

45号钢深孔枪钻切削实验与切屑形态分析

张小粉

(咸阳职业技术学院机电(技师)学院, 陕西 西咸新区 712046)

摘要: 切屑形态对枪钻深孔加工中孔成型精度影响极大, 钻尖生成的切屑易堵塞在V型排屑槽中, 或缠绕在钻头上, 合理的断屑、排屑是保证加工顺利进行的前提。本文采用硬质合金枪钻对45号钢进行深孔加工实验, 采用单因素实验法研究切削速度、进给量对切屑形态的影响规律, 观察发现切削速度较低时, 主要为带状切屑, 切削速度较高时, 主要为单元切屑, 当切削速度保持不变时, 随着进给量的增大, 切屑的主要形状从长带状向单元切屑逐渐转变。当进给量保持不变时, 随着切削速度的增大, 切屑尺寸从大变小再重新变大。

关键词: 深孔加工; 枪钻; 切屑形态; 单因素

中图分类号: TH-39

文献标志码: A

文章编号: 94047-(2019)04-028-005

枪钻是深孔加工常用工具, 因其工艺便捷得到广泛应用, 但深孔加工处于封闭或半封闭状态, 排屑空间相对较小, 孔加工质量不容易得到保证, 限制了其使用。枪钻加工中形成的切屑, 形状与大小关系到排屑是否流畅, 间接的表征其切削性能的优劣^[1,2], 且切屑伴随切削立刻发生, 便于观察, 可作为现场调整工艺参数的依据^[3]。切削速度与进给量是影响深孔加工质量的关键因素^[4,5], 高压冷却液、工艺系统刚性也会影响到切屑形态^[6-8]。近年来, 有限元技术已用在切削过程中轴向力研究^[9], 部分的替代实验。切屑形态分析已经成为深孔加工过程的重要依据^[10-12]。

1 45号钢棒料深孔枪钻切削实验

1.1 深孔钻工艺分析

45号钢棒料及热处理工艺

45号钢棒料在进行深孔钻削前, 首先进行调质处理, 目的是为了减少残余应力或工件材料硬度不均对加工过程产生的影响, 调质处理后, 工件具备良好的机械性能, 主要应用于轴类、齿轮、螺栓等重要零件。本实验中45号钢棒料采用调质处理+表面淬火处理, 目的是提高工件表面硬度, 获得良好的综合机械性能, 调质处理后布氏硬度大约为380~470HB。此外, 调质处理后的工件使用矫直机矫正, 防止在钻削加工过程中轴线出现严重的偏斜。

枪钻切削加工工艺

枪钻钻头选择硬质合金材质, 为非平衡钻头, 钻削过程可能出现力不平衡。事先加工引导孔, 有利于保证加工孔质量的前提下, 缩短加工时间, 提

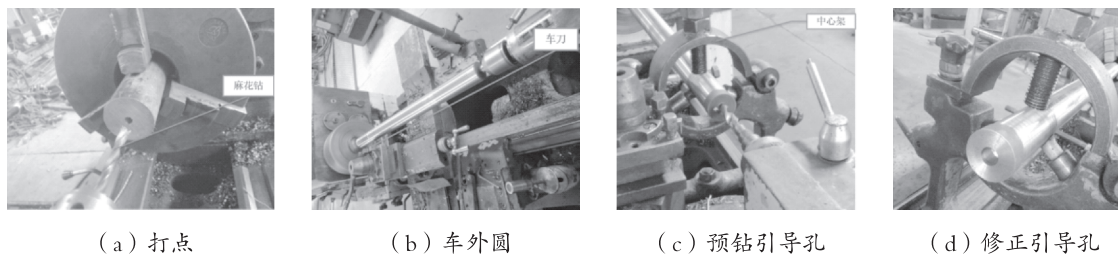


图1 工件加工工序

收稿日期: 2019-07-13

基金项目: 咸阳职业技术学院科研基金项目(2018KYC05)

