

不锈钢取样锥微孔国产化加工工艺分析

■ 聚光科技（杭州）股份有限公司（浙江 311700）潘言涛

■ 杭州尼彩自动化有限公司（浙江 311700）陈梁

摘要：分析不锈钢取样锥微孔类零件的加工工艺，攻克不锈钢微孔加工难关，助力高端试验室检测设备国产化加速。

取样锥是LC-MS（液相色谱-质谱联用）/ICP-MS（电感耦合等离子体质谱）上的核心关键器件，该件在使用过程中需要经常维护和更换取样锥，采购渠道主要从国外进口。采购周期较长，费用也较高，且国际一线设备商一般都与国外专业加工厂商签有排他性协议，不得为竞争对手加工同样或类似的零件，设备国产化研制进程缓慢。

1. 图样工艺分析

如图1所示，零件材料为进口的SUS316L，该零件的主要加工难点有：

（1）316L不锈钢材质，导热系数低，加工硬化严重，特别是锥孔底部的薄弱处。

（2）定制的64°内锥孔成形，刀尖部磨损严重，刀尖断裂的风

险很高，锥孔底部尺寸难加工到位。

（3） $\phi 0.35\text{mm}$ 的钻头（粗加工）及 $\phi 0.4\text{mm}$ 的钻头（扩孔）刚度差，截面积小，散热慢，钻头磨损严重，断裂的风险极高。

（4）内外圆同轴度不高、锥底部结构薄弱，存在变形、孔径超差、圆度超差、破边及毛刺不易去除等问题，这些问题都会影响到零件装机后的测试灵敏度，关系到整机性能。

（5） $\phi 0.4\text{mm}$ 的圆柱长度只有 0.02mm ，没法实现，经与研发部门讨论后改为 $0.1_{+0.01}^{+0.05}\text{mm}$ ，但加工难度仍然很高。

2. 加工过程

（1）数控车。按图2所示的工艺图加工至图样要求，也可按图3所示加工。图2中右端面、图3中右端面及锥面都留有 0.2mm 的加工余量，此工序加工时建议采用图2所示工艺加工， $\phi 10.5\text{mm}$ 的圆柱长度有利于后续工序装夹，图3在调头加工下一工序时，装夹长度过短、装夹精度降低。加工时需一次装夹，加工出各部位的尺寸。

（2）加工中心调头加工，以 $\phi 10.5\text{mm}$ 的外圆定位装夹、校正并找正圆心，钻 $\phi 0.35\text{mm}$ 、深 1mm 的微孔，如图4所示。

