

弹性卡套的应用分析

张明

贵州航天林泉电机有限公司 贵州贵阳 550081

摘要：对公司车、铣加工常用的一种弹性卡套的结构、定位夹紧原理、关键尺寸设计、卡套的优缺点和禁限用情况进行了分析。

关键词：弹性卡套；单锥度；锥度角；定位；夹紧

1 序言

公司产品以多品种、小批量为主。零件形状各异，几何公差精度高，薄壁件多。很多零件采用通用型夹具不能保证质量，定制化专用夹具的生产周期又无法满足要求，且成本太高。因此在车、铣加工过程中，广泛采用一种自制弹性卡套进行装夹。

该类弹性卡套在实际生产中大多能满足定位精度和夹紧要求，但也经常出现几何公差超差和夹持力不够的情况。针对以上问题，长期以来都是通过现场人员的经验，反复调整来解决问题，而没有进行过系统的总结分析。本文对该类弹性卡套的结构、定位夹紧原理、关键尺寸设计、卡套的优缺点和禁限用情况进行了分析。

2 弹性卡套的结构及定位夹紧原理分析

2.1 弹性卡套的结构

如图1所示，弹性卡套是由单锥度弹性卡套、锁

紧螺母两部分组成。

其中，单锥度弹性卡套（见图2）具有以下结构特点：①外圆为螺纹结构，下端设计有圆弧凹槽以增加径向夹紧力。②外圆周面设计4条均布2mm宽开口槽。③端面棱边为60°锥面。④中间孔为工件定位孔，尺寸依据工件装夹外圆尺寸确定。

锁紧螺母（见图3）具有以下结构特点：①与卡套外螺纹相匹配的内螺纹。②与卡套锥面相匹配的锥面。③外圆设计有扳手孔。

2.2 弹性卡套的定位夹紧原理分析

配加工单锥度弹性卡套（以下简称卡套）内孔与工件外圆，形成较小间隙配合；锁紧螺母（以下简称螺母）锁紧过程中施加轴向的锁紧压力，通过配合锥面分解为轴向分力和径向分力传递给卡套，径向分力使卡套收缩，实现自动定心并夹紧工件；工件的下端面与卡套内孔底面贴合，实现轴向定位^[1, 2]。

减少调整“归零”状态的时间，提高加工效率。

4 结束语

通过运用该操作方法，首先可以快捷地进行万能角度铣头的校正，在保证万能角度铣头角度精度准确性的同时，提高工作效率；其次降低加工成本，利用普通三轴机床完成需要五轴机床加工的复杂工件的任务型号。通过分享此方法，可为如何快速调整万能角度铣头的角度提供宝贵的经验，对于实际生产中万能角度铣头提高角度调整精度具有一

定的指导意义。

参考文献：

- [1] 姚瑶，苗维新. 龙门镗铣床角度铣头的设计[J]. 制造技术与机床，2014（7）：84-86.
- [2] 张政波，吕勇，覃学东，等. 45°型万能铣头精度特性及其调整计算和研究[J]. 制造技术与机床，2017（10）：50-54.
- [3] 朱明阳. 万能铣头工作角度的计算[J]. 华侨大学学报（自然科学版），1999(1): 4.

