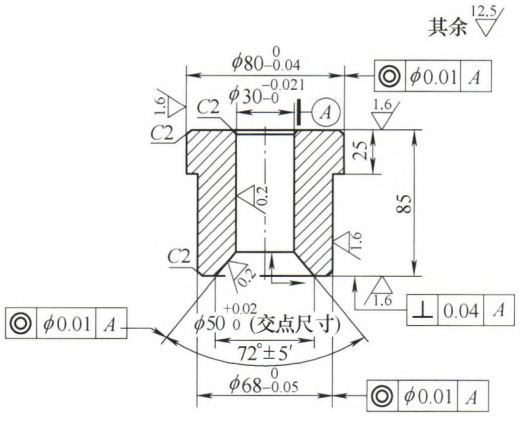
超锥角锥孔零件磨削工艺

南阳市红宇工模具制造有限公司 （河南 473000） 牛东尚

我公司在夹具、模具及量具等工装生产加工过程中，经常会遇到超出磨床加工范围的大锥角低表面粗糙度值锥孔零件的加工，限于现有的加工设备、加工工具、加工原理和环境因素及工件长短的影响和限制，加工制造过程十分困难，不能满足零件的尺寸精度和表面粗糙度要求。工件如附图所示。



工件尺寸图

工件为单件生产。加工难点之一是锥孔度数 72°±5′的磨削加工；二是要求锥孔表面粗糙度值 R_a 在 0.2 μm 以下。按照一般磨削加工方法，在普通磨床上磨削这种大锥角零件，如果采用成形砂轮切入磨削，加工出的锥孔形状精度差，表面粗糙，产生很多废品，影响生产进度。如果采用纵向磨削法，许多磨床不是头架或床身扳不到斜角 36°，就是头架或床身虽然能扳到斜角 36°，砂轮退足还是不能进入锥孔磨削。对于缺少磨削大锥角磨床设备的企业，在加工此类零件时，必须选用新的加工工艺。

我公司经过工艺创新试验，改变设备限制条件，选用合理的磨削方式，粗、精磨分开进行，以减少磨削热和内应力，减少工件变形，利用石墨砂轮（或 F120 细粒度砂轮表面涂绿色研磨膏的方法）精磨削；选用合理的磨削参数及磨削液充分冷却的方法来加工这类大锥角零件，经过多次调试改进，最终将该工艺试制成功。现分述如下。

1. 磨削方式的选择

内孔磨削按获得工件尺寸形状所采用的进给形式分为纵向磨削法和切入磨削法。切入磨削法是工作台或砂轮无纵向进给运动，砂轮整个表面连续横向切入，砂轮表面修整痕迹会复映到工件表面上，表面粗糙度值较大，产生的磨削热多，排屑困难，砂轮容易堵塞和磨钝，工件容易烧伤和发热变形。纵向磨削法是砂轮转动，工件反向转动，工作台（工件）或砂轮作纵向直线往复进给运动，可适当增加光磨次数来获得较高的加工精度和较小的表面粗糙度值。附图所示零件内孔表面粗糙度值 R_a = 0.2 μm，选用纵向磨削法具有一定优势。

2. 磨削难点

我公司现有 MBD215、MD215、MD2110 和 MD2110C 四种内孔磨床，其中 MBD215 和 MD215 两种内孔磨床主轴最大回转角度 30°，可加工锥角度数 60°；MD2110 和 MD2110C 内孔磨床主轴最大回转角度 20°，可加工锥角度数 40°。均无法按纵向磨削法加工附图所示 72°锥孔，只能用成形角度砂轮横向切入磨削。砂轮表面修整痕迹会复映到工件表面上，影响零件加工表面粗糙度。另外前道工序的形状误差也会复映到加工表面上，误差复映影响零件的形状精度，零件的表面粗糙度和形状精度均不理想，且要求有较高的操作技能。经过试验，不能满足零件的技术要求。在这种情况下采用切入法磨削，对

于满足零件的形状精度和表面粗糙度要求有较大的困难。

3. 磨削方法

综上所述，要想选用纵向磨削法加工低表面粗糙度值的大锥角零件，只能选择另外加工范围广的设备或改变设备的限制条件来克服磨床回转角小的困难。由于 M1432A 头架主轴径向跳动 0.002 ~ 0.003 mm，精度高，头架逆时针可回转 90°，加工范围大。液压系统有排气装置，运行平稳，故选用 M1432A 磨床来加工附图所示锥孔零件。又锥孔纵向磨削只有两种方法：一是转动工作台磨削，二是转动头架磨削。M1432A 上工作台最大回转角度逆时针转动小于 10°，不能满足 36°斜角要求，而单独转动头架虽可旋转至 36°，但受工件长短的限制，砂轮退足还是不能进入内孔磨削，这时采用上工作台和头架联合转动角度的方法，将上工作台逆时针转动一个角度 β，同时头架逆时针转动角度 α，使 $\alpha+\beta=36°$即可。

