

钛合金零件加工工艺研究

孙 博

惠阳航空螺旋桨有限责任公司 河北保定 071025

摘 要: 钛合金因其优异的机械性能和良好的耐腐蚀性,在航空航天、医疗器械及高端机械制造中扮演着重要角色。然而,钛合金的高强度和低热导性使得其加工工艺相对复杂。传统的加工方法如切削、磨削在钛合金加工中面临着刀具磨损快、加工精度难以保证等问题。近年来,随着科技的发展,新型加工技术和优化工艺的出现,为钛合金零件的加工提供了新的解决方案。本文旨在通过对钛合金零件加工工艺的综合分析,为相关领域的研究和应用提供参考。

关键词: 钛合金; 零件加工; 工艺研究

钛合金因其优异的强度与重量比、卓越的耐腐蚀性以及高温性能,被广泛应用于各个领域。钛合金的这些特性使其在现代工程和技术中扮演着重要角色。然而,钛合金的加工难度相对较高,其独特的物理和化学性质对传统加工工艺提出了挑战。

1 钛合金材料的优点

钛合金因其优异的综合性能在航空航天、军事、医疗器械及高端制造业中具有广泛应用。其主要优点包括:

(1) 高强度与低密度。钛合金具有比强度高特点,即在保持轻质的同时,能提供较高的强度。这使得它在要求高强度和轻量化的应用中表现出色,例如航空航天器和高性能赛车中的部件。(2) 优良的耐腐蚀性。钛合金具有出色的耐腐蚀能力,能够抵御酸、碱及海水等各种腐蚀介质的侵蚀。这一特性使得钛合金在化学加工设备、海洋工程及医疗器械中得到广泛应用。(3) 高温稳定性。钛合金在高温环境下表现出良好的强度和稳定性,适用于高温工作条件下的部件,如航空发动机和高温处理设备。(4) 良好的生物相容性。钛合金的生物相容性较好,不易引起人体的过敏反应,因此在医疗器械如人工关节和牙科植入物中应用广泛。(5) 优异的机械性能。钛合金在高强度的基础上,具备良好的韧性和塑性,使其在受力过程中不易断裂,适合于要求高疲劳强度和冲击韧性的应用。

钛合金凭借其高强度、耐腐蚀性、优良的高温性能及生物相容性,成为众多领域中不可或缺的重要材料。

2 钛合金零件加工难点

(1) 高温问题。钛合金的加工过程中,特别是在切

削时,刀具与工件之间由于摩擦产生的热量会迅速聚集,导致切削区温度急剧升高。这种高温不仅会加速刀具磨损,还可能影响零件的加工精度和表面质量。(2) 化学反应。钛合金在加工过程中容易与空气中的氧气发生化学反应,形成致密的氧化膜。这层氧化膜不仅影响刀具与工件的接触,而且增加了加工难度,通常需要在封闭环境中进行加工或在加工前进行适当预处理。(3) 刀具磨损。钛合金的高硬度和强度导致切削过程中刀具磨损速度加快。表现为刀具刃口迅速钝化,需要频繁更换或重磨,这不仅增加了制造成本,也可能影响加工质量。(4) 加工硬化。钛合金在加工过程中会发生加工硬化现象,即随着加工的进行,材料内部会积累更多的残余应力,这使得后续加工更加困难,也增加了崩齿和断刀的风险。(5) 切削力大。钛合金的切削力较大,要求机床和加工工艺具有较高的刚性和稳定性,这对加工设备和工艺参数的设定提出了更高的要求。

钛合金零件的加工难点主要集中在高温控制、化学反应处理、刀具选择与管理以及如何应对加工硬化等方面。解决这些问题需要先进的加工技术、新型切削材料以及优化的加工工艺。

3 钛合金薄壁零件加工工艺方法优化

3.1 加工刀具选择

在钛合金薄壁零件的加工中,刀具选择是关键因素之一。由于钛合金材料的高强度、低导热性和化学活性,传统刀具容易在加工过程中出现磨损加剧、切削力大和热量积累等问题。因此,优化刀具选择能够显著提升加工质量和效率。采用高硬度、高耐磨性的刀具材料,如

