

小直径、深长度内孔直槽的铣削加工方法及专用铣头

阮罗辉 蔡彬彬

慈溪汇丽机电股份有限公司 浙江 慈溪 315333

摘要：机械加工领域；关于一种直径小内孔长度深的直槽加工方法及专用铣头的加工方式研究，文中详细阐述了该工艺方法的技术构思，包括刀具加工轨迹、切削参数使用方法，并深入研讨了专用铣头的结构设计和工作原理，如动力传递方式、刚性补偿方法及导向防振措施，通过实例说明该方法能有效地解决小直径、深长度内孔直槽的加工难题。

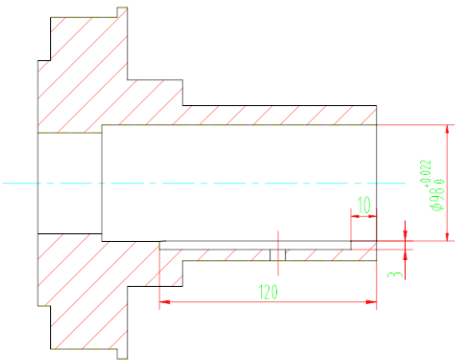
关键词：内腔直槽；主轴转换；齿轮传动

引言：机械加工中轴套类零件装配使用的键槽一般采用插铣、铣削加工或者线切割的方式进行加工，但常规的加工方式适合于贯通式槽型的加工。针对于非贯通式加工一直是很多公司的痛点。

研究过程：

1 问题提出：

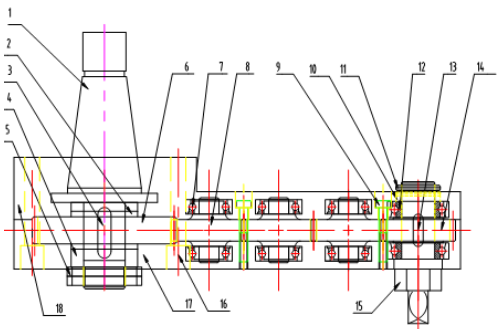
我们加工的一种轴套产品，在一 $\phi 98$ (H6) 的孔内有供润滑用的非贯通的轴向直槽（如附图 1）。虽然精度要求不高，但其结构和所处位置很特殊，常用的插削或铣削加工无法实现。也尝试采用加工中心配角向铣头的方式来解决，终因受轴套的孔径小或槽的长度的限制，要么是角向铣头伸不进孔里，要么其加工行程不够而没有成功。因此我们不得不自行开发一种专用工具来解决这一工难题。



(附图 1)

2 解决方法

2.1 自行设计和制造专用铣头（如附图 2）



(附图 2)

该铣头的结构由：锥柄（序号 1）、垫圈 1（序号 2）、平键 1（序号 3）、

垫圈 2（序号 4）、锁紧螺母 1（序号 5）、大齿轮（序号 6）、向心推力轴承（序号 7）、带轴齿轮（序号 8）、垫圈 3（序号 10）、锁紧螺母 2（序号 11）、平键 2（序号 13）、小齿轮（序号 14）、刀杆（序号 15）、下箱盖（序号 17）、上箱盖（序号 18）零件组成。

2.2 自制铣头安装在普通立式铣床（如附图 3）

2.3 自制铣头与机床主轴连接

铣头的连接方式采用 X5030A 立式铣床，配有 BT50 锥柄结构。该设备具有自锁功能、定位精度高、传递扭矩大等多种特点，日常使用上装卸方便和加工性能高的特点。为了保障装配后的精度，需用使用拉紧螺栓从主轴顶部穿过，通过螺栓的螺纹连接拉紧，使刀具锥面与主轴内锥孔精密贴合安装。这一安装动作可以有效去除安装间隙提高装配精度，保证在正常加工过程中，产生的力不会影响加工尺寸及连接刚性。

2.4 铣头的安装方式及要点

在铣头安装以后,还需要关注侧向安装定位要求:自制铣头的上组合箱盖应与铣床主轴端面前端的法兰盘完全贴合没有缝隙,确保没有悬空,以做到面和锥同时贴合。此方法考量的就是用最少得空间,提供最大的刚性,从而能够满足铣头的设计加工行程、高刚性加工,以此来确保在可以进行深槽加工。

2.5 安装铣头的角度确定及校正方法

根据设计加工的要求,人为转动铣头的朝向,使安装加工的刀具方向与待加工工件槽方向一致。校正方法如下:在工作台面上吸附磁性表座,安装百分表。将表头顶在铣头上进行刻度标记,移动工作台,根据刻度数值变化调整铣头角度,直至工作台行程范围内读数变化最小,尽可能的行程最大化。此过程可主要为了保证铣头与工件安装与设计相匹配且加工垂直度符合图纸要求^[1]。