另外，M1432A 外圆磨床由于生产厂家和生产日期不同，上工作台逆时针转动角度也不同。我公司现有上海机床厂早期生产的 M1432A（规格 ϕ320 mm×1 000 mm）磨床，上工作台最大回转角度：顺时针 3°，逆时针 6°。当逆时针转到 6°时，工作台就转不动了。由于工作台逆时针转角只有 6°，当头架逆时针转到 36° - 6° = 30°时，砂轮退足还是不能进入锥孔磨削。当拆除工作台转动丝杠丝母后，可使上工作台下面的限位圆柱销直接接触下工作台限位面，能增大上工作台转角 2°左右。所以采用拆除工作台转动丝杠丝母，逆时针推动上工作台到极限位置成 8°角，头架移动到机床左端极限位置并锁死，并逆时针转动头架 28°角，使上工作台逆时针转角与头架逆时针转角之和等于 36°。由于头架左移到极限位置，砂轮杆应选用外圆直径 32 mm、磨削长度 214 mm 的深孔磨削砂轮杆，砂轮退足即可进入锥孔磨削。同样的情况也适用于 M1432（ϕ320 mm × 1 000 mm，上工作台逆时针最大转 6°）磨床适用。若有 M1432（ϕ320 mm × 1 500 mm）或 M1432A（ϕ320 mm×1 500 mm）磨床，应优先考虑在 M1432（ϕ320 mm × 1 500 mm）或 M1432A（ϕ320 mm × 1 500 mm）磨床上加工，这时头架可向左端移动更大的距离，可纵向磨削长度更长或角度更大的工件。

4. 粗精磨的划分

实现表面粗糙度值 $R_a=0.2$ μm 的方法很多，如流体喷射抛光、研磨抛光及浴法抛光等，虽都能降低表面粗糙度值，但由于很难控制零件的形状精度，抛光后经常会降低。特别是手工研磨抛光，时间短，表面粗糙度值降低不多，达不到 $R_a=0.2$ μm 的要求。抛光时间长，误差更大，经常把锥孔抛成中间凸或凹，形状精度难控制。附图所示零件，由于锥体角度公差较小，母线要求较严，使用精磨后手工抛光的方法有很大的缺陷。在缺少特种超精加工设备的情况下，在普通磨床上，有以下两种方法可实现零件的低粗糙度值和形状精度要求。

（1）细粒度砂轮 + 石墨砂轮。粗磨选用 F60 ~ F80 号粒度，精磨选用 F120 号粒度，硬度 K 级的树脂结合剂白刚玉磨头。根据经验，在普通磨床上，粗磨后留 0.06 ~ 0.08 mm 余量。经精细修整砂轮后精磨，留 0.02 ~ 0.03 mm 的超精磨余量。精磨后，表面粗糙度值可达 $R_a=0.4$ μm 左右。在高精度磨床上精磨后，表面粗糙度值可达 $R_a=0.2$ μm 以下。无论如何，超精磨前的表面粗糙度值应达 $R_a=0.4$ ~ 0.8 μm。超精磨时，选用 F600 或更细的粒度，并以石墨为填料硬度 E 级的树脂结合剂石墨砂轮。石墨砂轮经过精细修整，在磨削力的作用下，微刃有伸缩的余地，等高性更好。

随着磨削时间的增加，微刃逐渐被磨钝，产生摩擦抛光作用，使工件表面变得更光滑平整。用清洁磨削液清洗冷却（锥孔较短时可干磨），砂轮越出磨削表面两端 1/3 或 1/2 左右即可。视表面状况，经 10 ~ 15 次或更多次的纵向走刀光磨，表面粗糙度值可达 $R_a=0.1$ μm，高精度机床可达 $R_a=0.02$ μm，形成镜面。

（2）细粒度砂轮 + 绿色研磨膏。粗磨选用 F60 ~ F80 号粒度，精磨选用 F120 号粒度，硬度 K 级的树脂结合剂白刚玉磨头。粗精磨时加大清洁磨削液流量，及时带走磨削热，冲洗掉堆积在气孔中的切屑和脱落的磨粒，防止工件过热和砂轮堵塞，引起加工表面破坏，表面粗糙。粗磨后留 0.06 ~ 0.08 mm 余量，经精细修整砂轮后精磨，留 0.02 ~ 0.03 mm 的超精磨余量。精磨削后，可获得 $R_a=0.4$ μm 的表面粗