钻不锈钢微孔时的注意事项：微孔钻头刃部细长、刚性差、易偏斜及断裂，又因为不锈钢材质导热差、硬化层严重及钻

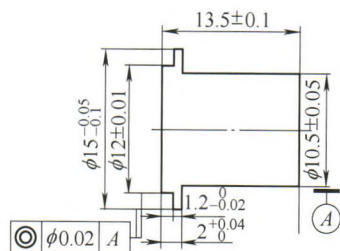


图 2

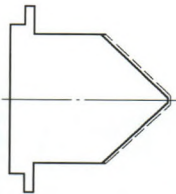


图 3

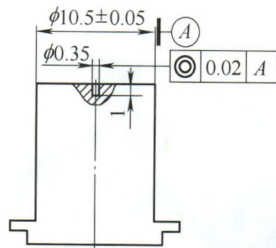


图 4

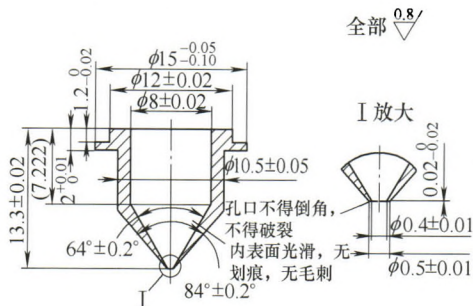


图 1

头排屑不畅，导致升温快、磨损严重等问题。

针对上述问题选用了日本CKK品牌的微孔钻头，如图5所示，该钻头专为微孔加工开发，钻头采用柄部加粗结构，增加钻头刚性，适用于不锈钢、钛合金及合金钢等材质，该规格钻头推荐的加工参数：转速11 000r/min，进给速度45mm/min，为了提高钻头的寿命，在实际加工中将进给速度下降至20mm/min，转速不变，切入时进给速度 $v_f=10\text{mm/min}$ ，每次进刀0.05mm，退刀一次，切入后变为 $v_f=20\text{mm/min}$ ，每进刀1mm，退刀一次，转速仍为11 000r/min，加工模式为G83钻孔，经钻削验证，加工过程顺利，没有断钻头，孔的尺寸也很稳定。

$\phi 0.35\text{mm}$ 微孔钻削中还有两个关键点需要注意：①中心孔必须钻正，且钻尖横刃要足够小，不然起不到定心作用。②尽可能

的采用高速机床及专用高精度刀柄，如图6、图7所示。该机床转速最高18 000r/min。

(3) 加工中心找正外圆及圆心，去内锥孔余量。先分别钻 $\phi 7.5\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 2\text{mm}$ 及 $\phi 1\text{mm}$ 的孔，深度如图8所示；再粗精镗 $\phi 7.5\text{mm}$ 孔到 $\phi 8\pm 0.02\text{mm}$ 、深 $7.12^{+0.05}_{-0.1}\text{mm}$ 、用两把 $\phi 8\text{mm}$ 硬质合金棒（不锈钢专用）改制成的锥孔刀粗精钻 64° 锥孔（见图9）。

64° 锥孔的深度尺寸很关键，用成形刀钻削时，因为刀尖不准确，对刀时误差会很大，过浅会导致锥孔与 $\phi 8\text{mm}$ 圆柱接不顺；过深会导致锥孔底部 $\phi 0.4\text{mm}$ 孔圆柱长度消失，零件直接报废，为此，设计了图10所示锥孔深度检验工装，通过加工中不断调整深度及检测，来精确控制 64° 锥孔深度。

64° 锥孔成形刀如图11所示，该刀具是在工具磨床上磨削出来的，为防止加工中刀尖崩

裂，将刀尖尖部做了磨平处理，磨平后的刀尖不大于0.3mm，粗钻锥孔时转速800r/min、 $v_f=30\text{mm/min}$ ，每次进刀0.2mm，退一次刀；精钻锥孔时转速不变， $v_f=30\text{mm/min}$ ，每次进刀0.2mm，退一次刀。粗精加工都采用G83模式钻孔，勤排屑。

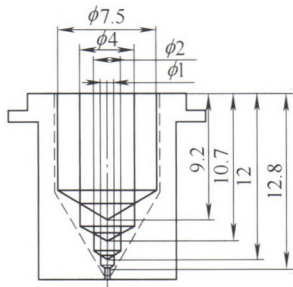


图 8

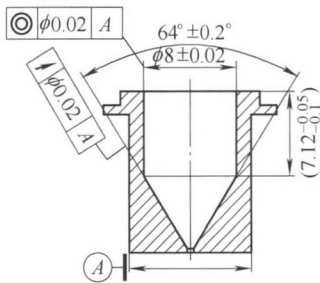


图 9

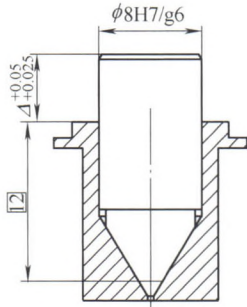
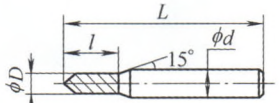


图 10



图 11

CX500-MD



直径 D	公差 (h6)
0.1~0.5	-0.005
0.5~0.9	-0.01
1	-0.015

图 5



图 6



图 7

(4) 数控车。按图12所示，制作专用工装心轴，用螺纹环轴向锁紧，精车外锥及总长。车外锥时有2个关键点需要注意：①精车外锥时，车刀要采用大前角的35°菱形刀片，刀尖R0.2mm，减小切削阻力，防止锥口挤压变形。②心轴与零件圆柱内孔面的配合间隙控制在0.01mm以内，且心轴轴线与主轴旋转轴线的同轴度要控制在0.005mm以内，越高越好，一旦间隙及心轴轴线同轴度误差过大，会导致偏心，锥孔口部会破边（图样单边厚度只有0.05mm），零件直接报废。③按图12所示加工的心轴会存在过定位情况，可将心轴外锥部分车小0.05mm或0.1mm左右，靠端面及圆柱部分定位，加工时就能很好地保证总长公差。