硬质合金和陶瓷刀具，可以有效应对钛合金的高硬度特性，减少刀具磨损。此外，采用涂层刀具也是一种有效手段，涂层如氮化钛（TiN）、氮化铝钛（TiAlN）等，能够显著提高刀具的耐热性和润滑性，减少切削热量和摩擦，延长刀具寿命。刀具几何参数的优化对钛合金薄壁零件的加工质量也至关重要。适当增大前角可以减小切削力和切削热，提高切削稳定性；后角的合理设计有助于减少刀具后刀面的摩擦，降低刀具磨损。此外，采用较小的切削深度和进给量，可以减少切削力和热量积累，降低工件变形的风险。在刀具结构方面，采用高刚性的整体式刀具或可转位刀具，可以提高加工过程中的稳定性，减少振动和变形。对于复杂形状的薄壁零件，加工中心刀具库的优化配置，结合多轴联动加工技术，能够提高加工精度和效率^[1]。

3.2 加工参数的确定

在钛合金薄壁零件的加工过程中，合理确定加工参数是关键。切削速度应控制在较低范围内，以减少热量积累和刀具磨损，通常推荐切削速度为30-60米/分钟。进给率的选择要综合考虑加工效率和工件变形风险，通常建议进给率在0.1-0.3毫米/转。为了降低切削力和工件的应力变形，切削深度应设定较小，通常不超过0.5毫米。适当的冷却和润滑措施，如高压冷却和油雾润滑，有助于控制切削温度并提高表面质量^[2]。通过精确调整切削速度、进给率和切削深度等参数，可以显著提升钛合金薄壁零件的加工质量和稳定性，从而达到优化加工工艺的目的。

3.3 冷却液选择

在钛合金薄壁零件的加工过程中，冷却液的选择对加工质量和效率有着至关重要的影响。钛合金材料具有较高的化学活性和导热性差的特点，导致在加工中易产生大量热量，从而引发热应力和工件变形问题。因此，选用高效冷却液尤为重要。水基冷却液因其良好的冷却性能和环保特性，常用于钛合金加工中。这类冷却液能迅速带走切削产生的热量，降低切削区温度，减少热变形和刀具磨损。与此同时，油基冷却液在润滑方面表现优异，能有效减少刀具与工件之间的摩擦，降低切削力和切削温度，但其冷却效果相对较弱。因此，在实际应用中，往往采用水基冷却液与油基冷却液相结合的方式，

以兼顾冷却和润滑需求。高压冷却系统的使用能够显著提升冷却效果，通过高压将冷却液直接喷射到切削区，带走热量的同时，能够清除切屑，保持切削区的清洁，进一步减少刀具磨损和工件表面缺陷。此外，冷却液中添加抗磨剂和防锈剂，可以提高刀具寿命和工件表面质量，防止加工后工件表面出现腐蚀现象。

3.4 切削变形控制

在钛合金薄壁零件的加工过程中，切削变形控制是确保加工质量的关键环节。选用高刚性、高锋利度的刀具，可以有效降低切削力，从而减少热量积累和工件变形。高压冷却液的应用有助于迅速带走切削过程中产生的热量，维持工件温度的稳定，防止因热应力导致的变形。同时，刀具几何形状的优化，如增加前角和减小后角，可以进一步减少切削阻力和热量生成。夹具设计同样在变形控制中起到重要作用^[3]。使用专用夹具确保工件在加工中的稳定性，可以有效防止因振动和位移导致的变形。夹持过程中应力均匀分布，避免局部过大的夹紧力引起的变形。采用适当的辅助支撑和减振措施，可以进一步提升加工的稳定性和精度。

结语

钛合金零件加工工艺的研究对于提升材料利用效率、降低加工成本及提高零件质量具有重要意义。尽管传统加工技术在钛合金加工中存在挑战，但新兴技术如激光加工和超声加工为解决这些问题提供了新的途径。未来的研究应聚焦于优化现有工艺、探索新技术，并考虑实际应用中的环境因素和经济效益。通过不断的技术创新和工艺改进，钛合金零件加工将更加高效、精准，为相关行业的发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 姜俊伯, 吴锐. 对钛合金零件加工工艺方法的探讨[J]. 内燃机与配件, 2019, (11): 97-98.
- [2] 施孝红. 钛合金零件在车削加工中的工艺方法[J]. 科技风, 2018, (09): 70-71.
- [3] 方科喜. 钛合金薄壁零件加工工艺研究[J]. 机电元件, 2018, 38(01): 19-22.