作者简介: 张小粉(1977—), 女, 硕士, 主要研究方向: 数字化集成制造、先进制造技术。

高枪钻使用寿命。由于机床自身参数限制，本实验研究的枪钻钻削45号钢工件，采用普通钻削，暂不考虑高速钻削。深孔加工工序采用硬三爪定位、夹紧工件，按照打点→车外圆→车端面→预钻引导孔→修正引导孔→钻深孔的加工顺序。工件加工过程如图1所示。深孔切削过程顺序为：①低速进入；②打开冷却液；③提高切削速度；④进刀（不能爬行）；⑤达到深度时关闭冷却液；⑥停转，然后快

速退刀。

切削参数确定

对切削参数的选取依据枪钻材料（直径20mm的硬质合金）和工件材料（45号钢），通过查阅机械手册并结合生产经验，确定切削用量范围： v_c 为40~80m/mm， f 为0.025~0.065mm/r。下面采用单一因素实验法分别分析切屑形态随切削参数的变化规律。实验方案见表1。

表1 实验方案设计

切削参数	选取数值
切削速度(m/min)	40、50、60、70、80
进给量 (mm/r)	0.025、0.035、0.045、0.055、0.065

1.2 实验设备与工件

加工机床 采用西安瑞石机械有限公司改装的深孔加工机床Z2115，该机床由西安机床厂制造，可满足 $L/D>10$ 深孔加工，加工孔径可达35mm，深度

可达1600mm。

工件 试验材料选用调质处理后的45号钢，直径为50mm，长度为750mm，化学成分见表2

表2 45号钢的化学成分

钢号	化学成分（质量分数）							
	Mn	C	Si	Ni	Cr	Cu	S	p
45号钢	0.50~0.80	0.42~0.50	0.17~0.37	≥ 0.30	≥ 0.25	≥ 0.25	≥ 0.03	≥ 0.03

刀具 根据加工材料及机床，选用硬质合金枪钻，钻头几何参数见表3，钻头直径20，钻头长度

50，钻柄直径25，总长1200（单位：mm），钻尖如图2所示。

表3 钻头的主要几何参数

外角	内角	外刃后角	油隙角
20°	15°	10°	30°
内刃后角	钻尖偏心量	转折角	槽型角 θ
10°	5	30°	120°

1.3 实验现象与结果分析

枪钻加工过程中，选择不同工艺参数，可能会产生多种形态的切屑，主要有单元切屑、带状切屑、挤裂切屑和崩碎切屑（图3），当钻头即将钻出时切屑呈现螺旋状（图4）。本实验利用切屑的卷曲状态、颜色及表面判断钻削过程是否合理。钻削加工时，枪钻的内刃和外刃参与材料切削，产生

的切屑在前刀面上沿垂直刀具内、外切削刃的方向移动，应力产生于切屑的交界处，从而使得切屑向上卷曲，内刃切削速度小于外刃切削速度，内刃所产生的切屑流速小于外刃切屑流速，导致切屑向内刃方向卷曲。在高压切削液的作用下，切屑与枪钻或工件产生碰撞，切屑断裂，并沿着V型槽排出。