MW 20240905

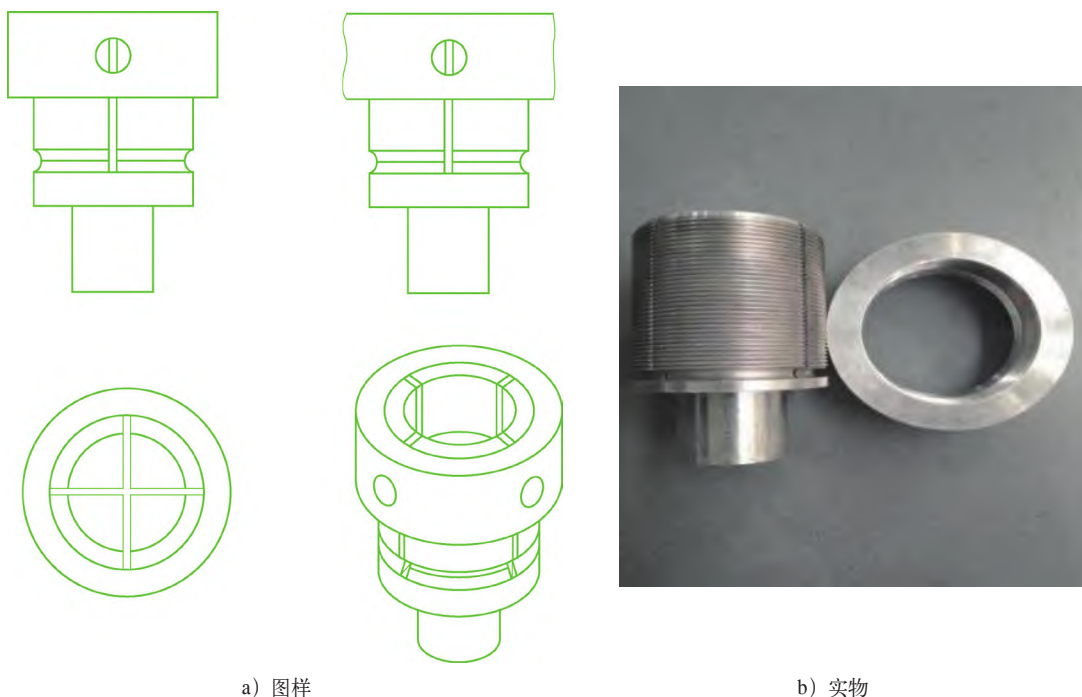


图1 弹性卡套 (2A12-T4 或2CR13)

