电主轴高速钻削不锈钢微小孔

广州航海学院船舶工程学院　（广东　510725）　唐振宇
广州市敏嘉制造技术有限公司　（广东　511453）　谢政平

随着科技的不断发展进步，不锈钢材料被越来越广泛应用于航空、化工、建筑及食品等各行各业中。通常把含铬量＞11.7%或含镍量＞8%的合金钢称为不锈钢，按化学成分可分为铬不锈钢和铬镍不锈钢。不锈钢属于难加工材料，与碳钢相比，其加工性能表现为塑性大、粘附性强、表面硬化严重、切削热大、尺寸精度和表面粗糙度难以保证等，而不锈钢小孔尤其难加工。微小孔一般定义为直径为0.5～3.0 mm，长度数倍于孔径尺寸的小孔。不锈钢微小孔钻削属于半封闭式加工，排屑困难，加工硬化现象严重，切削温度高，钻头磨损严重。在钻床、数控铣床和加工中心上采用普通高速钢麻花钻钻削时，容易出现钻头易折断、排屑不畅、切削热大等问题。因此不锈钢小孔钻削必须有适合其特点的加工要素，以适应数控机床自动加工的要求，提高加工效率和刀具寿命。

1. 高速电主轴不锈钢钻削试验

采用钻削电主轴进行项目试验是本研究的关键。电主轴的变速范围由变频交流电动机控制，具有调速范围宽、响应快、速度高等优点。在钻削难加工不锈钢材料时，可根据不同的材料性能、加工要求，快速地选择合理的切削用量。根据转子动力学理论，当主轴转动速度远大于主轴系统的固有角频率时，能够提高主轴旋转的稳定性，起到自动对心的作用，可提高钻孔的入钻定位精度。钻削电主轴具有结构简单紧凑、振动小，主轴跳动精度高等优点，明显提高了钻孔的加工精度和表面质量（如表面粗糙度和圆度）。电主轴是机床主轴由内装式电动机直接驱动、实现了机床的“零传动”的一种高速主轴。

（1）不锈钢钻削试验　试验平台为德国DMU60T高速加工中心（选用SFM3542B—12/0.4TMP的电主轴，其额定功率为400 W，最高转速为12 000 r/min，转速可在0～12 000 r/min之间调速）、加速度传感器、YDM—Ⅲ99测力仪、电荷放大器和计算机等组成，如图1所示。钻削试验的工件为3 mm厚不锈钢板1Cr18Ni9Ti，试验中对该工件钻削1.2 mm通孔，在试验平台上采用单因素法，只改变钻头材料、进给量、主轴转速其中一个因素，进行钻削力和转矩的试验，YDM—Ⅲ99型整体式测力仪可以测量X、Y和Z向切削分力，同时测力仪的力信号运用计算机里的测力仪集成软件处理后，可以得到切削力、转矩等相关的试验数据，以此探讨切削力、切削功率等规律。钻削试验参数如附表所示，试验数据如图2、图3所示。

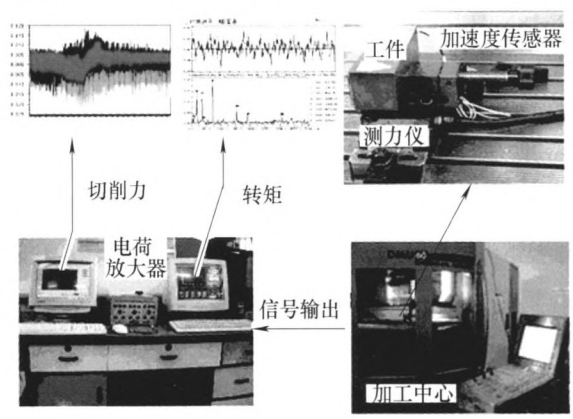

图1　不锈钢钻孔试验平台

钻削试验参数表

钻头材料	进给量f /（mm·r^{-1}）	主轴转速n /（r·min^{-1}）	对应的钻削速度v /（m·min^{-1}）
硬质合金、含钴高速钢	0.025、0.05、0.1	7 000、9 000、12 000	26、34、45

