

镍基合金螺旋铣孔加工质量研究

王超,赵军,周咏辉

山东大学机械工程学院高效洁净机械制造教育部重点实验室;

机械工程国家级实验教学示范中心(山东大学)

摘要: 进行了 GH4169 镍基合金螺旋铣孔加工的正交试验及后续检测,研究了加工质量(尺寸精度、表面质量),并以此探究采用螺旋铣孔工艺替代常规钻孔加工镍基高温合金的可行性。试验及检测结果表明:螺旋铣孔工艺制孔的入口质量良好,无毛刺,但出口处质量稍差,出现了较明显的毛刺;在合理的参数选取范围内,制孔的孔径偏差和圆度偏差能够满足航空工业的要求;孔壁最大表面粗糙度 R_a 为 $0.345\mu\text{m}$,远低于常规钻孔的孔壁表面粗糙度,达到了精加工的水平;孔壁表面层出现了一定程度的加工硬化(硬化程度为 $118.8\% - 125.1\%$),但并没有出现热软化现象;孔壁表面残余应力表现为压应力(应力范围 $-902.0\text{MPa} \sim -396.3\text{MPa}$),有利于提高孔的疲劳寿命。因此,螺旋铣孔工艺能够提高镍基高温合金制孔的加工质量,在加工镍基合金时替代常规钻孔工艺是可行的。

关键词: 螺旋铣孔;镍基高温合金;加工质量

中图分类号: TG713;TH161.1

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2019.01.010

Study on Machining Quality of Helical Milling for Nickel-based Superalloy

Wang Chao, Zhao Jun, Zhou Yonghui

Abstract: Through a series of orthogonal experiments in the helical milling process of GH4169 nickel-based superalloy and some subsequent testing, the machining quality (dimensional quality and surface quality) of helical milling is studied and the feasibility of replacing conventional drilling with helical milling when machining nickel-based superalloy is investigated. The results revealed that the machining quality of hole entry is good without any burr, but the machining quality of hole exit is slightly poor with obvious burrs, the dimensional deviation and roundness deviation of hole can meet the requirement in aerospace industry in the range of reasonable parameters, the maximum surface roughness of hole R_a is $0.345\mu\text{m}$, which is much lower than that of hole made by conventional drilling, and reached the level of finishing, the surface layer of hole has a certain degree of work-hardening with hardening capability of $118.8\% \sim 125.1\%$, but no heat softening phenomenon occurs, the compressive residual stress (about $-902.0\text{MPa} \sim -396.3\text{MPa}$) can improve the fatigue life. In conclusion, the helical milling technology can improve the machining quality of hole for nickel-based superalloy, and it is feasible to replace conventional drilling with helical milling while machining nickel-based superalloy.

Keywords: helical milling; nickel-based superalloy; machining quality

1 引言

Inconel 718 镍基合金以其高强度、耐腐蚀性能,特别是在 $600 - 1200^\circ\text{C}$ 的高温环境下表现出的可靠性和稳定性,被广泛应用于航空工业中涡轮发动机结构件的制造。Inconel 718 镍基合金是应用最广泛的镍基高温合金材料之一,约占全部产量的 35%。但是,镍基高温合金也是典型的难加工材料,在机械加工时存在着切削力大、切削温度高、刀具易磨损、加工硬化严重以及加工表面质量及精度不易保证等加工困难,其制孔过程中易出现出入口缺陷、制孔尺寸精度低、孔壁表面完整性差、排屑困难以及刀具磨

损过快等一系列问题。如何在高温合金上实现高效高质量的制孔一直是航空结构件制造加工亟待解决的难题。

Sharman A. R. C. 等^[1]研究了目前用于机械生产的各式钻头在加工 Inconel 718 合金时的刀具磨损情况和制孔表面质量,结果表明单靠钻孔工艺在加工镍基合金时其表面质量难以满足航空工业的要求,必须经过第二道扩孔或铰孔工序;Herbert C. R. J. 等^[2]对 Inconel 718 合金在钻孔和扩孔过程中的表面完整性演化进行了研究,结果发现在第一步钻孔工艺结束后,工件表面会产生高达 $1000 - 2100\text{MPa}$ 的残余拉应力和约 $3\mu\text{m}$ 厚的白层。已有的各种研究表明常规钻孔工艺难以满足航空工业镍基合金高效高质制孔要求,迫切需要寻找替代工艺。

螺旋铣孔工艺是一种新型有效的制孔技术,通