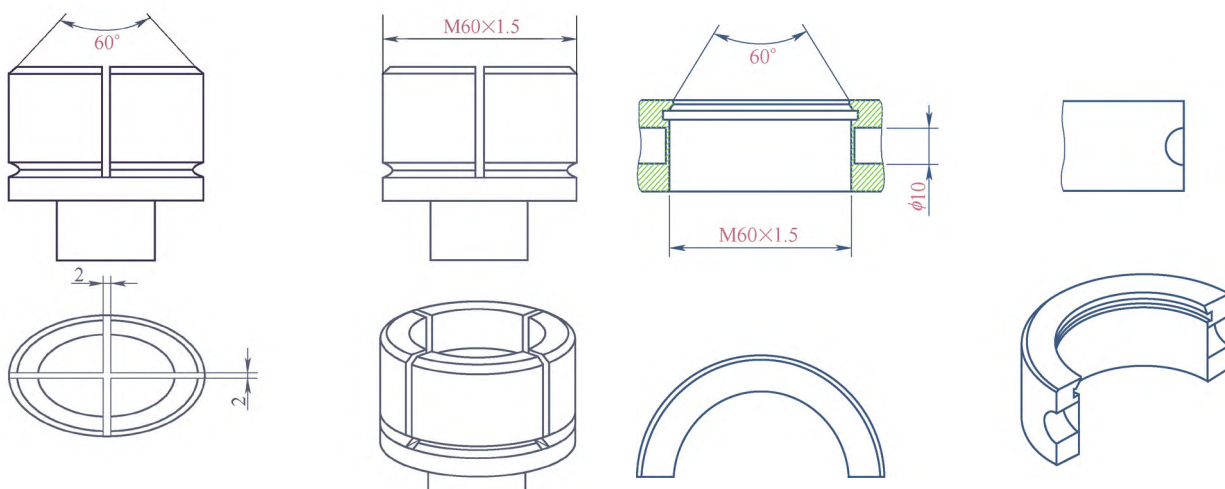


图2 单锥度弹性卡套

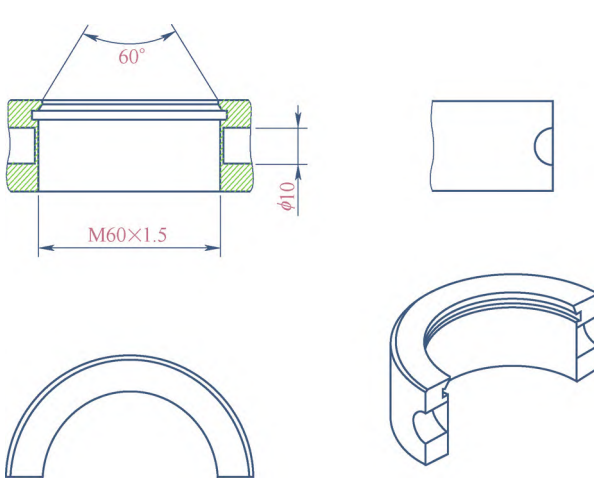


图3 锁紧螺母

3 弹性卡套的设计与加工

3.1 配合锥面的设计

(1) 配合锥面角度的设计 如图4所示, 锁紧压力 F 通过倒角锥面分解为径向分力 F_1 和轴向分力 F_2 。径向分力 F_1 是工件夹持过程中的主作用力, 主要作用是夹紧工件; 轴向分力 F_2 是工件夹持过程中的副作用力, 主要作用是辅助工件轴向定位^[2]。

锁紧压力的分解计算如下

$$F_1 = F \cos (\theta / 2) \quad (1)$$

$$F_2 = F \sin (\theta / 2) \quad (2)$$

式中, F_1 是径向分力 (N); F_2 是轴向分力 (N); F 是锁紧压力 (N); θ 是倒角锥面角度 ($^{\circ}$) (简称锥度角)。

通过计算, 当锁紧压力 F 一定时, 径向分力 F_1 随着锥度角 θ 减小而逐渐增大, 轴向分力 F_2 随着锥度角 θ 减小而逐渐减小 (见表1)。锥度角与轴向、径向分力变化趋势如图5所示。

从表1可以看出, 90° 为轴向分力与径向分力产生分化的临界值; 从 90° 开始角度增大时径向分力减小, 角度减小时径向分力增大; 径向分力在锥

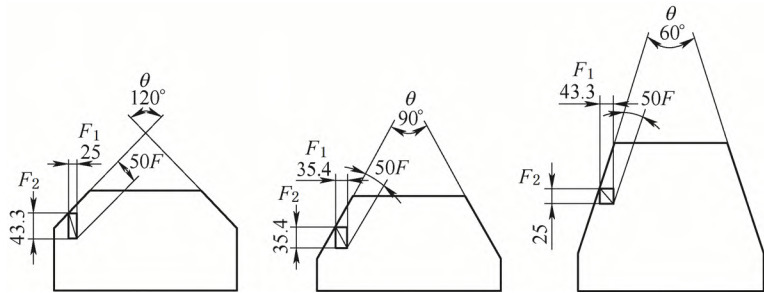


图4 锁紧压力 F 的分解

表1 不同锥度角的锁紧压力

序号	锥度角 $\theta/ (^{\circ})$	锁紧压力 F/N	径向分力 F_1/N	轴向分力 F_2/N
7	30	50	48.30	12.94
9	40	50	46.98	17.10
11	50	50	45.32	21.13
13	60	50	43.30	25.00
15	70	50	40.96	28.68
17	80	50	38.30	32.14
19	90	50	35.36	35.36
21	100	50	32.14	38.30
23	110	50	28.68	40.96
25	120	50	25.00	43.30
27	130	50	21.13	45.32
29	140	50	17.10	46.98
31	150	50	12.94	48.30
33	160	50	8.68	49.24
35	170	50	4.36	49.81