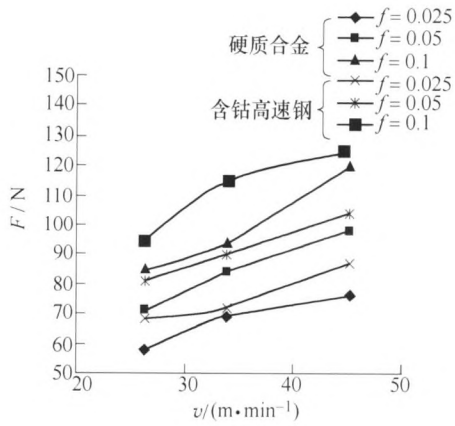

图2　切削力 F 与钻削速度 v 的关系

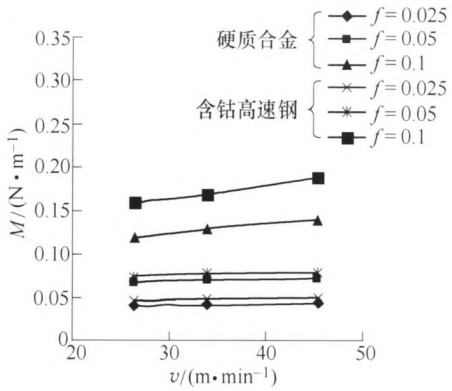

图3　转矩 M 与钻削速度 v 的关系

（2）试验结果及分析　①钻头材料的影响。在图2和图3中给出了采用直径为1.2 mm的硬质合金钻头和含钴高速钢钻头钻削不锈钢板，在不同进给量下 F—v 和 M—v 的关系。经分析可知，不锈钢1Cr18Ni9Ti钻削的切削力 F 和转矩 M 随着钻头材料的不同会出现相对应的变化，使用含钴高速钢钻头的 F 和 M 分别比硬质合金钻头大7%～25%和10%～40%。究其原因是，硬质合金钻头比含钴高速钢钻头具有更好的导热性和耐热性、更高的硬度和刚度。随着钻头材料硬度和刚度的提高，其切削力 F 和转矩 M 也会相应地减小。②进给量 f 的影响。由图2、图3可知，钻削不锈钢1Cr18Ni9Ti时，F 和 M 均随着 f 增大而增大。究其原因是，随着 f 的增大，切削刃的切削厚度成正比增大，切削面积也相应地增大，因此 F 和 M 增大。不论是采用硬质合金或是含钴不锈钢钻头，F 和 M 随着 f 增大而增大的趋势均是一致的。③钻削速度 v 的影响。由图2、图3给出的1Cr18Ni9Ti钻削试验 F—v 和 M—v 的关系分析，F 和 M 均随着 v 的增大而增大；当 $v>34$ m/min、$f>0.05$ mm/r时，F 和 M 增大的趋势更加明显。究其原因是，随着切削速度和进给量的提高，钻削过程中产生的钻屑跟钻头发生粘结，使得排屑不畅，引起 F 和 M 的急剧增大。钻削后工件如图4所示，可以看出，当 $v=34$ m/min、$f=0.1$ mm/r时，就会产生严重的排屑不畅，使得钻孔穿孔时带有明显的飞边和毛刺。

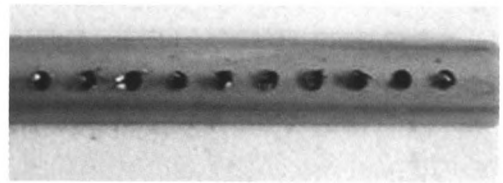

图4　钻孔后的工件

2. 不锈钢小孔钻削的工艺对策

根据试验结果，针对不锈钢小深孔钻削的难点，结合不锈钢小孔加工的特点，提出以下工艺对策。

（1）钻头材料的选择　常用的刀具材料有硬质合金和高速钢两大类。因高速钢切削不锈钢时的切削速度不高，影响了加工效率的提高，但高速钢比硬质合金的成本低，耐冲击韧性强，所以目前大多数小孔钻削加工还采用高速钢刀具。硬质合金刀具材料主要有YG（钨钴）类、YT（钨钴钛）类和YW通用类。YG类和YT类硬质合金的导热性、耐磨性、耐热性及硬度方面都较好，适合不锈钢材料的切削。正因为硬质合金刀具在耐热性、硬度上都优于高速钢，其对不锈钢小孔加工的钻削力小，钻削温度较低，易切削。因此，为解决钻头直径小、易断的问题，提高小直径钻头的硬度和刚度，降低其钻孔加工的钻削力，可选用高性能硬质合金钻头。