(5) 加工中心。采用图12所示的心轴工装，校正并找正圆心，用图6或图7所示的高速钻铰中心、高精度刀柄、 $\phi 0.4\text{mm}$ 日本CKK钻头，扩 $\phi (0.4 \pm 0.01)\text{mm}$ 达图1所示图样要求。

此工序加工注意事项：锥口处很薄弱， $\phi 0.4\text{mm}$ 孔在钻削中进给量不能过快，如果过快，可能是挤压而不是钻削，会导致孔径超差、圆度超差、孔口胀裂及毛刺严重等问题。

(6) 终检。其他的尺寸及公差检验都较容易， $\phi 0.4\text{mm}$ 孔

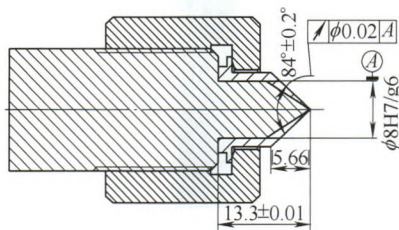
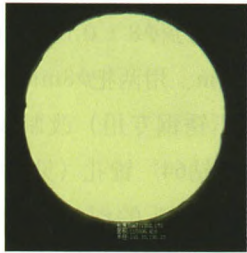
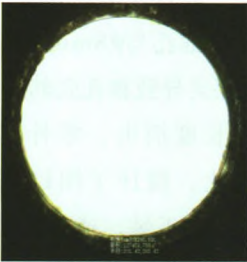


图 12

不易用常规的检验方法（通止规等），此次借助了显微镜检验（共加工7件，抽取4件做对比），结果如附表所示。

抽样结果对比表	
样品1（半径191 μm ）	
	
样品2（半径201 μm ）	
	
样品3（半径197 μm ）	
	
样品4（半径194 μm ）	
	

从上述4个样品检测结果来看，发现前述加工工序过程中还需加强控制，第2、3样品有光源穿透，而第1、4样品几乎没有，说明内锥孔的深度控制得不够好，第2、3件相对第1、4件的内锥孔深度要深，锥口更薄弱，就容易透光

了；但第1件孔径超差（偏小），第4件有毛刺，圆度超差。

3. 疑点解析

(1) 为何要选择进口 SUS316L 材料。该零件在使用中需要电加热，还有液态流体穿过，必须防锈及耐一定的腐蚀及高温氧化；锥口薄弱处结构对材质的考验很高，所以选用进口 SUS316L。

(2) 加工过程中的第2工序——粗钻 $\phi 0.35\text{mm}$ 孔，为何不放在第3工序与内锥孔一起加工，还能减少一次装夹？如果放在第3工序加工，必须先将内锥孔加工好，再钻中心孔，然后钻 $\phi 0.35\text{mm}$ 孔，一是中心钻及钻头要悬长些，刀具装夹精度会降低；二是切屑会积在内锥孔里，较难排出，钻头断裂风险高；三是钻头在钻穿底面时，钻头两刃的切削力会不平衡，材料被钻穿时的撕裂力会影响钻头刚度，甚至断裂。如放在第2工序就没有这样的风险，且操作方便。

(3) 内锥孔及 $\phi 0.4\text{mm}$ 为何不采用电火花放电工艺？因为放电过程中，电极存在损耗，尺寸、圆度、表面粗糙度都很难控制好。即使采用损耗小的钨铜电极或硬质合金电极、主轴带C轴功能的电火花机床，虽能提高尺寸精度及圆度，但表面粗糙度值要达到 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 还是较难，虽然镜面电火花工艺能实现 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 的表面粗糙度值，但外协成本较高，且没有实际验证过该工艺，较难判定合理性，相比钻削加工没有优势，故采用钻削工艺。