2.6 铣头的最终安装夹紧

当铣头安装角度校正完成后,使用4根M8的单头螺栓,穿过铣头连接板的四个安装孔,与主轴法兰盘上对应的4个螺纹孔相互拧紧。拧紧方式按对角线逐一拧紧,过程中采用4颗螺栓都先完成预紧后在进行最后的紧固工作,使铣头连接面与主轴法兰盘完全贴紧。该拧紧方式能在铣削过程中减少振动与切削力,有效的避免加工过程中铣头产生角度变动。

2.7 铣头上槽刀的安装方式

把所需要直径的铣槽刀安装到有弹簧夹头的刀杆上进行紧固后,把刀具柄部插入铣头,使用锁紧螺母进行紧固配合。



(附图3)

2.8 机床带动铣头工作的原理

动力输入方式:主轴驱动锥柄旋转

当启动机床主轴后,主轴开始按设定进行旋转。由于安装了自制铣头,主轴传动通过锥面已经转入了铣头上,

因此主轴旋转后带动自制铣头旋转,进行同步旋转。锥柄作为铣头的动力输入前端,与主轴之间没有相对力的影响,都是采用齿轮传动,通过齿轮导向,力矩稳定。

2.8.1 一级减速设计:大齿轮驱动三级带轴齿轮

自制锥柄尾部安装一个大齿轮。当主轴旋转时,锥柄扭矩传导大齿轮随之转动。大齿轮因与三个带轴齿轮同时啮合,再驱动三个齿轮逐级转动。传动方式:三齿轮串联传动:大齿轮传导第一带轴齿轮,第一带带轴齿轮在传导第二带轴齿轮,第二带轴齿轮传导第三带轴齿轮,以此完成实现最终自制铣头的旋转,可以实现铣头加工且满足旋转扭矩的要求^[2]

2.8.2 动力输出方式:小齿轮驱动弹簧夹刀杆

第三颗带轴齿轮的输出轴端安装有一个小齿轮。该小齿轮与弹簧夹头刀杆上的对应齿轮相配合。当三个带轴齿轮逐级驱动最终动力传到小齿轮时,小齿轮便将动力传递给弹簧夹刀杆,使其进行旋转可以进行切削。但是需要注意的是:弹簧夹头刀杆本身通过轴承安装在自制铣头上,其一端为齿轮用来接受动力,另一端为弹簧夹头用来夹持刀具。小齿轮带动刀杆齿轮旋转,即等同于刀杆旋转进行切削。

3 刀具工作:刀杆带动铣槽刀旋转

弹性夹刀杆的前端通过弹性夹头和锁紧螺母,牢固夹持着铣槽刀。当弹性夹刀杆旋转时,铣槽刀随之同步旋转,形成稳定的切削运动。此时,铣头即处于“工作状态”。操作者通过移动工作台,使旋转的刀具切入工件材料,从而加工出所需形状与尺寸的槽。

4 产品加工的方式

4.1 操作前准备:工件定位与夹紧

在进行任何切削操作之前,操作者首先应将待加工工件按照工艺要求放置在专用的工装夹具上。

4.2 手动接近与对刀:使刀具安全进入Φ98孔

手动操纵工作台接近铣头,工件夹紧完成后,操作者用手依次转动铣床工作台X(纵向)、Y(横向)、Z(垂向)三个方向的手柄,以手动进给方式移动工作台,使工件整体缓慢、安全地靠近旋转轴线上的铣头。

对准孔中心线,通过采用对刀工具百分表,通过调整工作台的方向位置,两边取中,找正工件及刀具中心保证一致,使安装的铣刀精准对准工件上Φ98孔的中心线。刀具以缓慢的速度进入Φ98孔内保持机床不动,操机人员观察后继续手动控制方向手柄进行移动,使铣刀以极低的进给速度下降,从孔口缓慢的进入Φ98孔的内部,直至刀尖到达产品的切削起始深度位置既可以进行切削。

4.3 启动主轴与切深进给

到位后启动主轴旋转,当铣刀已安全进入 $\Phi 98$ 孔内且在正确的起始位置后,启动铣床主轴旋转,让铣头带动铣槽刀开始旋转。先以较低转速启动进行预走刀,确认旋转平稳无干涉后,再提升至加工所需转速。在刀具旋转状态下,操作者缓慢转动垂向手柄,向上抬升工作台,使产品相对于刀具在深度方向逐步切入。当观察到铣刀在工件孔壁上切入深度达到 3mm 时,停止手柄进给。此时刀具已完成径向切深设计,完成切深的工作准备进行下一步。