（2）合理的切削用量　小直径孔的加工如果仍采用传统的低速钻削方式，据切削加工理论分析，会出现单位时间内材料的切除率非常低，造成切削加工时间长，加工效率低等。切削速度对钻削温度和钻头寿命的影响最大，进给量次之，吃刀量影响最小。因此采用高速电主轴的钻削加工方式对不锈钢进行小孔加工，选择合理的切削用量非常重要。

（3）适当的切削液　针对不锈钢钻削加工切削热的问题，实践中常采用合理的切削液来解决。本试验中选用添加了极压物质SP的极压乳化液与水按重量比1:20混合而成的切削液，该切削液润滑性能好，渗透能力强，特别适合不锈钢小孔钻削加工。

车削过程中影响断屑的因素及改进措施

鹤壁市机电信息工程学校 （河南 458030） 陈金堂

在车削零件过程中，如果不能及时断屑，切屑容易缠绕在工件表面上，使切屑乱飞，从而把工件表面拉毛，影响表面粗糙度和加工精度，甚至损坏刀具，更严重者会发生人身安全事故，其后果不堪设想。因此，操作者需时常停下车床来及时清理切屑。所以说，断屑在车削生产中是一个很重要的问题，应给予足够的关注与重视。

影响断屑的因素很多，主要有断屑槽、切削用量、刀具角度和加工工件材料4个方面。

1. 断屑槽的影响

（1）断屑槽形状的影响　断屑槽的形状一般有直线圆弧型、直线型、圆弧型三种。

直线圆弧型断屑槽由一段直线和一段圆弧组成，直线部分构成车刀的前刀面，槽底圆弧半径影响切屑的变形和弯曲。半径小时，切屑半径小、变形大，易折断。反之，半径大时，不易折断。

直线型断屑槽由两段直线组成，两段直线的夹角具有圆弧作用，夹角小则切屑半径小，变形大，易断屑。反之，则不易断屑。

常用于加工不锈钢的切削液还有硫化油、硫化豆油、煤油加油酸或植物油、四氯化碳加矿物油、极压乳化液等。

（4）采用步进钻孔加工工艺　针对深孔钻孔排屑困难和易断屑的加工问题，采用步进钻孔的方法即啄孔的方式来解决。步进钻削是一种非常有效的小深孔加工手段，由于钻头反复回退需消耗大量时间，加工效率偏低，试验也证明选择高速电主轴高切削速度切削下，可以适当增加切削进给量，提高加工效率。**MW**

（收稿日期：20140321）

圆弧型断屑槽是指断屑槽的形状是圆弧，半径小时切屑半径小，变形大，易折断。反之，则不易折断。

（2）断屑槽宽度的影响　断屑槽的宽度对断屑影响较大，当断屑槽宽度较小时，切屑上的弯曲应力大，容易折断。但是，为了使切屑折断，切屑槽的宽度应和吃刀量相适应，如果吃刀量较大，则断屑槽应稍宽，当断屑槽较窄时，不易在槽中弯曲，而形成带状切屑流出。切屑槽较宽时，切屑流出比较自由，变形较小，不易折断。所以，应根据切削深度来选择合适的切削槽宽度。

（3）断屑槽斜角的影响　断屑槽斜角有外斜式、平行式、内斜式三种。

外斜式断屑槽形状前宽后窄，前深后浅，因在工件外圆切屑速度最高，切屑槽最窄，切屑最先弯曲，则弯曲半径小，变形大，切屑容易碰到车刀后面折断，所以，该切屑槽较理想。

平行式断屑槽是指切削刀刃和断屑槽平行，槽宽前后一样，槽深前后一样，该断屑槽断屑效果不如外斜式，需加大进给量才能达到断屑的效果。

内斜式断屑槽形状前窄后宽，前浅后深，在工件外圆处，切屑槽最宽，在刀尖处最窄，由于断屑槽后面又宽又深，切屑会流向车刀后面，碰到槽壁弯曲，沿着切屑槽形成螺旋状流向切屑槽深处，到一定长度后靠自身重量而折断或靠离心力摔断，所以，该断屑槽也是一种理想的断屑槽，但切削深度不易太大。

2. 切削用量的影响

在切削三要素中，影响最大的是进给量，其次是切削深度，最后是切削速度。