

航空机械制造中的精密加工技术与质量控制

杨倩 杨飙

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要：航空机械制造中的精密加工技术是确保航空器性能与安全的关键。超精密加工如磨削、电火花、抛光等，以及化学腐蚀、电解、电镀等加工方法，广泛应用于航空发动机叶片、涡轮、仪表等关键部件的制造。质量控制涵盖加工前规划、实时监控、参数控制、成品测量与检验、非破坏性检测等环节。面临高精度、新材料加工等挑战，需加强技术研发、完善质量控制体系，提升人员技能与质量意识，以保障航空机械产品的卓越性能。

关键词：航空机械制造；精密加工技术；质量控制

引言：航空机械制造，作为现代高科技领域的核心环节，对产品的精密度和质量控制有着极高的要求。精密加工技术不仅是实现航空器高性能、高可靠性的基础，也是提升航空制造业整体竞争力的关键。随着材料科学和制造技术的不断进步，航空机械制造面临着新的挑战 and 机遇。本文将从精密加工技术和质量控制两个方面，深入探讨航空机械制造的最新进展和实践经验，以期为推动该领域的技术创新和发展提供参考和借鉴。

1 航空机械制造中的精密加工技术

1.1 超精密加工技术

(1) 磨削加工。磨削加工是利用磨具（砂轮、砂带等）对工件表面进行微量切削的一种精密加工方法。在航空发动机叶片等关键部件的制造中，磨削加工发挥着至关重要的作用。这些部件的形状复杂，尺寸精度高，且表面粗糙度要求极低，以确保在高速旋转和高温高压环境下仍能保持稳定的性能。磨削加工通过选择合适的磨具、磨削参数以及冷却润滑方式，可以实现对航空发动机叶片的高精度加工，确保其满足设计要求。(2) 电火花加工。电火花加工是一种基于放电原理的非接触式加工方法，特别适用于难加工材料和复杂形状零件的加工。在航空机械制造中，电火花加工常被用于加工涡轮叶片、喷嘴等部件的微孔和型腔。其优势在于不受材料硬度和韧性的限制，能够在极硬的材料上进行深孔加工，且加工过程中无切削力，适用于加工薄壁和易变形零件^[1]。此外，通过调整电火花的放电参数，可以实现孔径的精确控制，满足航空零件对微孔的高精度需求。(3) 抛光加工。抛光加工是提升零件表面质量的重要手段之一。在航空仪表等部件的制造中，抛光加工被广泛应用于去除加工痕迹、提高表面光洁度和降低表面粗糙度。抛光加工通过使用抛光剂、抛光轮等工具和介质，对工件表面进行微量磨削和摩擦，从而实现表面质量的

提升。高质量的表面有助于减少摩擦、磨损和腐蚀，提高零件的使用寿命和可靠性。

1.2 其他精密加工技术

(1) 化学腐蚀加工与电解加工。化学腐蚀加工和电解加工都是基于化学反应原理的加工方法。化学腐蚀加工是通过将工件浸入特定的化学溶液中，利用化学反应去除工件表面的材料。而电解加工则是通过电解作用，在工件表面产生阳极溶解，从而实现材料的去除。这两种加工方法在航空机械制造中都有其独特的应用场景。化学腐蚀加工适用于微小孔和复杂形状零件的加工，而电解加工则常用于加工深孔、型腔等结构。(2) 电镀加工。电镀加工是一种在工件表面沉积一层金属或合金的加工方法。在航空机械制造中，电镀加工常被用于改善零件的表面性能，如提高硬度、耐磨性、耐腐蚀性等。通过选择合适的电镀液和电镀参数，可以在工件表面形成一层均匀、致密的镀层，从而提高零件的使用寿命和可靠性。

1.3 新型精密加工工艺探索

(1) 激光加工、离子束加工、微纳加工等新型工艺。激光加工是利用激光束对工件进行加热和熔化的加工方法，具有高精度、高效率和非接触式加工的特点。离子束加工则是利用高能离子束对工件进行撞击和溅射的加工方法，适用于微小孔和复杂形状零件的加工。微纳加工是在纳米尺度下进行加工的技术，可以制造出具有特殊性能和功能的微小结构和器件。这些新型工艺在航空机械制造中具有广阔的应用前景。(2) 复合加工技术。复合加工技术是将两种或多种不同的加工方法结合在一起，以实现更高效、更精确的加工。在航空机械制造中，复合加工技术常被用于加工复杂形状和结构的零件。例如，将激光加工与机械铣削相结合，可以实现高效、精确的微孔加工；将电化学加工与机械磨削相结

