

TC4合金高速铣削时主切削力分析及参数优化

程 香

(泰州机电高等职业技术学校机电系,江苏省泰州市,225300)

摘要 为了进一步了解激光熔覆成型制备TC4合金的切削加工性能,通过设计高速铣削方案对比分析了TC4合金在铸造与激光熔覆状态下的切削性能差异。研究表明:材料表面呈现同向特征,沿同一路径铣削时主切削力超过了90N,呈现出显著的切削作用力。随着进给速度的提高,材料形成更大的主切削力,主切削力达到90N时铣削载荷最小的性能指标。随着加工深度的增加,主切向力呈直线上升的趋势,刃口阻力也明显增大。随着铣削速度的增大,铣削主切削力增加,设置更快的切削速度时可以优化钛合金加工性能。该研究有助于优化铣削工艺参数,也可拓展到其他的机加工领域。

关键词 高速铣削;主切削力;钛合金;参数优化

中图分类号: TG506.1 文献标识码: B
文章编号: 1008-0899(2026)06-0022-02

Ti-6Al-4V(TC4)属于一种高比强度、优异韧性以及耐高温环境的合金,被广泛应用于各种核心工业领域,如航空航天、医疗设备、交通运输。精密测量设备等,为这些领域的技术进步提供了重要支持^[1]。可将其用于制造高强度罩壳、支撑座架、排气装置、隔热层和耐热蒙皮,从而极大地推动了航空技术的快速进步^[2]。

按制造工艺,钛合金分为锻造、铸造等类别。其加工时切削力大、温度高,易引发刀具振动和表面严重磨损,故为难加工材料^[3]。冯亚洲等^[4]设计了基于深度学习和BP网络的钛合金容屑系数预测方法,模型决定系数超0.9,切屑以短带状为主,加工稳定。张泽华等^[5]对钛合金开展微孔钻削Deform-3D仿真与试验,结果表明超声振动钻削较普通钻削在轴向力和温度上均有明显降低。

本文在前人研究的基础上,开展TC4合金高速铣削时主切削力研究,加强参数优化分析,研究结果具有很高的实际意义。

1 实验设置

1.1 试样制备

以钛合金板为对象,采用Lasertel激光器进行激

光熔覆,参数为:功率3250W,扫描速度5mm/s,光斑尺寸12mm×3mm,粉层厚度3mm,熔覆层距0.6mm,激光头与熔覆面间距285mm,通入氩气保护,成功制备TC4试样。随后开展切削实验,通过精线切割将试样加工至50mm×40mm×40mm,并用精密夹具固定,确保切削力分布可控。

在进行高速铣削的过程中,在系统中安装了Kistler 9265B压电传感器用于实时测量切削力。主切削力(F_t)作为沿着铣刀运动轨迹的最大作用力,对整个切削过程至关重要,因此,本研究深入剖析了影响这一关键参数的各种因素。

1.2 实验方案

本实验进行铣削试验的工艺条件如下:铣床型号为FANUC-D14MiA立式加工中心,Walter WMG40型硬质合金刀具,铣刀直径为20mm,刀具参数为前角12°,后角14°,螺旋角35°,铣削速度为100~800mm/min,进给量为0.02~0.10mm/r,切削深度为0.4~1.2mm。开展单齿切削试验,分别比较切削速度、深度和进给量等因素对切削力产生的影响。

2 参数对主切削力的影响分析

2.1 铣削方向分析

图1是对本实验设定的各个铣削方向采用两种方法进行处理所得的结果,可以看到此时的切削力发生了改变。通过试验研究可知,在铣削期间材料表面呈现各向同性特征,且沿同一路径进行铣削时,产生的主切削力超过了90°。这是由于在增材

作者简介:程香(1986~),女,江苏泰州人,本科,讲师,研究方向:机械设计制造及其自动化。

制造过程中,大部分热量都是由激光照射引起。在激光照射下,涂层表面形成了重叠的涂层。当光点继续前进时,晶体温度出现了剧烈变化^[6]。在设定温度梯度下,合金的显微组织也会发生很大的变化,从而使合金力学性能发生变化。

