基于玉米铣刀铣孔的进刀方法

贺兴华，戴季新
太原重型机械集团有限公司　山西太原　030024

摘要：在矿用挖掘机履带架支轮孔的铣削加工中，对玉米铣刀进刀方法不断优化改进，总结出了4种进刀方法，从加工效率和刀具寿命两方面进行分析比较，选择插铣进刀法作为加工履带架支轮孔的常用方法，其编程简单易掌握，可使加工效益最大化。

关键词：玉米铣刀；铣孔；插铣进刀

1　序言

在铣削加工中，加工方向与进刀方式的选择十分重要，会直接影响工件的加工精度、加工效率和刀具的使用寿命。玉米铣刀由于刚性好、具有全齿结构以及大容量螺旋槽排屑性能好的特点，非常适合粗铣加工孔。矿用挖掘机履带架有8组支轮孔（前ϕ203mm、后ϕ209mm），焊接前割出预制底孔，但毛坯余量还是很大，单边约25mm余量，深度150mm。前期用玉米铣刀粗铣加工时，尝试了4种不同的进刀方法，下面就进刀轨迹、程序编制做进一步介绍，然后从加工效率和刀具的使用情况两方面进行比较，确定最优的进刀方法。

2　4种进刀方法

工件材料为A633D，设备为TK6920数控落地镗铣床，系统为SIEMENS 840D，刀具为ϕ100mm玉米铣刀，加工现场如图1所示。



图1　加工现场

（1）直线法向进刀　此方法最简单，先直线进刀，再圆周铣削，层层铣削，走刀轨迹最短，其加工轨迹如图2所示。此方法适合工件表面余量小的情况。如果工件余量大，随着直线进刀深度增加，背吃刀量增大，切削阻力不断增大，由直线切削转为圆周切削时，瞬间改变切削方向，刀片极易折损，刀具端盖易损坏。为了减少刀片损坏，降低机床负荷，将直线进刀的进给量设置为正常进给的40%。直线法向进刀加工程序见表1[1, 2]。

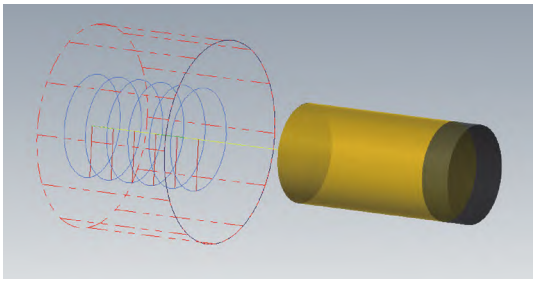


图2　直线法向进刀的加工轨迹

（2）圆弧切向进刀　在数控机床加工中，圆弧切向进刀是一种常见的加工方式。与传统直线进刀相比，圆弧切向进刀的切削力分散，刀具寿命高，机床负荷小，可以提高加工效率。其加工轨迹如图3所示，进刀方向与圆周铣削圆弧过渡，切削平稳；但编程需计算进刀基点和切向圆弧半径，程序段增加，可以将其做成一个固定子程序L01，由主程序调用。圆弧切向进刀加工子程序见表2[3]，主程序见表3[1, 2]。

表1　直线法向进刀加工程序

程序段号	程序内容	说明
N100	R1=(203-100)/2-2.5	R_1刀具铣圆半径，孔留余量5mm
N110	R2=-25	R_2为刀具轴向进刀深度
N120	G0G54X0Y0	第一个孔的中心坐标位置
N130	M42M3S350F240	铣圆进给速度240mm/min
N140	AA:G0W0Z=R2	
N150	G1Y=-R1 FB=100	直线进给速度100mm/min
N160	G3J=R1	顺铣内孔
N170	G0Y0	
N180	R2=R2-25	每刀切削深度25mm
N190	IF R2>=-150 GOTOB AA	
N200	G0Z300	退刀安全距离
N210	M30	