糙度。超精磨时，选用F120粒度、硬度K级的树脂结合剂砂轮。经精细修整后，表面均匀涂抹一层绿色研磨膏，经10～15次的纵向走刀，即可满足零件的使用要求。

精磨后也可不再修整砂轮，稍微磨钝的砂轮具有更好的等高性，直接在砂轮表面均匀涂抹一层绿色研磨膏进行超精磨。在超精磨削过程中，可连续多次均匀涂抹，用清洁磨削液清洗冷却（磨削液不够清洁或锥孔较短时超精磨可干磨，效果稍差，但表面粗糙度也可达 R_a=0.2 μm左右）。经10～15次或更多次的纵向走刀光磨，表面粗糙度值可达 R_a=0.2 μm左右。由于此方法对工人的操作技能要求较高，砂轮经常会因为研磨膏堵塞气孔而造成零件表面的烧伤及粗糙度质量变差。且由于砂轮两端如果涂抹不均匀，也容易造成直线度超差，需要较高的操作技能。经验少的操作者可优先选用方法一，即用F600粒度的石墨砂轮超精磨，选用石墨砂轮超精磨对工人操作技能要求较低，方法简单，上手快。需要强调的是，由于超精磨余量只有0.02 mm左右，如果前道工序造成的划痕太深，表面质量太差，即使用粒度更细的超精磨砂轮多次地光磨，也达不到预期效果。

5. 磨削参数

实践证明，选择附表所示的磨削参数能有效降低表面粗糙度值，提高零件的表面质量。

磨削参数表

	粗磨	精磨	超精磨
砂轮线速度/（m·s^{-1}）	15～20	15～20	15～20
工件线速度/（m·min^{-1}）	5～15	5～15	5～10
工件纵向进给速度/（m·min^{-1}）	1.5～2.5	0.5～1.5	0.05～0.20
工件横向进给速度/（m·双行程$^{-1}$）	0.01～0.03	0.002 5～0.01	0.002～0.005
横向进给次数	5～10	5～10	1～3
光磨次数	1～3	5～10	10～25或更多

6. 磨削步骤

砂轮的修整是精密磨削的关键，砂轮用0.5克拉或1克拉金刚石笔精细修整。金刚石笔每次切入砂轮量为0.02～0.03 mm，移动速度为6～25 mm/min，修整2～4次后再无切入修整一次。粗磨时砂轮表面可修整得粗糙些。磨削过程为：

（1）检查各手柄、手轮、手把和按钮均在停止或后退位置，接通电源。

（2）启动按钮使油泵运转，打开排气阀，排除油压系统内的空气后再关紧。

（3）严格控制磨床的头架主轴跳动在0.003 mm以内，电机采取隔震措施，选用刚度较好的磨床。

（4）装夹工件，找正外圆和端面0.05 mm以内，并检查锥孔跳动。

（5）修整砂轮并粗精磨直孔、外圆和端面。

（6）移动头架至左端最大极限位置并锁死头架，拆去上工作台转动丝杠，逆时针转动上工作台至最大位置8°，并逆时针转动头架28°，使头架转角和上工作台转角之和等于36°，微调角度合适后锁死上工作台。

（7）修整砂轮并粗精磨72°±5′锥孔至尺寸。

（8）工件的检测：表面粗糙度对照粗糙度样板目测检验。锥孔用锥度塞规涂色法检验，交点尺寸可用万能工具显微镜检测或三坐标测量。由于此锥角较大，用锥度塞规不容易检测出交点尺寸，磨削锥孔时，锥度塞规大端可稍低于工件端面0.01～0.1 mm，平面磨先吸零件下端面磨光上端面，保证两端面平行度0.005 mm以内，再磨零件下端面，用磨零件下端面的方法来控制交点尺寸较为容易。

7. 结语

零件锥孔经过在M1432A（规格 ϕ320 mm×1 000 mm）磨床上试磨，获得较为理想的效果，经生产车间使用，压制出的产品完全满足使用要求，改变了压制品质量一直不稳定的状况，减少了事故率，赢得了客户的好评。**MW**

（收稿日期：20140412）

通　知

本刊编辑部为了方便广大读者朋友的沟通交流，特别申请了“金属加工（冷）作者群”，QQ群号是7880924，欢迎大家加入！

本刊编辑部