# 高速大功率车铣电主轴后置圆锥摩擦锁紧机构设计

广州市敏嘉制造技术有限公司 （广东 511453） 谢政平
广东工业大学 （广州 510520） 姚松亮 郑秀宏 李锻能

车铣复合加工中心属于多轴联动机床，能在一次装夹中完成全部或者大部分加工工序，包括车、铣、钻、镗、攻丝等多工序。带有 $C$ 轴功能的伺服电主轴，夹持工件具有分度定位和联动功能。特别当工件需要在某一角度进行钻孔、攻丝、铣槽或铣平面加工时，需要靠 $C$ 轴的分度定位，并在分度定位后进行主轴锁紧，以免切削力引起振动或位移影响加工精度。车铣电主轴是车铣复合加工中心的心脏，而主轴锁紧是车铣复合加工中心电主轴的一个特殊要求，是车铣电主轴关键技术之一。

机床加工后需锁紧的时候，高速主轴在伺服电动机制动的作用下，停止在某个准确位置，然后锁紧机构动作，利用机械锁紧力固定主轴。锁紧过程中，要求机构的动作不得造成主轴轴向位移，特别是不能对主轴产生圆周扰动。锁紧以后，要求机构有足够的锁紧力和刚性承受切削载荷。目前，常见的主轴锁紧机构有摩擦片圆周锁紧和三齿盘固定角度锁紧等。摩擦片圆周锁紧利用机构对轴向柔性较好的摩擦片施加摩擦力，但是锁紧机构中摩擦片易磨损，性能不稳定，影响主轴锁紧精度。三齿盘结构只能实现有级角度锁紧，任意角度的锁紧还要借助其他机构实现，锁紧机构过于复杂，体积大。

本文在对比已有主轴锁紧机构优缺点的基础上，针对车铣电主轴锁紧问题，设计出一种体积小、结构紧凑、锁紧可靠、锁紧过程对主轴精度没有影响的车铣电主轴后置圆锥摩擦锁紧机构。

## 1. 机构原理

车铣电主轴后置圆锥摩擦锁紧机构如图 1 所示。

图 1 所示是车铣电主轴两个不同方向的剖面图，结构为内胀套 4 固定在主轴 5 上，且可随主轴 5 做旋转运动；外胀套 2 位于后法兰 8 和弹簧碟片 1 之间，通过内、外胀套上不可自锁 20°配合锥面套在内胀套 4 上；弹簧碟片 1 套在内胀套 4 上，并通过固定柱 10 和固定螺钉 9 与后法兰 8 固定，同时弹簧碟片通过锁紧螺钉 6 与外胀套 2 锁紧；外胀套 2 内设有 6 个均匀

将工装 2 直接套在小柱或活塞杆的侧孔处，把工装 3 配好密封后放入 $\phi$10mm 的孔内，然后将工装 2 和工装 3 联系起来，用螺钉固定在外圆上，使工装 3 在进行打压试验时不能崩出，而又能起到很好的密封作用，具体使用方法如图 4 所示。

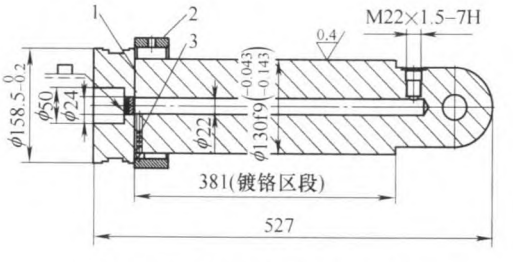



图 4 检测活柱窜液工装实用图例

1. 工件 2、3. 工装

## 3. 结语

液压缸窜液检测工装使用以后，降低了产品装配的返修率，排除了因焊接缺陷带来的不保压的情况，避免了原材料的浪费。同时此套工装应用广泛，在同类产品中都能适用，效果良好，值得推荐使用。

MW （收稿日期：20130930）

分布的油腔，6 个活塞块分别置于 6 个油腔内。

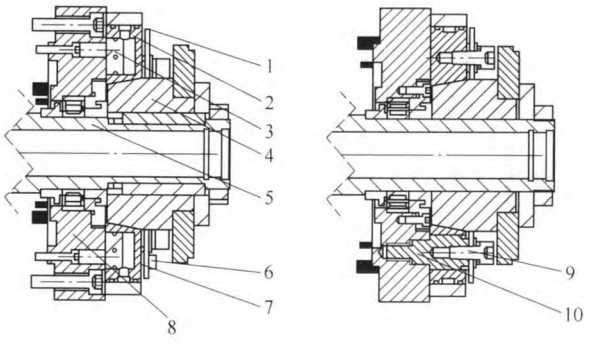



图 1　车铣电主轴锁紧机构剖视图

1. 弹簧碟片　2. 外胀套　3. 活塞块
4. 内胀套　5. 主轴　6. 锁紧螺钉　7. 调整垫片
8. 后法兰　9. 固定螺钉　10. 固定柱

外胀套配设有提供液压油的封套和油路等部件。当输入液压油时，外胀套在液压油压力的作用下移动，同时利用弹簧碟片轴向易变形而径向难变形的特性，保证外胀套的内锥面与内胀套的外锥面在啮合过程中外胀套只做轴向移动，内、外胀套始终与主轴保持同心，实现在不影响主轴精度的情况下外胀套抱死内胀套，锁紧主轴；当卸载液压油时，外胀套在弹簧碟片和弹簧的作用下脱离内胀套，主轴恢复自由转动。