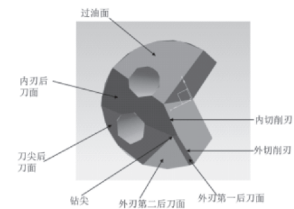


图2 枪钻钻尖



(a) 单元切屑 (b) 带状切屑 (c) 挤裂切屑 (d) 崩碎切屑

图3 枪钻加工切屑类型

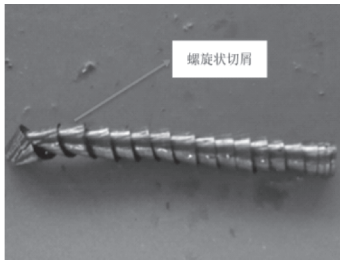


图4 钻头钻出时切屑状态

实验现象与结果分析：在枪钻加工45号钢过程中，外、内刃产生的切屑受切削液冲击与孔壁约束共同作用，导致内刃切屑成扇片状。内刃、外刃产生的切屑相互扭在一起，在切屑冷却液压力的作用下产生具有一定长度的切屑，并随着切削液沿V形槽向外排出。多种因素组合下，当出现排屑障碍时，会堵塞在集屑箱，导致导杆颤动并出现噪音现象。切屑的形状和宽度应在合理范围，不能出现过长的切屑，卷屑、分屑和断屑对排屑非常关键，切屑宽度通常为排屑孔的1/4~1/5；切屑不应呈现螺旋状和长带状，而应呈卷曲状；当被加工孔直径为

20mm时，切屑长度不宜超过12mm，以便于清理切屑，保护机床和人员安全。影响切屑形态的因素的有工件、刀具、切削条件三方面因素，工件的材料、切削参数和枪钻的几何参数是影响切屑形状的关键因素。

2 切削参数对切屑的影响分析

为了更好的观察切屑随工艺参数改变的变化规律，设计了2组对比试验，分别在固定切削速度下与固定切削进给量下进行试验，在实验过程中进行收集切屑，观察切屑形态和记录相关数据，同时观察钻杆振动以及刀具磨损情况，若出现紧急情况，则停止加工。

2.1 恒定切削速度

第1组选区切削速度70m/min，进给量分别取0.015mm/r、0.025mm/r、0.035mm/r、0.045mm/r、0.055mm/r、0.065mm/r进行试验。如图5为切屑形态随进给量的变化规律。

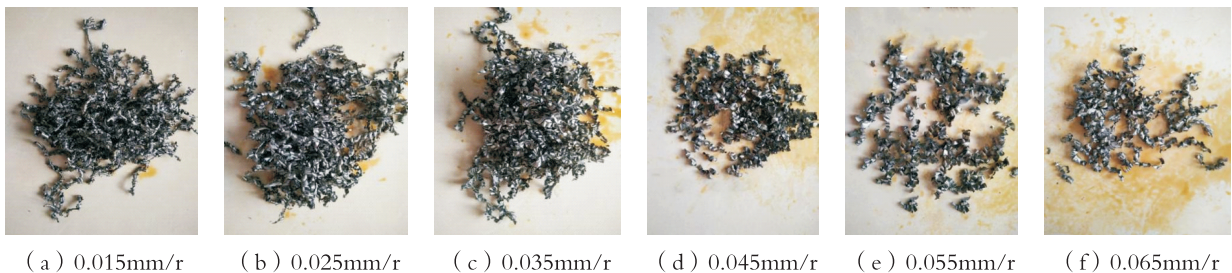


图5 恒定切削速度，切屑形态随进给量的变化

2.2 恒定切削速度

第2组选取进给量0.045mm/r，切削速度分别选择30m/min、40m/min、50m/min、60m/min、

70m/min、80m/min进行试验。如图6为切屑形态切削速度的变化规律。

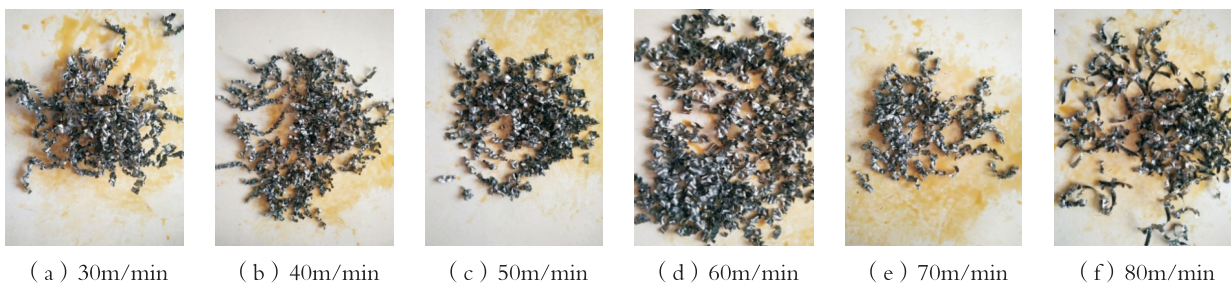


图6 恒定切削进给量，切屑形态切削速度的变化

2.3 结果分析

由第1组实验能够发现，大部分的切屑尺寸随进给量的增大而减小，且断屑效果明显增强。这是由于随着进给量的增大，钻削厚度相应增大，导致切屑厚度也随之增大，切屑刚性有效提高，其卷曲

