

机械加工中深孔加工技术研究

延育东 王 迪

西安航空制动科技有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：机械加工中的深孔加工技术研究旨在探索高效、高精度的深孔加工方法与技术。文章综述了深孔加工的基本原理、关键技术及其发展趋势，重点分析了枪钻加工技术、BTA钻削技术、喷吸钻与DF钻削系统等主流深孔加工技术的特点与应用。通过对比实验数据和实际应用案例，本文揭示了不同加工条件下深孔加工技术的优势与局限，为制造业提供深孔加工技术选择与应用的理论依据和实践指导。

关键词：机械加工；深孔加工；技术研究

1 机械加工中深孔加工的定义

深孔加工是机械加工中的一道重要工序，它特指孔深与孔径比 $L/d \geq 5$ 的孔的加工过程。这种加工方式在机械制造加工中具有广泛的应用，如油缸孔、轴的轴向油孔、空心主轴孔和液压阀孔等都需要进行深孔加工。深孔加工的难度在于刀具细长、刚性差、强度低，容易引起刀具偏斜，同时散热困难和排屑不易，经常导致加工出的孔直径变大、出现锥形或孔偏斜等现象，从而影响加工质量。因此深孔加工需要选用专用的刀具和加工设备，以确保加工精度和表面质量。根据不同的孔深与孔径比，深孔还可以分为一般深孔、中等深孔及特殊深孔三种。在实际加工中，需要针对不同类型的深孔选择合适的加工方法和工艺参数，以满足零件的加工要求。

2 深孔加工技术的特点与挑战

2.1 加工空间封闭，无法直接观察

在深孔加工过程中，一个显著且棘手的特点是加工空间的封闭性。由于孔的深度较大，加工区域往往处于视线之外，使得操作者无法直接观察到刀具的工作状态、切屑的形成以及加工表面的质量。这一特点带来了多方面的挑战。首先，缺乏直接观察意味着操作者无法实时判断刀具的磨损情况，刀具的磨损程度直接影响加工精度和表面质量，如果无法及时发现并更换磨损的刀具，可能会导致加工质量下降，甚至造成刀具断裂等严重后果^[1]。其次，无法直接观察也增加了对加工过程的控制难度，深孔加工往往需要在高压、高速的条件下进行，任何微小的偏差都可能导致加工失败。而操作者无法直接看到加工过程，就难以对加工参数进行及时调整，从而增加了加工的不确定性。另外，加工空间的封闭性还可能导致操作者在操作过程中的心理压力增大，由于无法直接看到加工情况，操作者往往需要对加工过程进行更多的猜测和预判，这无疑增加了操作的复杂性

和风险性。

2.2 切屑排除困难，易堵塞

深孔加工中的另一个重要挑战是切屑的排除。由于孔的深度较大，切屑在孔内难以顺利排出，容易在孔内积聚并堵塞。这不仅会影响加工效率，还可能导致刀具损坏和加工表面质量下降。切屑堵塞的问题主要源于两个方面。一方面，深孔加工中的切削力较大，容易产生大量的切屑。这些切屑如果不能及时排出，就会在孔内积聚并逐渐堵塞孔道。另一方面，深孔加工中的冷却液往往难以有效渗透到孔底，导致孔底的切削热无法及时散发，进一步加剧了切屑的积聚和堵塞问题。切屑堵塞不仅会降低加工效率，还可能导致刀具的过度磨损和断裂。当切屑在孔内积聚时，刀具需要承受更大的切削力和摩擦力，这会加速刀具的磨损。同时如果切屑堵塞严重，甚至可能导致刀具断裂，造成加工失败。

2.3 散热条件差，刀具耐用度降低

深孔加工中的散热条件较差是另一个需要重点关注的问题。由于加工空间封闭且切屑排除困难，导致冷却液难以有效渗透到孔底和刀具接触区域，使得刀具在加工过程中产生的热量无法及时散发出去。这不仅会降低刀具的耐用度，还可能影响加工精度和表面质量。刀具在加工过程中会产生大量的热量，这些热量主要来源于切削力和摩擦力的做功。如果热量无法及时散发出去，就会导致刀具的温度急剧升高。高温会使刀具材料发生热变形，从而影响加工精度；高温还会加速刀具的磨损和腐蚀，降低刀具的耐用度。高温还可能对加工表面质量产生负面影响，当刀具温度过高时，加工表面容易出现烧伤、裂纹等缺陷；同时，高温还会使冷却液迅速蒸发或分解，从而失去冷却和润滑作用。