合,可以在同一道工序中完成对零件的表面粗糙度处理和形状加工,从而大大提高了加工效率和精度。复合加工技术的应用,不仅缩短了加工周期,降低了生产成本,还有助于提升零件的整体质量。

2 航空机械制造中的质量控制

2.1 过程质量控制

(1)加工前规划。在航空机械制造中,加工前的规划工作是质量控制的首要环节。图纸审核是确保加工准确性的基础,它需要细致入微地检查图纸的尺寸、公差、形状和位置等要素,确保图纸的准确性和完整性。同时,根据图纸要求选择合适的加工设备和刀具,以及制定合理的加工工艺参数,也是加工前规划的重要任务。加工设备和刀具的选择直接影响到加工效率和加工质量,而加工工艺参数的制定则决定了加工过程中的切削力、切削温度等关键因素,进而影响到加工精度和表面质量。(2)实时监控。实时监控是过程质量控制的关键手段。在加工过程中,传感器被广泛应用于监测温度、振动、切削力等参数。这些传感器能够实时反馈加工过程中的数据,帮助操作人员及时发现问题并采取措施。例如,当切削力过大或温度过高时,传感器会发出警报,操作人员可以及时调整切削参数或更换刀具,以避免零件损坏或加工精度下降。实时监控的实现依赖于先进的传感器技术和数据采集系统,它们能够准确、快速地收集和处理数据,为质量控制提供有力支持^[2]。

(3)加工参数控制。切削速度、进给量、切削深度等加工参数对加工精度有着直接影响。切削速度过快或进给量过大,会导致切削力增大、温度升高,进而影响加工精度和表面质量。而切削深度过小,则可能无法完全去除材料,造成加工余量过大。因此,优化加工参数是提高加工精度和效率的关键。通过试验和仿真分析,可以找到最优的加工参数组合,确保加工过程稳定、可控。

2.2 成品质量控制

(1)测量与检验。测量与检验是成品质量控制的重要手段。三坐标测量仪、激光干涉仪等先进检测设备被广泛应用于航空机械制造中,它们能够提供高精度的测量结果,帮助操作人员准确判断零件的尺寸、形状和位置等要素是否符合设计要求。这些检测设备的原理各不相同,但都具有高精度、高效率的特点,能够满足航空机械制造中对质量检测的高要求。(2)非破坏性检测(NDT)。非破坏性检测(NDT)技术是确保零件结构完整性的关键。X射线检测、超声波检测、磁粉检测等技术被广泛应用于航空机械制造中,它们能够在不破坏零件结构的前提下,发现零件内部的缺陷和损伤。这些

技术具有不同的适用范围和检测精度,操作人员需要根据零件的材料、形状和检测要求选择合适的检测技术。

(3)材料测试。材料测试是确保材料满足设计要求的重要环节。拉伸测试、冲击测试等测试方法被广泛应用于航空机械制造中,它们能够评估材料的力学性能,如强度、韧性等。通过材料测试,可以确保所选材料能够满足航空零件在高温、高压、高速等极端环境下的使用要求^[3]。

2.3 质量改进与持续优化

(1)质量数据分析。质量数据分析是质量改进的基础。利用鱼骨图、直方图、控制图等工具对质量问题进行深入分析,可以找出问题的根源和影响因素。鱼骨图通过头脑风暴的方式,将问题分解为多个可能的原因,有助于问题的准确定位。直方图则通过统计数据的分布情况,揭示数据的内在规律和异常点。控制图则用于监测过程的稳定性,及时发现过程中的异常波动^[4]。(2)改进措施实施与效果评估。针对分析出的问题,需制定切实可行的改进措施并实施。这些措施可能包括优化加工工艺参数、更换高性能刀具、加强设备维护保养等。在实施改进措施后,还需对效果进行评估,确保问题得到有效解决。评估过程需采用科学的方法,如对比试验、统计分析等,以确保评估结果的准确性和客观性。

(3)质量文化培养。质量文化是航空机械制造企业持续发展的重要保障。企业需树立“质量第一”的理念,将质量意识融入到企业的每一个角落。通过培训、宣传等方式,提高员工的质量意识和技能水平。同时,建立质量激励机制,对在质量工作中表现突出的员工进行表彰和奖励,激发员工的积极性和创造性。此外,还需加强与国际先进企业的交流与合作,学习借鉴其质量管理经验和成果,不断提升自身的质量管理水平。