半径而变小，从而使得侧向卷曲变强，切屑容易折断。

由第2组实验能够发现，在一定范围内提高切削速度对断屑有促进作用，但是在高切削速度时，断屑效果并不明显，还导致断屑效果恶化的情况

($v_c=80\text{m/min}$, $f=0.045\text{mm/r}$), 出现此种情况是因为切削速度过高, 使得钻削温度上升过高, 虽然进给量比较大, 对断屑有利, 但是钻削力和钻削温度也会增加, 这会使得钻头磨损加剧, 加上切屑变软, 从而影响断屑效果。

此外, 进给量并不是越大越好, 其对断屑的影响效果也在一定范围之内, 在第1组切屑图中能够看出, 进给量 $f=0.065\text{mm/r}$ 时产生的切屑长度, 大于进给量 $f=0.055\text{mm/r}$ 时产生的切屑长度。实验中还发现, 加工效率相同的情况下, 低切削速度、高进给量产生的断屑效果往往比高切削速度、低进给量的断屑效果要好。这是因为, 高切削速度会导致过高的温度, 影响断屑效果。低速高进给短屑形态如图7(a)所示, 切屑较厚而短; 高速低进给短屑形态如图7(b)所示, 切屑薄而长。



(a) 低速高进给短屑

(b) 高速低进给短屑

图7 短屑形态对比

3 刀具磨损分析

钻头表面粗糙度差, 易造成在加工过程时出现蹦刀情况, 导致钻头磨损严重。随着重磨次数的不断增加, 产生的钻屑形态不稳定, 并出现断刀、切屑缠刀或堵屑等状况。图8为切屑缠刀情况。图9为枪钻磨损后的切屑形态, 磨损后的钻头加工出的切屑表面会出现明显的横纹。

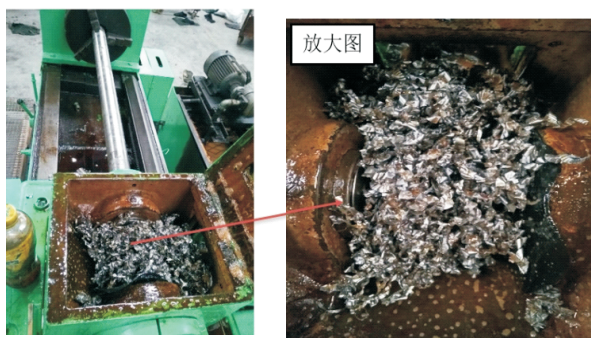


图8 切屑缠刀



图9 枪钻磨损后的切屑

4 结论

本文通过制定枪钻加工45号钢棒料实验, 观察切削过程中切屑的形态, 对切屑的形成过程进行研讨与分析, 得出以下结论:

(1) 钻削过程中产生的切屑形态包括: 单元切屑、带状切屑、挤裂切屑和崩碎切屑等, 切削速度较低时, 主要为带状切屑, 切削速度较高时, 主要为单元切屑; 切削速度和进给量是影响切屑形态的两个关键要素; 切削速度对切屑硬化产生影响, 进而改变切屑状态, 进给量则通过改变切屑厚度影响切屑形态。

(2) 45号钢硬度较高, 产生的切屑易变形, 在高压冷却液的作用下与枪钻、工件内壁碰撞, 产生断裂。切削速度较低时, 产生的带状切屑容易堵塞, 出现缠刀现象, 使枪钻振动, 降低加工质量; 较小的切屑虽易于排出, 但是更易堵塞孔壁与钻杆间隙, 导致被加工孔划伤, 因此, 合理匹配切削参数, 保证切屑顺利排出, 是保证加工质量的前提。