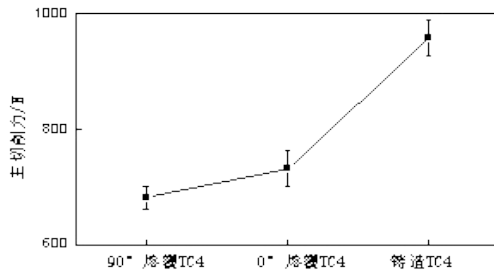


图1 铣削方向对切削力的影响

2.2 进给量分析

图2是在设定各个单齿进给量下所导致的钛合金主切削力变化情况,设定控制速度为400mm/min,铣削深度为0.8mm。随着进给速度的提高,钛基复合材料形成了更大的主切削力。这是因为增加单齿进给量可以使各刀刃产生较大切屑厚度并获得更多未切除物料,从而使切削阻力明显增加。由于铣刀呈现螺旋角结构,在进行铣削加工的过程中,刀具多个刀刃会产生切出效应。在加工过程中,随着刀具刃口切入量增大,加工过程中产生了较大的主切削力。对两种不同类型钛基材料进行铣削试验可以确定主切削力在90°铣削方向时载荷最小的性能指标。

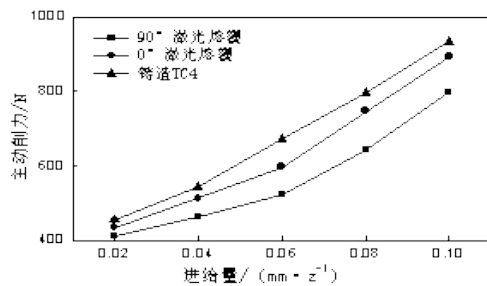


图2 进给量对主切削力的影响

2.3 铣削深度分析

图3是在设定铣削速度为200mm/min和进给量为0.06mm/z的情况下,以不同铣削深度测试得到的主切削力数据。研究表明,随着加工深度的增加,主切削力呈直线上升的趋势。这是因为随着铣削深度增加,刀具需要抵抗更大的能量,此时刃口阻力也明显增大。

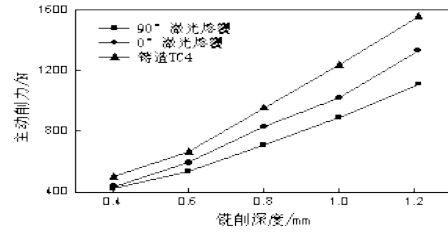


图3 铣削深度对主切削力的影响

2.4 铣削速度分析

图4为不同铣削速度下的主切削力结果(铣削深度0.04mm)。当铣削速度低于400m/min时,主切削力随速度增大而明显增加;超过该值后趋于稳定。实验结果表明,适当提高切削速度有助于优化钛合金的加工性能。

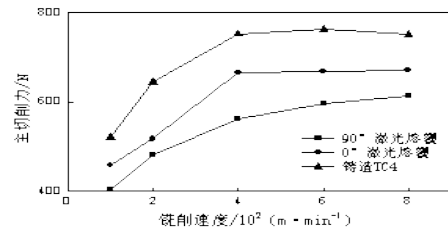


图4 铣削速度对主切削力的影响

3 结论

本文针对激光熔覆TC4合金高速铣削时的主切削力进行分析,并优化工艺参数。材料表面呈现同向特征,沿同一路径铣削时主切削力超过了90N,呈现出显著的切削作用力。随着进给速度、切削深度和切削速度的增加,铣削主切削力增加。后续需要通过表面检测来证明优化参数的有效性。

参考文献

- [1] 贾宗强,白海清,张鑫何,等.TC4钛合金材料钻削仿真与参数优化[J].兵器装备工程学报,2023,44(10):94-105.
- [2] 李云义,李树健,李鹏南,等.CFRP/TC4叠层结构钻削仿真与实验研究[J].宇航材料工艺,2023,53(06):32-39.
- [3] 梁桂强,刘昂驰,高源.钛合金Ti6Al4V与铝合金Al7075-T651钻削性能仿真对比分析[J].组合机床与自动化加工技术,2023(04):133-136.
- [4] 冯亚洲,陶觅辰,刘战锋,等.基于深度学习的TC32钛合金BTA深孔钻削容屑系数和切屑形态研究[J].制造技术与机床,2024(04):57-62.
- [5] 张泽华,董志国,曹桂新,等.Ti6Al4V分离型超声振动微钻削的钻削特性仿真与试验研究[J].工具技术,2023,57(09):64-68.
- [6] 冯亚洲,黄帅澎,刘雁蜀,等.TA15钛合金深孔钻削试验研究[J].制造技术与机床,2022(02):39-42.