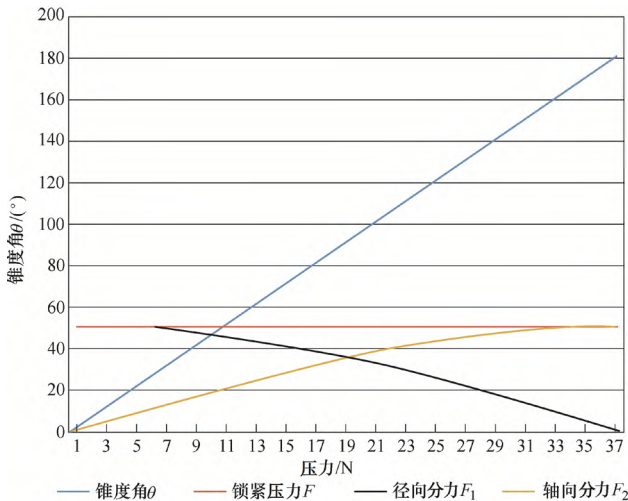


图5 锥度角与轴向、径向分力变化趋势

度角 $<60^{\circ}$ 时,再减小锥度角其径向分力增长已不大。因此为获得足够的径向分力 F_1 ,锥度角 θ 取 60° 。

(2) 配合锥面长度的设计 具体内容如下。

1) 卡套的锥面长度。由夹紧力应尽量靠近加工部位的分布原则及卡套的定位、夹紧原理分析可知,径向夹紧力应尽量靠近卡套口部。为防止卡套锥度角与螺母锥度角加工误差造成锥度下端接触受力,使夹紧力作用位置远离加工位置,卡套锥面长度不宜过大。同时为保证螺母与卡套之间有足够的锥面接触长度,结合不同尺寸工件的加工经验,选取锥面长度为 $2\sim 10\text{mm}$ (卡套锥面长度与卡套直径、切削力和工件夹持长度呈正相关)。

2) 螺母的锥面长度。如图6所示,为使锁紧压力有效传递到卡套作用面,应当使螺母锥面长度与卡套锥面长度基本一致。

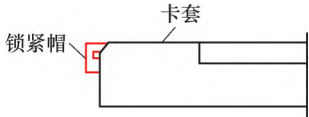


图6 锁紧帽与卡套锁紧状态

螺母的锥面长度:锁紧帽的锥面小端直径 $\geq$ 卡套小端锥面直径;锁紧帽的锥面大端直径 $\leq$ 卡套大端锥面直径。

3.2 锁紧螺纹(卡套外径)的设计

锁紧螺纹的计算如下

$$D=d+2\delta \text{ (计算结果取整后取偶数)} \quad (3)$$

式中, D 是锁紧螺纹直径(mm); d 是工件装夹直径(mm); δ 是卡套壁厚,取值 $6\sim 15\text{mm}$ (δ 值与夹具刚性、切削力和夹具长径比呈正向关)。

当工件长度、直径尺寸较小,或进行轴向加工(如轴向钻孔)时,对弹性卡套的强度要求相对较低,可选取较小壁厚;当工件长度、直径尺寸和切

削力较大时,可选取较大壁厚以增加夹具刚性。

因加工过程中在切削力的作用下,夹具系统会产生振动,故为防止螺母松动,应采用自锁性较好的细牙螺纹;同时由于生产过程中装拆频繁,所以为改善细牙螺纹易损坏失效的缺点,应选取细牙螺纹规格中相对较大的螺距系列^[2, 3]。

3.3 工件与卡套的配合间隙分析

1) 如图7所示,当工件的装夹外圆与底面垂直度较好,卡套的内孔与定位底面垂直度也较好,卡套立式安装时,工件装入卡套后,在重力作用下工件底面与卡套底面相贴合(卡套卧式安装时,需要施加轴向辅助力使工件底面与卡套底面贴合)。卡套在夹紧收缩后,工件中心线与卡套中心线平行,圆周间隙均匀,形成点、面定位,限制5个自由度,可以满足圆周加工的定位需要,在该装夹状态下进行加工,间隙对工件的几何公差影响最小。

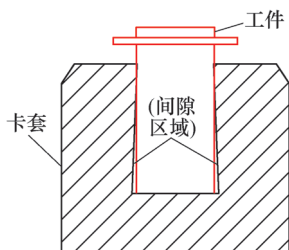


图7 工件装夹状态1

2) 如图8所示,当工件装夹外圆与底面垂直度较差,卡套内孔与定位底面垂直度较好,工件放入卡套没有夹紧时,在重力作用下,工件底面与卡套定位底面贴合,工件中心线与卡套中心线不平行。卡套在夹紧后,工件底面与卡套底面会产生间隙,工件中心线与卡套中心线不平行会得到一定修正而减小,最终形成卡套口部点定位和底面点定位的状态,工件处于欠定位,在该装夹状态下进行加工,间隙对工件的几何公差影响较大。

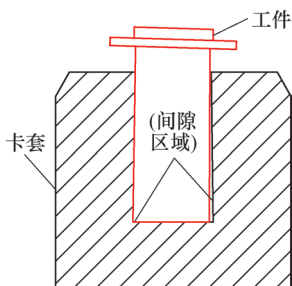


图8 工件装夹状态2

3) 如图9所示,当工件装夹外圆与底面垂直度较好,卡套的内孔与定位底面垂直度较差时的状态与状态2相似,最终也形成卡套口部点定位和底面点定位的状态,工件处于欠定位,在该装夹状态下进行加工,间隙对工件的几何公差影响较大。