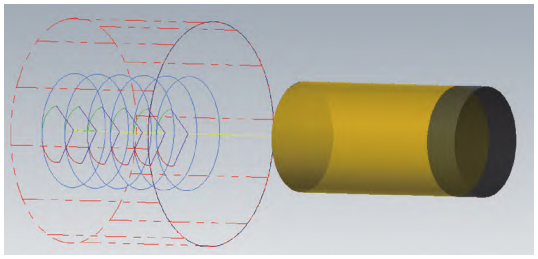


图3　圆弧切向进刀加工轨迹

表2　圆弧切向进刀加工子程序L01

程序段号	程序内容	说明
N100	R2=R1/2	
N110	R3=R1/4	
N120	G1G91X=-R3Y=R3	
N130	G3X=-R3Y=-R3CR=R3	圆弧切入
N140	G3I=R2	顺铣内孔
N150	G3X=R3Y=-R3CR=R3	圆弧切出
N160	G1X=R3Y=R3	
N170	G90	
N180	M17	

表3　圆弧切向进刀主程序

程序段号	程序内容	说明
N190	R1=(203-100)-5	R_1刀具铣圆直径，孔留余量5mm
N200	R4=-25	
N210	G0G54X0Y0	第一个孔中心坐标
N220	M42M3S350F240	铣圆进给速度240mm/min
N230	AA :G0W0Z=R4	
N240	L01	调用子程序L01
N250	R4=R4-25	每刀切削深度25mm
N260	IF R4>=-150 GOTOB AA	
N270	G0Z300	
N280	M30	

（3）螺旋进刀　螺旋铣削是一种成熟的制孔工艺[4]。刀具同时作圆周铣削和轴向铣削，轨迹呈螺旋状，如图4所示。这种铣削方式切削力分布均匀，减小了振动和刀具磨损，提高了加工稳定性和孔的精度。螺旋铣削操作简单灵活，可根据加工要求随时调整加工参数，适应不同孔径的加工。螺旋进刀加工程序见表4[1, 2]。

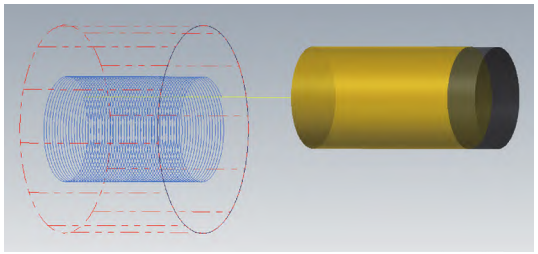


图4　螺旋进刀加工轨迹

表4　螺旋进刀加工程序

程序段号	程序内容	说明
N100	R1=(203-100)/2-2.5	R_1刀具铣圆半径，孔留余量5mm
N110	R2=49	
N120	G0G54X0Y0	第一个孔的中心坐标位置
N130	M42M3S400F600	进给速度600mm/min
N140	W0Z0	
N150	G1X=IC(R1)	
N160	G2 I=-R1 Z-150 TURN=R2	每铣一圈同时轴向进刀3mm
N170	G1X=IC(-R1)	
N180	G0Z300	
N190	M30	

（4）插铣进刀　插铣加工是旋转的刀具沿着Z轴方向直接向下切入工件，并沿着Z轴退刀，然后在X轴或Y轴方向横移一段距离，再作轴向切削[5]。在此次加工中，先用插铣的方式把进刀路线的加工余量去除，形成落刀孔，然后再作圆周层切铣削，其加工轨迹如图5所示，落刀位置如图6所示。插铣与传统的铣削方式相比，插铣的金属去除率可提高50%。虽然插铣有专用的刀具，但在实践加工中证