## 2. 机构特点

本机构的特别之处是，在内、外胀套的啮合表面上分别设置 20°的内锥面和外锥面。在内、外胀套之间形成不可自锁的 20°啮合圆锥摩擦面，如图 2 所示。

不可自锁的 20°啮合圆锥摩擦面是本文技术的关键，相比同样的轴向弹性摩擦片机构具有更大的啮合面积。由于锥度不可自锁，这样既能够保证内、外胀套脱离可靠，又能将轴向力成倍放大为径向力，从而保证内、外胀套啮合可靠，提高主轴锁紧的可靠性。

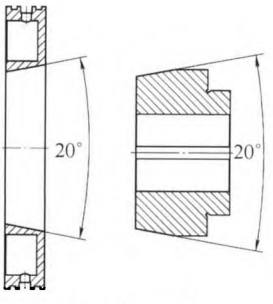



图 2　外胀套（左）、内胀套（右）剖视图

锁紧装置在安装调试的时候，外胀套可以在其内锥面与内胀套的外锥面完全啮合后再锁紧在弹簧碟片上，提高锁紧机构与电主轴装配精度。锁紧机构设置在主轴的后端，有利于车铣复合加工中心主轴安装调试以及维护维修。

锁紧机构在动作的时候，弹簧碟片做轴向导向，内、外胀套始终与主轴保持同心，锁紧机构锁紧对主轴的定位精度不会产生影响，保证了主轴的定位精度和主轴使用寿命。

锁紧装置采用 20°锥面内、外胀套和弹簧碟片组合锁紧结构，锁紧精度高，锁紧动作行程不超过 1mm，结构紧凑、体积小，能有效实现车铣复合加工中心主轴锁紧。

## 3. 锁紧能力推导

本文研制的车铣电主轴后置圆锥摩擦锁紧机构是通过内胀套和外胀套之间的不可自锁的 20°啮合圆锥摩擦面所产生的静摩擦力来实现车铣电主轴锁紧，摩擦机构需进行力学分析初步推导锁紧能力。

（1）静摩擦接触面积 $S$　如图 3 所示，取圆锥摩擦面上微单元长度 d$x$，其微圆面积为 d$S$，则：

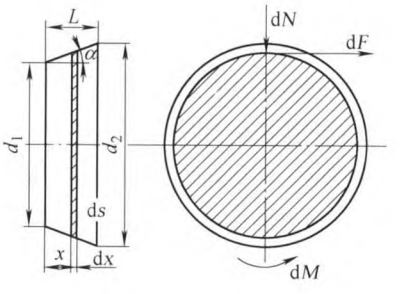



图 3　圆锥摩擦面受力示意图

$$\mathrm{d}S = \pi\ (d_1 + 2x\tan\alpha)\ \mathrm{d}x$$

$$S = \int_0^L \mathrm{d}S = \int_0^L \pi\ (d_1 + 2x\tan\alpha)\ \mathrm{d}x$$

得 $S = \pi L\ (d_1 + L\tan\alpha)$，

令 $d = d_1 + L\tan\alpha$，

即
$$S = \pi L\mathrm{d} \qquad (1)$$

（2）静摩锥面接触比压 $\rho$　如图 4 所示，取内胀套 20°外锥面上微块为受力分析对象。其中 $G$ 为内胀套在外胀套作用下受到的轴向预紧力，$N$ 为外胀套对内胀套的正压力，$Z$ 为内胀套锥面上的平均挤压力，$F$ 为外胀套对内胀套的静摩擦力，$\alpha$ 为内胀套外锥面锥度角。

