

航空发动机机匣加工工艺探讨

刘健*, 唐杰, 刘丽莎

中国航发贵州黎阳航空动力有限公司, 贵州 贵阳 550014

摘要 : 航空业是国民经济的重要支柱产业之一, 具有重要的战略地位, 航空发动机作为飞机的“心脏”, 直接关系到飞行安全和飞机性能。随着航空业的快速发展, 对航空发动机的要求也越来越高, 尤其是在性能、节能和环保方面的要求也在不断提升。因此, 研究航空发动机机匣加工工艺, 提高其加工精度、提高零件质量, 对提升航空发动机整体性能具有重要意义。基于此本文将围绕航空发动机机匣加工工艺开展探究, 概述航空发动机机匣基础上, 阐述航空发动机机匣加工工艺特点及切削机床的选择, 分析航空发动机机匣加工变形影响因素, 最后对其工艺应用要点进行研究。

关键词 : 航空; 发动机机匣; 加工工艺

Discussion on Machining Technology of Aero-engine Casing

Liu Jian*, Tang Jie, Liu Lisha

China Hangfa Guizhou Liyang Aviation Power Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550014

Abstract : Aviation industry is one of the important pillar industries of national economy, which has an important strategic position. As the “heart” of aircraft, aero-engine is directly related to flight safety and aircraft performance. With the rapid development of aviation industry, the requirements for aero-engines are getting higher and higher, especially in performance, energy saving and environmental protection. Therefore, it is of great significance to study the machining technology of aero-engine casing, improve its machining accuracy and improve the quality of parts, and improve the overall performance of aero-engine. Based on this, this paper will explore the processing technology of aero-engine casing, and on the basis of summarizing aero-engine casing, expound the processing technology characteristics of aero-engine casing and the selection of cutting machine tools, analyze the influencing factors of machining deformation of aero-engine casing, and finally study the key points of its process application.

Key words : aviation; engine casing; processing technic

引言

新时期伴随着航空市场的快速增长, 对高性能航空发动机的需求也在逐渐增加, 研究航空发动机机匣加工工艺能够满足市场对高性能发动机的需求, 航空发动机机匣加工工艺的提升也可以促进相关高新技术的发展和转化, 推动整个产业链的升级, 综合作用下更好的促进我国航空产业健康发展。

一、航空发动机机匣概述

航空发动机机匣作为飞机发动机中的重要组成部分, 承担着支撑、保护和连接发动机内部各部件的重要职责, 其设计和制造需要考虑包括材料选择、结构设计、制造工艺等多方面的因素, 要求必须保证发动机在高温、高压和高速等极端环境下可以安全可靠的运行。航空机匣需要具备足够的强度和刚性, 以承受发动机运行时产生的惯性载荷和外部环境加载, 同时还需要具有优良

的热稳定性和耐腐蚀性, 以应对高温、高压和化学腐蚀等恶劣条件。为了满足这些要求, 常用的机匣材料包括高温合金、钛合金和复合材料等, 这些材料具有较高的强度和耐热性能。

在机匣的制造过程中, 加工工艺和设备的选择至关重要。航空发动机机匣常采用先进的数控加工技术, 如多轴数控铣削、火花高效放电、电解加工和磨粒流加工等, 以保证加工精度和表面质量, 这些先进的加工技术能够有效地提高生产效率、降低成本, 并确保零件质量达到航空零部件的严格要求。

* 作者简介 刘健, 女, 1975, 汉, 籍贯安徽省滁州市, 学历大学本科, 职称高级工程师, 研究方向: 航空发动机加工技术

二、航空发动机机匣加工工艺特点及切削机床的选择

（一）机匣加工工艺特点

航空发动机机匣通常具有复杂的内部结构，需要考虑到各种管路、进气口、出气口等部件的安装位置和连接方式，对机匣的加工需要根据这些特殊结构设计要求进行加工，确保各个部件能够精准安装和正常工作。航空发动机作为飞机的核心部件，其零部件的加工精度直接影响到发动机的运行效率和性能，机匣作为发动机的外壳，需要保证高精度的加工，以确保各个部件的协调运作和飞机整体性能。

航空发动机机匣常采用如钛合金、镍基合金等高强度、耐高温的特种合金材料，这些材料难以加工，需要采用特定的加工工艺和切削工具，以确保零部件的加工质量和表面粗糙度符合要求。在加工高温合金材料时存在热变形的风险，加工过程中可能会导致零件尺寸和形状的变化，需要通过合理的切削参数设计和冷却措施来减少热变形风险，保证加工后的零件符合设计要求。航空发动机机匣作为外壳部件，对表面质量和处理要求较高，需要进行精细的表面处理，包括抛光、氧化、镀层等工艺，以确保外表面的光洁度和耐腐蚀性。