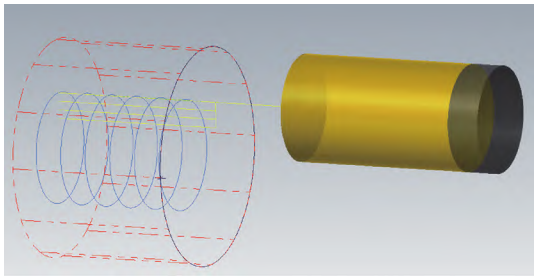


图5　插铣进刀的加工轨迹

明，只要每次切削量不超过刀片的宽度，玉米铣刀也具有插铣的功能，这也是首次将玉米铣刀用于插铣加工。加工程序见表5[1，2]。

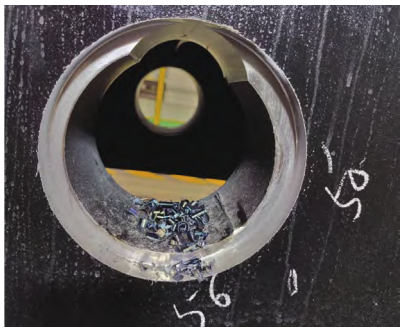


图6　插铣进刀加工出落刀位置

表5　插铣进刀加工程序

程序段号	程序内容	说明
N100	R1=(203-100)/2-2.5	R_1刀具铣圆半径，孔留余量5mm
N110	R2=-25	
N120	G0G54X0Y0	第一个孔的中心坐标位置
N130	M42M3S350F240	铣圆进给速度240mm/min
N140	W0Z0	
N150	Y38	插铣背吃刀量6mm
N160	G1Z-150FB=120	插铣进给速度120mm/min
N170	G0Z0	
N180	Y44	插铣背吃刀量6mm
N190	G1Z-150FB=120	插铣进给速度120mm/min
N100	G0Z0	
N110	Y49	插铣背吃刀量5mm
N120	G1Z-150FB=120	
N130	AA:G0Z=R2	
N140	G3 J=-R1	顺铣内孔
N150	R2=R2-25	铣圆孔每刀切削深度25mm
N160	IF R2>=-150 GOTOB AA	
N170	G0Z300	
N180	M30	

3　4种进刀方法的应用比较

用4种方法分别持续对履带架支轮孔进行加工测试，数据见表6。

由表6数据可知，直线法向进刀的刀片折损停机时间最长。由于单一方向直线进刀，随着径向背吃刀量增加，刀具切削阻力增大，机床负荷增加，主轴抖动，刀片崩刃。为了减少刀片受损，需要分多次进刀，降低进给量，减少背吃刀量，因此导致总加工用时长。圆弧切向进刀，由于两轴同时切向进刀，刀具切削阻力相对较小，刀片折损较少，但增加了编程时间；螺旋进刀刀片折损率最低，机床负荷最小，但加工总用时最长，这是因为刀具切削时轴向螺距小，走刀路线长；插铣进刀切削平稳，阻力小，刀片折损相对较低，适合深孔壁加工。

表6　测试数据

进刀方法	切削时间/min	刀片折损停机时间/min	编程时间/min	总用时/min	机床功率显示（SIEMENS 840D）
直线法向进刀	96	12	5	113	40%～50%
圆弧切向进刀	96	4	8	108	30%～40%
螺旋进刀	205	2	4	211	20%～25%
插铣进刀	98	3	6	107	25%～30%

综上所述可作如下排序。①加工时间：螺旋进刀＞直线法向进刀＞圆弧切向进刀＞插铣进刀。②刀片折损：直线法向进刀＞圆弧切向进刀＞插铣进刀＞螺旋进刀。③机床功率：直线法向进刀＞圆弧切向进刀＞插铣进刀＞螺旋进刀。从加工效率和刀具成本考虑，优选圆弧切向进刀和插铣进刀，而插铣进刀刀路简捷、编程简单，更受编程新手青睐。

4　结束语

4种进刀方法各有千秋，应根据工件材料结构、刀具种类、机床功率等实际情况来选择。在加工履带架支轮孔时发现，玉米铣刀可作轴向插铣加工，适用于深孔壁的粗加工，在挖掘机铲斗、提梁等孔的粗加工中得到了广泛的应用，提高了生产效率，缩短了产品的生产周期，值得推广。

参考文献：

[1] 王占平. 数控铣削编程实例精讲[M]. 北京：机械工业出版社，2014.
[2] 沈建峰，虞俊. 数控铣工/加工中心操作工[M]. 北京：机械工业出版社，2010.
[3] 施玉飞. 数控系统编程指令详解及综合实例[M]. 北京：化学工业出版社，2008.
[4] 汤爱君，李同，王红梅，等. 螺旋铣削的现状和研究趋势[J]. 科学技术，2018（7）：261.
[5] 张宪. 插铣法的特点与应用[J]. 工具展望，2004（4）：12.

MW 20250210