(3) 当切削速度保持不变, 随着进给量的增大, 切屑的主要形状从长带状向单元切屑逐渐转变。当进给量保持不变时, 随着切削速度的增大, 切屑尺寸从大变小再重新变大。在加工效率相同的情况下, 低切削速度、高进给断屑效果往往比高切削速度、低进给的断屑效果要好。加工 $\Phi 20\text{mm}$ 的深孔时, 采用切削速度 $60\sim 70\text{m/min}$ 、进给量 $0.035\sim 0.045\text{mm/r}$ 产生的排屑符合工艺要求。

参考文献

- [1] Wang Y, Yan X, Bin L I, et al. The study on the chip formation and wear behavior for drilling forged steel S48CS1V with TiAlN-coated gun drill[J].

- International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2012, 30(1):200-207.
- [2] Wang Y, Jia W, Zhang J. The force system and performance of the welding carbide gun drill to cut AISI 1045 steel[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 74(9-12):1431-1443.
- [3] 武鹏, 张柱银, 许宁, 张佳丽, 李亮. 枪钻切屑变形对孔表面质量影响研究[J]. 工具技术, 2017, 51(10):58-61.
- [4] 胡江林, 焦剑, 张伟. 加工银铜合金枪钻切削参数优化[J]. 工具技术, 2012, 46(03):28-31.
- [5] 赵丽琴, 王彪, 何谨恒, 刘永姜. 准干式深孔镗削中切屑运动的仿真分析[J]. 机械设计与研究, 2013, 29(02):84-87.
- [6] 胡宽辉, 沈兴全, 马腾, 李建. BTA深孔钻削EA4T钢的屑形研究[J]. 工具技术, 2017, 51(02):49-51.
- [7] 苟琪, 李云芳. 枪钻低频振动钻孔断屑的研究[J]. 工具技术, 1997(7):7-11.
- [8] 房嘉赓, 苗鸿宾, 沈兴全. 枪钻低频轴向振动钻孔的有限元分析[J]. 机床与液压, 2016, 44(01):143-146.
- [9] Guo H, Yang W, Liu L, et al. Simulation Analysis of RuT450 Drilling Force Based on LS-DYNA Gun Drilling[J]. Key Engineering Materials, 2018, 764:271-278.
- [10] 李琦, 裴宏伟, 于勇波, 郭成. BTA深孔钻切削过程实验研究[J]. 机械设计与制造, 2004(01):105-106.
- [11] 李健, 沈兴全, 王唯, 胡宽辉. 基于BP神经网络的深孔切屑形态预测模型[J]. 工具技术, 2017, 51(03):39-43.
- [12] 马龙, 沈兴全, 任晓敏. 高速小直径深孔钻削过程中的切屑形态分析[J]. 制造技术与机床, 2014(02):122-125.

[责任编辑 王军利]

Cutting experiment and chip morphology analysis of 45 steel gun drill with deep hole

ZHANG Xiao-fen

(Department of Mechatronic Engineering (Technician), Xianyang Vocational Technical College, Shaanxi, China 712000)

Abstract: The chip shape has a great influence on the forming accuracy of the deep hole during the gun drilling. The chip generated by the drill tip is easy to block in the v-shaped chip discharge groove or wound on the drill bit. Reasonable chip breaking and chip removal are the premise to ensure the smooth processing. This article of the 45 steel by carbide gun drill deep hole processing experiment, using the single factor experimental method to study the effect of cutting speed and feed on chip morphology, observation found that cutting speed is low, mainly for the continuous chip. Cutting speed is high, mainly for the unit chip. When the cutting speed remains the same, with the increase of feed, the main chip shape from a long strip chip gradually shift to the unit. When the feed rate remains the same, with the increase of the cutting speed, the chip size from large to small and then back to large.

Keywords: deep hole processing, gun drill, chip morphology, single factor