3 机械加工中深孔加工的主要技术与工艺

3.1 枪钻加工技术

在深孔加工领域,枪钻加工技术以其独特的外排屑方式和高效的加工能力,成为众多工艺中的佼佼者。枪钻,顾名思义,其名称源于最初主要用于军事工业中枪管、炮管的加工。枪钻加工技术特别适用于加工直径范围在3~30mm,长径比超过100的深孔,加工孔的经济精度可达IT8~IT10级,加工表面的表面粗糙度 R_a 为3.2~0.8 μm 。枪钻由切削部分(刀头)、刀杆及传动器等部分组成,刀头的材料可以是硬质合金,也可以是高速钢,具体选择主要取决于工件的材料及硬度。刀头与刀杆之间通常使用高频焊接而成,刀杆则常用冷拉无缝钢管轧出V形排屑沟槽^[2]。枪钻的切削过程是沿着相交于钻尖的内外削刃进行的,钻尖的偏心距通常为半径的50%,外偏角为30°~40°,内偏角为20°,刀尖角在120°~130°之间。这些参数可随加工材料的不同而改变,以达到理想的加工效果。枪钻加工技术的特点在于其V形槽中心交点基本位于钻尖轴线上,有利于钻头的导向和切削稳定性。切削液被加压泵打入钻杆内孔内,然后流过切削刃,将切屑带走。由于钻杆刚性差,不能采用较大的进给量,因此生产效率相对较低。另外,由于切屑是通过钻杆V形槽排出,加工后的孔壁易被铁屑划伤,影响内孔的表面粗糙度。因此,在使用枪钻加工零件前,必须先在零件规定的位置上制出“引导孔”,引导孔的孔径比最终孔径略小0.01~0.07mm,孔深一般为二倍的孔径。枪钻加工技术因其加工精度高、表面质量好而广泛应用于模具钢材、玻璃纤维、特氟龙(Teflon)等塑料以及高强度合金(如P20和铬镍铁合金)的深孔加工中。

3.2 BTA钻削技术

BTA钻削技术,即内排屑深孔钻削技术,是适应更复杂的大直径深孔加工要求而产生的。BTA钻削技术特别适用于加工直径20mm以上、长径比不大于100的深孔,加工精度为IT7~IT10级,加工表面的表面粗糙度 R_a 为3.2~1.6 μm ,生产效率是外排屑深孔钻的3倍以上。BTA钻削技术的核心部件包括多刃错齿的钻头和与之连接的空心钻杆,钻头前端有一排或两排切削刃,切削刃呈双面错齿状,切屑可以从双面切下。钻头通过底部的螺纹与钻杆连接,形成一个整体。在加工过程中,切削液由专用的进液器通过钻杆与孔壁间的缝隙流入切削区域,起到冷却、润滑和排屑的作用。切屑在切削液的作用下,沿钻杆内部的排屑孔向后排屑,实现内排屑。BTA钻削技术的优点在于其内排屑设计避免了传统深孔加工中切屑堆积的问题,提高了加工效率和加工质量。由于切削液能够充分渗透到切削区域,有效地降低了切削温度,减少了刀具磨损。BTA钻削技术还具有较高的加工精度和表

面质量,能够满足多种材料和不同孔径、深度要求的加工需求。BTA钻削技术也存在一些挑战,例如,必须使用专用的机床设备,机床还须设置一个油液切屑分离装置,通过重力沉淀或电磁分离手段,使切削液分离并循环利用。在切削过程中,工件与授油器之间形成一个高压区,所以在钻削之前必须在工件与授油器间形成可靠的密封。

3.3 喷吸钻与DF钻削系统

喷吸钻与DF钻削系统是深孔加工中的另外两种重要技术。喷吸钻利用流体力学的喷吸效应原理发明的双管内排屑深孔钻削方法,特别适用于加工长径比不超过100、直径范围在16~65mm的孔。喷吸钻采用两根同心的钻杆,通过连接器将刀具连接到机床上。切削液流入外钻杆与内钻杆之间,大部分切削液流向切削区域进行冷却和润滑,而小部分切削液从内钻杆尾部的月牙槽高速喷出,形成低压区,促使切屑快速排出。喷吸钻的优点在于其内外钻杆的设计使得切削区域背压间隙的大小成为影响喷吸效果的关键因素。通过调整背压间隙的大小,可以优化喷吸效果,提高排屑效率和加工质量。喷吸钻在加工时会产生真空效果,使得排屑更加灵活和高效。DF钻削系统则是在普通喷射钻的基础上发展而成的一种孔加工刀具,它将普通BTA内排屑深孔钻推出切屑与喷射钻吸出切屑的方法相结合,形成一个独特的加工系统。DF钻削系统的一个钻杆由切削液支托,振动减少,排屑空间较大,加工效率高、精度好。它特别适用于高精度深孔加工,生产效率是枪钻的3~6倍,比BTA内排屑钻高3倍。DF钻削系统的使用成本较高,且对切削液的配比和压力等参数有严格要求。同时由于DF钻削系统的结构相对复杂,对操作者的技术水平和设备维护能力也有较高的要求。