（二）切削机床的选择

针对航空发动机机匣加工的特点和要求，选择合适的切削机床是至关重要的。通常可以考虑以下几个方面：1. 数控机床：数控机床能够实现复杂的加工轨迹和精细的控制，适用于机匣复杂结构的加工，通过数控技术可以实现高精度、高效率的加工，确保零部件质量。2. 五轴加工中心：机匣通常具有多角度、多面的复杂结构，在加工过程中需要进行多轴联动加工，五轴加工中心能够实现多轴联动，提高加工效率和精度。3. 高速铣床：针对高难度材料如钛合金、镍基合金的加工，高速铣床能够采用高速切削，提高加工效率，降低切削温度，减少热变形风险。4. 刀具系统：选择适用于高温合金材料加工的刀具系统，如硬质合金刀具、涂层刀具等就可以提高切削效率并延长刀具寿命。5. 加工模拟系统：考虑到机匣加工的复杂性，选择具备加工模拟功能的机床，可以在加工前进行虚拟加工模拟，优化加工路径和参数设置，减少加工中的风险和损失。综合考虑以上因素，选择合适的切削机床对于保证航空发动机机匣加工质量、效率和成本控制至关重要。合理的选择能够提高加工效率、减少成本，满足航空发动机机匣高精度加工的要求。

三、航空发动机机匣加工变形影响因素

（一）毛坯影响

在航空发动机机匣的加工过程中，毛坯的选择对最终零件的形状和变形有着重要的影响，毛坯存在的影响因素具体如下：1. 毛坯的形状直接影响着加工后的机匣形状，如果毛坯的形状不稳定或不符合设计要求，可能导致加工后的机匣出现变形。此外，毛坯的形状也会影响加工时切削力的分布和变化，进而影响加工过程中的应力分布和变形情况。2. 不同的材质具有不同的机

械性能，如强度、韧性等，这些性能会影响加工过程中的变形情况。对于高强度、难加工的材料，其变形风险会更大，因此在选择毛坯材质时需要考虑材料的工艺性能与加工性能的匹配。3. 坯的加工工艺也会对最终机匣的变形产生影响，如果毛坯在生产过程中存在缺陷、内应力或不合理的加工工艺，可能会导致加工后的机匣出现各种变形问题，如翘曲、扭曲等。因此，选择具有规范生产工艺的毛坯，对减少加工变形是至关重要的。

（二）加工工艺影响

在航空发动机机匣加工中，加工工艺是直接影响零件变形的重要因素，其影响作用是多样化的：1. 加工顺序的选择直接影响到加工过程中零件所受到的应力及变形情况，如果加工顺序不合理，可能导致机匣在加工过程中受到不均匀的应力作用，从而引起较大的变形。2. 切削速度、进给量、切削深度、刀具选择等切削参数，在加工过程中对材料的去除和变形起着决定性作用，切削参数的选择不当可能导致加工过程中材料的过热、过切削或振动等问题，进而引起机匣的形变。3. 在加工过程中，夹持方式是确保零件位置精度和稳定性的重要一环，若夹持方式选择不当，夹紧力不均匀或夹持不牢固，将导致机匣在加工中产生变形。4. 加工温度的控制对航空发动机机匣加工变形具有重要的影响，过高或过低的加工温度都可能影响切削性能、热变形和零件尺寸稳定性，从而引起机匣的变形。

四、航空发动机机匣加工工艺应用

（一）多轴数控铣削

在航空发动机机匣加工中多轴数控铣削是通过使用数控铣床，可以实现对机匣进行高精度的轴向和径向加工，同时可以通过不同角度的旋转轴进行多轴联动的加工，使得复杂形状的机匣能够被高效加工。多轴数控铣削通过合理设置加工路径和加工参数，可以实现高效率的加工，同时保证加工质量和精度。在航空发动机机匣加工中，对于一些复杂形状的结构，多轴数控铣削可以快速、精准地完成加工任务，提高生产效率、降低加工成本。

多轴数控铣削工艺的具体应用如下：1) 复杂曲面加工：航空发动机机匣通常具有复杂的曲面结构，如进气口、出气口等，多轴数控铣削可以通过多个转动轴实现多轴联动，按照复杂曲面的轮廓进行精确加工，这种加工方式可以提高加工效率和加工精度，保证机匣的质量和性能。2) 孔加工：航空发动机机匣内部通常布满各种形状和大小的孔洞，这些孔洞需要在特定位置和角度实现高精度的加工，多轴数控铣削可以通过轴向和径向加工，以及旋转轴的联动，高效地加工出各种形状和位置的孔洞，确保机匣的功能和可靠性。3) 薄壁结构加工：航空发动机机匣通常具有复杂的薄壁结构，这种结构要求加工时要尽量减少振动和变形，保证加工精度，多轴数控铣削可以通过优化加工路径和参数，减小切削力对工件的影响，降低变形风险，确保薄壁结构的加工质量。4) 整体加工：航空发动机机匣通常需要整体加工，即在一次夹持中完成所有加工工序，以确保各个面的相对位置和尺寸精度，多轴数控铣削可以通过多轴联动，实现多个面的同时加工，