3 航空机械制造中精密加工技术与质量控制面临的挑战与对策

3.1 技术挑战

(1)高精度、高效率加工技术的研发与应用。在航空机械制造中,高精度、高效率的加工技术是提升产品性能的关键。然而,随着航空器设计日益复杂,对零件的加工精度要求也越来越高。传统的加工技术往往难以满足这些高精度要求,因此需要不断研发新的加工技术。例如,五轴联动加工技术、超声辅助加工技术、激光加工技术等,这些技术虽然能够提高加工精度和效率,但其研发和应用成本也相对较高,且需要专业的技术人员进行操作和维护。(2)新型材料与复杂结构的加工难题。随着材料科学的不断进步,航空制造业开始广泛使用新型复合材料、钛合金、高温合金等高性能材

料。这些材料虽然具有优异的力学性能和热稳定性，但其加工难度也相对较大。同时，航空器零件的结构也越来越复杂，如整体叶盘、大型薄壁件等，这些复杂结构的加工对技术和设备都提出了更高的要求。如何在保证加工精度的同时，提高加工效率和降低成本，成为当前航空机械制造面临的重要技术挑战。

3.2 质量控制挑战

(1) 微小误差的监测与纠正。在航空机械制造中，微小的加工误差都可能对产品的性能和安全性产生重大影响。因此，对加工过程中的微小误差进行实时监测和纠正至关重要。然而，由于航空器零件的加工精度要求极高，传统的质量控制方法往往难以满足这一需求。如何开发高精度、实时的误差监测和纠正系统，成为当前质量控制领域亟待解决的问题。(2) 加工过程的稳定性与一致性控制。加工过程的稳定性和一致性是保证产品质量的关键。在航空机械制造中，由于加工设备、材料、工艺参数等多种因素的影响，加工过程的稳定性和一致性往往难以控制。这可能导致同一批次的产品在性能上存在较大差异，甚至可能出现不合格品。因此，如何建立有效的过程控制系统，确保加工过程的稳定性和一致性，成为当前航空机械制造面临的重要质量控制挑战。

3.3 应对策略

(1) 加强精密加工技术与开发。为应对高精度、高效率加工技术的挑战，必须不断加强精密加工技术的研究与开发。这意味着，不仅要持续加大对新技术、新工艺的研发投入，鼓励团队进行技术突破和创新，以推动产业升级和效率提升；同时，还应积极引进国际先进技术，通过消化吸收再创新，快速提升我国航空机械制造的整体技术水平，缩小与国际先进水平的差距。(2) 完善质量控制体系，建立质量追溯机制。加强质量控制，需要从完善质量控制体系入手。要建立严

格的质量标准和检验流程，确保每一个环节都达到高标准、严要求。同时，建立质量追溯机制，对每一个加工环节进行详细的记录和监控，实现产品质量可追溯、可控制。这样，一旦发现问题，可以迅速追溯问题源头，及时采取纠正措施，避免质量问题带来的不良影响，从而提高产品的整体质量和可靠性。(3) 提升人员技能与培训水平，培养质量意识。人员技能和培训水平是影响加工质量和效率的关键因素。因此，需要加强人员技能培训和质量管理培训，提高员工的操作技能和质量管理能力。同时，培养员工的质量意识，让他们深刻认识到质量对产品性能和安全性的重要性，从而主动参与到质量控制中来，进一步提升航空机械制造的整体质量和竞争力。

结束语

综上所述，航空机械制造中的精密加工技术与质量控制是确保航空器性能优越、安全可靠的基石。通过不断探索和应用先进的精密加工技术，结合严格的质量控制措施，我们能够有效提升航空机械产品的制造精度和品质。未来，随着科技的不断进步和需求的持续升级，航空机械制造将继续朝着更高精度、更高效率、更高质量的方向发展。我们期待在这一领域取得更多突破，为航空工业的繁荣发展贡献力量。

参考文献

- [1]郭大伟.现代机械制造工艺和精密加工技术研究[J].中国设备工程,2024,(13):100-102.
- [2]王应帅.机械制造工艺及精密加工技术的应用[J].造纸装备及材料,2023,(11):124-126.
- [3]尹巧灵.现代机械制造工艺与精密加工技术探析[J].集成电路应用,2023,(02):26-27.
- [4]刘金良.现代机械制造工艺与精密加工技术分析[J].世界有色金属,2022,(04):37-38.