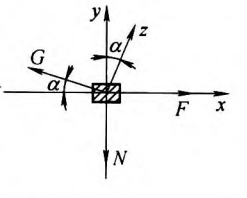



图 4　微块受力示意图

根据力的平衡原理，存在下列方程式

$$F + Z\sin\alpha G\cos\alpha = 0$$

$$G\sin\alpha Z\cos\alpha - N = 0$$

$$F = N \cdot f$$

式中，$f$ 为内、外胀套锥面摩擦系数，解方程得

$$N = G/\ (f\cos\alpha + \sin\alpha) \qquad (2)$$

$$F = fG/\ (f\cos\alpha + \sin\alpha) \qquad (3)$$

假设正压力 $N$ 均匀地分布在摩擦锥面上，则接触比压 $\rho$ 为：

$$\rho = G/\ [\pi d\ (f\cos\alpha + \sin\alpha)] \qquad (4)$$

（3）圆锥摩擦面静摩擦力产生的扭矩 $M$　如图3所示，取圆锥摩擦面上微圆面积 $\mathrm{d}S$ 上产生的正压力 $\mathrm{d}N$，形成的静摩擦力

$$\mathrm{d}F = f\mathrm{d}N = f\rho\mathrm{d}S$$

即

$$\mathrm{d}F = f\rho\pi\ (d_1 + 2x\tan\alpha)\ \mathrm{d}x \qquad (5)$$

微圆面积 $\mathrm{d}S$ 上扭矩

$$\mathrm{d}M = 1/2\ (d_1 + 2x\tan\alpha)\ \mathrm{d}F \qquad (6)$$

将式（5）代入式（6）

$$M = \int_0^L \mathrm{d}M = \int_0^L \frac{1}{2}\pi\rho f\ (d_1 + 2x\tan\alpha)^2\mathrm{d}x$$

得

$$M = \frac{Gf\ (3d^2 + L^2\tan^2\alpha)}{6d\ (f\cos\alpha + \sin\alpha)}$$

式中，$d = d_1 + L\tan\alpha$。

（4）弹簧碟片承受载荷 $Q$　如图5所示，弹簧碟片位于外胀套后端，同外胀套一起套在内胀套上。

本文研制的车铣电主轴后置圆锥摩擦锁紧机构采用单片式弹簧碟片，弹簧碟片承受载荷

$$Q = G \qquad (7)$$

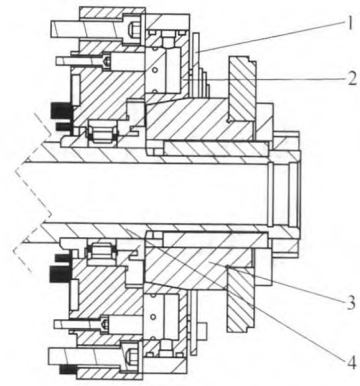



图5　弹簧碟片安装位置示意图

1. 弹簧碟片　2. 外胀套　3. 内胀套　4. 主轴

式中，$G$ 为内胀套在外胀套作用下受到的轴向预紧力，有6个油腔共同作用，即

$$G = 6kpS \qquad (8)$$

式中，$k$ 为液压缸工作安全系数；$p$ 为单个液压缸油压力；$S$ 为单个液压缸活塞有效作用面积。

## 4. 结语

本文研制的车铣电主轴后置圆锥摩擦锁紧机构具有结构简洁紧凑、体积小、制造和装配简单、锁紧可靠等优点。通过本机构技术可实现车铣电主轴具备任意角度锁紧定位的功能，且定位精度高。锁紧装置设置在车铣电主轴的后端，有利于车铣复合加工中心电主轴安装调试以及维护维修，适用性强。

目前，该锁紧装置经过研制定型，已被批量应用在企业生产制造的精密车铣复合加工中心上，实际使用效果良好，完全满足设计需求。**MW**

（收稿日期：20130926）


## 《金属加工（热加工）》2014年第3期要目

纯水淬火及其应用
热处理淬火油选择原则与方法
T3空气淬火在铝合金气缸盖生产中的应用
45Mn2材料水－空淬火工艺研究
影响模具热处理质量的因素及预防措施
激光热处理在汽车模具制造中的应用
模具钢的热处理与表面处理技术
减速器出力轴断裂原因分析
高碳马氏体不锈钢440C的热处理工艺
球阀阀杆断裂失效分析
大口径厚壁15CrMoG锅炉管现场热处理工艺
钢轨焊接介质的锻造工艺优化
35CrMo钢低倍组检验中异常现象的分析
大型船用弯舵杆的成分调整及热处理
起伏成形技术在锅炉制造业中的应用
钣金变形因素及工艺参数分析研究
薄钢板精密冷弯成形中性层计算分析
超高强钢U形截面起重臂成形工艺研究
压铸叶轮动平衡质量控制分析
浅谈影响压铸件质量的主要因素
均衡凝固技术在汽车制动底板上的应用
25MN压力机立柱铸造工艺设计
大型圆环状铸件刮板及拼芯造型的应用
液压支架柱窝水玻璃砂型铸造缺陷分析及预防措施
磷变质高硅铝合金重力浇注发动机缸套的研究
稀土镁球化剂的选择与应用
$CO_2$硬化法水玻璃砂工艺存在的问题及解决途径
大型挖泥泵叶轮铸造缺陷分析及对策
INITEK工艺
ZG06Cr13Ni4Mo铸件热处理工艺研究