提高加工效率,减少工序间的重新夹持,降低因重新夹持引起的累积误差。5)小批量、多变形件加工:航空发动机机匣的加工通常涉及小批量但形状复杂、变化较大的工件,多轴数控铣削可以根据CAD/CAM软件生成的程序,实现对不同形状的工件快速、精确的加工,适应小批量生产的需求。

(二)火花高效放电铣

火花高效放电铣是一种适用于加工硬质材料的加工工艺,通常用于加工航空发动机中的金属机匣,通过控制放电参数和电极形状,可以实现对硬质材料的高精度加工,保证加工表面的光洁度和精度。火花高效放电铣在航空发动机机匣加工中的应用,可以实现对硬质材料的精细加工,如加工细小槽孔、螺纹等,同时还可以实现对特殊形状的加工,提高加工效率,减少加工成本。

加工工艺特点表现如下:1)能够对特殊与复杂三维型面零件进行加工处理;2)在进行加工时,因为大电流放电作用,可以使零件表面显微裂纹增大,同时提高再铸层厚度;3)由于脉冲放电可以长时间持续,并且脉冲频率较高,所以可以帮助表面粗糙度提高,改善加工精度。4)加工效率相比常规电火花加工效率高,平均可以保持在2000m³/min;5)加工过程中选用水质工作液,加工效率高,且能够实现环保目的,安全无污染。

(三)电解加工

电解加工是利用电化学原理,在电解液中通过电解产生离子,使工件表面发生化学反应以实现加工的一种工艺,在航空发动机机匣加工中,电解加工可以实现对特殊材料的高精度加工,尤其适用于加工复杂形状的机匣。通过控制电解液的成分和参

数,可以实现对机匣表面的精细加工,改善加工表面质量,提高加工精度。电解加工还可以实现内外轮廓的一体加工,避免传统加工方式中的切削变形和残余应力问题。

(四)磨粒流加工

磨粒流加工是利用高速旋转的磨料流和冷却液通过喷嘴对工件表面进行加工的一种非传统加工工艺,在航空发动机机匣加工中,磨粒流加工可以实现对高硬度、高强度材料的高效加工,同时可以保持工件表面的精度和光洁度。同时可以根据加工要求选择不同的磨粒流速度和密度,实现对机匣表面的精细加工,包括去毛刺、抛光、除氧化层等。在航空发动机机匣加工中,磨粒流加工可以提高加工效率,减少加工成本,同时还可以避免热影响区和机匣表面损伤的问题,是一种环保的加工工艺。

结语

航空发动机制造是一个高科技、高附加值的行业,涉及航空、材料、机械等多个领域的知识,而航空发动机机匣加工的质量直接关系到整个发动机的性能。机匣加工工艺具有高精度、高要求的特点,需要选择适合的切削机床进行加工,机匣加工中产生的变形主要受毛坯质量和加工工艺的影响,需要合理控制以确保加工质量。本次研究了在航空发动机机匣加工中的多轴数控铣削、火花高效放电铣、电解加工以及磨粒流加工等工艺,机械加工是一项复杂而重要的工艺过程,需要对工艺进行科学规划、精确控制与规范落实。

参考文献

- [1] 任慧娇;周冠男;从保强;马慧君;董文启. 增材制造技术在航空航天金属构件领域的发展及应用[J]. 航空制造技术, 2020(10).
- [2] 张世贵;张晟玮;陈鹏飞;王灿;王宇航;王国名;孙剑飞. 外涵对开机匣精密高效加工工艺研究[J]. 航空制造技术, 2023(14).
- [3] 刘志学;胡登洲;高曦. 航空薄壁机匣加工颤振及切削参数优化[J]. 工具技术, 2022(08).
- [4] 罗鸿飞;卢熠;吴永安;郭良刚;王华东;杨家典. GH4169合金低压涡轮机匣异形环锻件胀形工艺[J]. 锻压技术, 2021(07).
- [5] 赵华卫;张艺军. 基于自适应控制的航空发动机主燃机匣加工技术研究[J]. 金属加工(冷加工), 2019.
- [6] 张志革;王敏丰. 航空发动机机匣加工端面花边结构变形控制装置的开发与设计[J]. 中国设备工程, 2020(16).
- [7] 邓乐山;胡志星;冷红标;朱朝霞. 航空发动机铝镁机匣高效复合加工技术应用[J]. 金属加工(冷加工), 2022(10).
- [8] 李忠群;党剑涛;刘学;李文. 航空机匣工件车削加工变形预测及切削参数优化研究[J]. 制造技术与机床, 2020(02).
- [9] 骆强;熊吉健. 基于MBD的三维工艺在机匣产品制造中的应用研究[J]. 航空制造技术, 2023(04).
- [10] 郭金波. 航空发动机机匣零件加工变形与控制研究[J]. 中国机械, 2023(31).
- [11] 曾庆双;郭皓邦;李鼎威. 机匣零件气道面及支板面的机器人磨抛加工[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2021(06).