想素质、科研能力、创新潜力和拟开展的研究工作的评价,是（否）同意申报。    导师:  2024年 5月 23日 |