4.4 自动进给加工直槽

开启工作台横向自动进给

切深到位后,操作者打开工作台横向(Y轴)的自动进给开关,使工作台带动产品沿垂直于孔中心线的方向匀速直线移动。完成 130mm 长度的槽加工自动进给机构触发行程挡块或限位开关,运动自动停止,标志着直槽切削完成。

4.5 退刀与完成加工

下降产品使刀具脱离工件

加工完毕后,先手动控制垂向(Z轴)手柄,使铣刀沿径向退出工件已加工表面,直至刀具与工件之间至少有 2mm 的安全间隙。

刀具横向退出 $\Phi 98$ 孔

在刀具已脱离工件表面且高于孔口后,操作者手动转动横向(Y轴)手柄,将铣刀沿横向退出 $\Phi 98$ 孔,使刀具完全离开工件内部。

4.6 加工完成确认

完成上述所有步骤后,直槽加工即告结束。操作者可关闭主轴,取下工件进行检查,测量槽宽、槽深、槽长以及位置精度是否满足图纸要求^[3]。

5 此方法的技术构思及改善思路:

5.1 在本次设计加工方案中,型号为 X5030A 的普通立式铣床,我们并没有把他当做传统的直联式铣削设备,而是把他当做成为一个动力源头,并配有工作台及满足我设想加工的铣床设备。非直联式装刀:机床主轴不直接安装铣刀进行铣削,通过采用内部 BT50 锥孔与外接自制铣头配合连接使用。动力传递方式:本设备主轴作为旋转动力输出源,其自身的旋转运动后通过锥柄将旋转扭矩传递给铣头内部的齿轮传动机构,最终驱动安装在铣头上的刀具旋转,设备主轴固定,自制铣头刀具旋转。功能定性:这种设计方法就是将机床主轴从原本的直连刀柄加工的方式改换成“转化动力传动方式”,主要体现在设备主轴只

负责提供动力源的输出扭矩,通过这样采用普通立式铣床现有动力,又改变原本设备设计的固定旋转的方式,完美实现了在孔内狭小空间进行铣削加工。

5.2 为满足在工件 $\Phi 98$ mm 孔内部加工直槽的需求,自制铣头设计成 L 形框架结构,具体设计要求如下:L 形外形特征,因要考虑高刚性,安装完成后铣头从侧面看,呈“L”状。铣头尺寸控制:铣头在含铣刀安装后最大回转直径需要小于 $\Phi 98$ mm。这意味着整个主轴夹持完成以后铣头的前端可以无障碍地伸入工件的 $\Phi 98$ 孔中,且不接触孔壁,这样在孔内刀具加工时,不会发生干涉或碰撞,确保能够加工产品。这样设计的目的,在有限的孔内加工环境中,实现铣削工作完成图纸要求。

5.3 铣头采用三级齿轮传动副,充分利用了齿轮传动可实现长距离传递动力与改变旋转方向的特点,从而解决了“主轴位置固定、刀具位置需偏移且方向转换”的矛盾。其具体工作原理如下:动力源为主轴通过锥柄将旋转运动输入至铣头内部的第一级齿轮。并通过齿轮副的啮合关系,使主轴旋转传导方向发生 90° 的变化,这样实现的第一次变向,从主轴垂直方向转为水平方向,然后在通过三级齿轮副的作用形成第二次的变向,将最终的旋转调整至刀具所需的切削轴线方向。三级传动副如下:第一级:输入啮合,降速或增速;第二级:中间过渡与偏移;第三级:输出至弹簧夹头刀杆,驱动刀具。

结语

本次扩展设计的原理:以锥柄规格为适配接口,给普通铣床增加转弯加工功能;本方案中的自制铣头与机床主轴的连接核心在于锥柄连接。不同型号的普通立式铣床虽然主轴锥孔规格有所不同,但其动力传动方式基本一致都是锥孔安装刀具加工。因此,若要对本方法进行推广应用,只需根据目标铣床主轴锥孔的具体规格,改变铣头上所配置的锥柄型号,而无需改变铣头内部传动结构,根据自己的需求设计铣头样式。这种“接口标准化、内核通用化”的设计思路,使该铣头设计思路具备了极佳的参考思路。

参考文献

- [1] 李英兰.全自动直角铣头的可靠性提升[J].金属加工(冷加工),2023(04):90-94.
- [2] 童水光,江一波,杨鲜苗,童哲铭.齿轮传动系统动力学性能设计研究与应用进展[J].机械工程学报 2025,61(11):140-161.
- [3] 施佐纲.现代机械制造及精密加工技术研究[J].机电产品开发与创新,2024,37(02):227-229.