4 机械加工中深孔加工精度与表面质量的控制

4.1 加工精度的影响因素与控制策略

在深孔加工过程中,加工精度是衡量加工质量的重要指标之一,它直接决定了最终产品的性能和使用寿命。加工精度受到多种因素的影响,包括但不限于机床精度、刀具磨损、切削参数、冷却液的使用以及工件材料的性质等。机床精度是深孔加工精度的基础,机床的几何精度、运动精度以及定位精度都会直接影响加工孔的位置精度和形状精度^[3]。因此定期校准机床、保持机床的良好状态是提高加工精度的关键。刀具磨损也是影响加工精度的重要因素,随着加工时间的延长,刀具会逐渐磨损,导致切削力增大、切削温度升高,进而影响加工精度。合理选择刀具材料、优化刀具结构、定期检查

和更换磨损刀具是提高加工精度的有效策略。切削参数的选择同样对加工精度有着重要影响,切削速度、进给量和切削深度等参数的合理设定可以平衡加工效率和加工精度之间的关系。通过试验和优化,可以找到最佳的切削参数组合,以实现高精度的深孔加工。冷却液的使用对于控制加工精度也至关重要,冷却液可以有效地降低切削温度、减少刀具磨损和工件变形,从而提高加工精度,选择适合的冷却液、合理控制冷却液的流量和压力是提高加工精度的有效手段。工件材料的性质也会对加工精度产生影响,不同材料的硬度、韧性、导热性等特性不同,需要采用不同的加工策略和刀具材料才能获得理想的加工精度。

4.2 表面质量的改善方法与技术

深孔加工的表面质量是另一个重要的加工指标,它直接关系到产品的使用寿命和性能。改善深孔加工表面质量的方法与技术多种多样,包括优化切削参数、采用先进的刀具材料和技术、改进冷却液的使用以及应用表面处理技术等。优化切削参数是改善表面质量的基础,通过调整切削速度、进给量和切削深度等参数,可以控制切削过程中的切削力和切削温度,从而减少工件表面的划伤、波纹和烧伤等缺陷。采用先进的刀具材料和技术可以显著提高加工表面的质量,例如,使用硬质合金、陶瓷或立方氮化硼等高性能刀具材料,可以减少刀具磨损和切削热,从而获得更好的表面光洁度。采用涂层刀具、微铣削等先进技术也可以进一步改善表面质量。改进冷却液的使用同样对改善表面质量具有重要作用,冷却液不仅可以降低切削温度、减少刀具磨损,还可以冲洗掉切削过程中产生的切屑和热量,从而保持切削区域的清洁和冷却。通过优化冷却液的配方、流量和压力等参数,可以进一步提高加工表面的质量。应用表面处理技术也是改善深孔加工表面质量的有效手段,例如,采用喷丸处理、化学抛光或电化学抛光等方法,可以进一步细化工件表面的微观结构,提高表面的光洁度和硬度。这些表面处理技术不仅可以改善加工表面的外观质量,还可以提高工件的耐磨性、耐腐蚀性和抗疲劳

性能。

5 深孔加工技术的未来发展趋势

深孔加工技术的未来发展趋势将聚焦于更高精度、更高效率以及更加智能化和绿色化的发展方向。随着制造业的不断转型升级,对深孔加工的精度和效率要求日益提高。未来,深孔加工技术将更加注重提高加工精度,通过优化切削参数、采用高性能刀具材料和先进的加工设备,实现微米级甚至纳米级的加工精度。同时,深孔加工技术将向更高效率发展,通过改进加工工艺、优化生产流程和提高设备自动化水平,缩短加工周期,降低生产成本^[4]。智能化也是深孔加工技术的重要发展趋势之一,随着人工智能、大数据和物联网等技术的不断发展,深孔加工设备将逐渐实现智能化,具备自主监测、自我调整和远程故障诊断等功能,提高生产效率和产品质量。深孔加工技术还将更加注重绿色化发展,通过采用环保型冷却液、优化切削参数和减少废弃物排放等措施,降低加工过程中的能耗和环境污染。

结束语

综上所述,深孔加工技术在机械加工领域扮演着至关重要的角色。随着制造业的不断发展和升级,深孔加工技术将不断面临新的挑战 and 机遇。未来,深孔加工技术将更加注重创新与实践的结合,致力于提高加工精度、效率和环保性能。本文的研究为深孔加工技术的发展提供了一定的参考和启示,期待更多学者和工程师共同推动深孔加工技术的持续进步与发展。

参考文献

- [1]徐晓栋,龚玉玲,夏腾飞.深孔加工工艺参数的响应面试验及多目标优化[J].制造业自动化,2022,44(5):1-4,37.
- [2]陈俐华,武文革,于大国,等.深孔加工技术工艺分析[J].工具技术,2022,56(8):56-62.
- [3]徐晓栋,龚玉玲,夏腾飞.深孔加工工艺参数的响应面试验及多目标优化[J].制造业自动化,2022,44(5):1-4,37.
- [4]陈俐华,武文革,于大国,等.深孔加工技术工艺分析[J].工具技术,2022,56(8):56-62.