(4) 毛刺去除。 $\phi 0.4\text{mm}$ 孔作为最终加工工序，加工后的孔

高效可转位插补镗铣刀及应用

■ 哈尔滨第一工具制造有限公司 (黑龙江 150070) 张国福

摘要: 本文介绍了一种国产立装结构的高效可转位插补镗铣刀, 阐述了其结构、特点及所用刀片的优点, 并给出了应用参考及案例。

传统的预加工孔或预铸孔的镗削绝大部分是采用镗刀镗削或用铣刀进行圆周插补镗削, 插补镗铣削是将这两种加工方法相结合, 就是刀具既径向进给同时又轴向进给, 这样减少了刀具, 提高了孔的尺寸精度, 没有了空行程运动, 因此, 减少了加工时间和刀具费用, 特别是汽轮机壳体、机床导轨及船用柴油机箱体等大型工件的预加工孔、孔端面、口面及台阶面等, 在数控落地镗铣床上采用插补镗铣削是一种最经济的方法, 高效可转位插补镗铣刀是这一加工方式最佳的刀具选择。

1. 插补镗铣刀的结构特点

(1) 插补镗铣刀的结构特点。插补镗铣刀为英格索尔立装结构, 如图1所示, 铣刀由铣刀

体1、圆周刀片2、圆周刀片螺钉3、端面刀片4及端面刀片螺钉5等配件组成, 圆周刀片及端面刀片镶在铣刀体的刀槽中, 刀片中间带有螺钉孔, 分别通过螺钉与刀体联接, 靠切削力夹紧, 定位可靠, 刀片转位、更换方便。

如图2所示, 铣刀的刀片搭接形式有两种, 一种是图2a所示的单面端齿形式, 另一种是图2b所示的双面端齿形式。双面端齿

形式是在单面端齿形式的基础上, 在基面端增加同样数量的端齿, 可以轴向反进刀, 插补镗铣另一端面。图2中B尺寸为刀具的轴向切削宽度, 一般为固定值, 通常采用3个同样规格的刀片搭接, 有效齿数根据不同的刀具规格, 一般为2~11组, 刀片交错排列, 有效降低切削抗力; H尺寸为刀具的径向切削宽度, 决定刀具的插补端面时一次进刀的切削宽度, 一般采用1~4个同样规格的刀片搭接, 以满足不同的切削

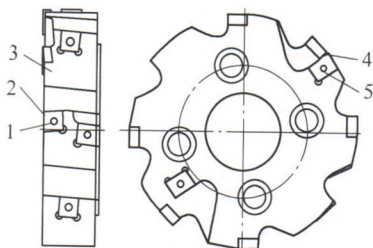
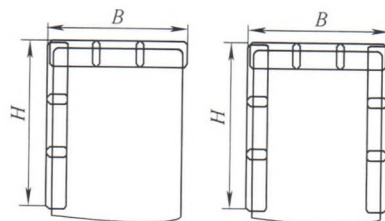


图1 插补镗铣刀结构

1. 铣刀体 2. 圆周刀片 3. 圆周刀片螺钉
4. 端面刀片 5. 端面刀片螺钉



(a) 单面端齿 (b) 双面端齿

图2 插补镗铣刀刀片搭接

去毛刺要非常仔细, 须借助投影仪或放大镜放大毛刺并去除, 因零件全部表面粗糙度值都不得超过 $R_a=0.8\mu\text{m}$, 所以要选用3 000目以上的砂纸修磨毛刺。不得采用酸性药水及超声波去毛刺, 会腐蚀及破坏锥口薄弱处。

4. 结语

该工艺还可用在截取锥、萃取锥等镍质材料上, 该类零件对材质、刀具、工艺方法及细节控制要求很高, 高质量的材质及专用刀具可通过进口获得, 但工艺方法、细节控制等需要更多的钻

研及掌控, 这些措施做好了, 国产化加工的零件是完全可以替代进口配件的。

参考文献:

[1] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2003.

MW (收稿日期: 20161223)