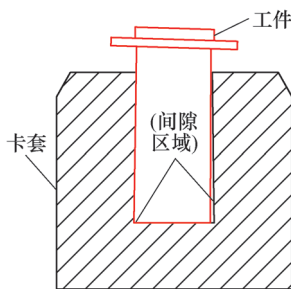


图9 工件装夹状态3

当出现装夹状态2和状态3时,几何公差就不能稳定保证。

综上所述,要保证稳定可靠的加工质量,需控制工件与卡套几何公差与配合间隙,使装夹符合状态1的情况,保证工件中心线与卡套中心线平行,形成点、面定位,限制工件5个自由度以满足加工精度要求。

3.4 卡套配合间隙确定

如图10所示,以加工端和夹持端的同轴度为例,当加工端C为基准时,两端理论最大同轴度偏差 $=2A=B$ (配合间隙),即:当以加工端为基准时 B (配合间隙)必须小于同轴度公差。根据夹具精度一般取加工精度的1/3的规范及使用经验^[2],结合加工精度要求,检测基准为加工端时配合间隙为: B (配合间隙) $=1/3$ 同轴度偏差 $\sim 2/3$ 同轴度偏差。

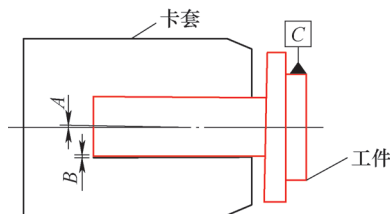


图10 检测基准情况1

如图11所示,当以夹持端C为基准时,两端理论最大同轴度偏差 $=2A=L_1$ (夹持长度) $/L_2$ (加工长度) $=B$ (配合间隙) $/A$ (同轴度公差)。通过公式可以得出:当加工长度和同轴度公差确定后,通过增加夹持长度可以增大允许配合间隙;当夹持长

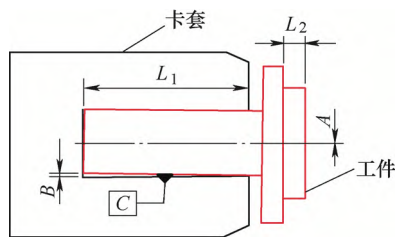


图11 检测基准情况2

度和配合间隙确定后，加工长度的增加会增大同轴度偏差。因此当检测基准为夹持端时： B （配合间隙） $= A$ （同轴度公差） $\times 1/3$ （ L_1 夹持长度/ L_2 加工长度） $\sim 2/3$ （ L_1 夹持长度/ L_2 加工长度）。

4 弹性卡套的优、缺点

4.1 弹性卡套的优点

- 1) 结构简单、加工方便，通过配加工定位内孔可实现较大尺寸范围内任意尺寸外圆的定位装夹。
- 2) 通过配铣内孔，可方便实现如多边形、异形工件的定位装夹。
- 3) 定位精度高（0.01mm），加工难度较小。
- 4) 可根据生产情况，将内孔改制为大尺寸内孔，多次重复使用。
- 5) 方便控制夹紧力，适用于薄壁工件的精加工，可以减小变形。

4.2 弹性卡套的缺点

- 1) 卡套夹紧后，卡套定位孔下端与工件径向仍会有间隙，工装在夹紧状态下与工件的接触面小，产生的夹紧力小，不适合粗加工。
- 2) 为增加卡套弹性变形，以提高锁紧螺母将轴向力转化为径向夹紧力的效能而设计的下端圆弧凹槽，会降低夹具的整体刚性。
- 3) 二次使用时找正难度大，精度要求高时只能一次性使用。

5 限制使用情况分析

1) 图12所示为大直径机壳的铣削，由图12可知工件的装夹力矩为

$$M_1 = \lambda F_1 L_1 \quad (4)$$

式中， M_1 是工件装夹力矩（N·m）； λ 是工件与卡套材料间摩擦系数； F_1 是径向装夹力（N）； L_1 是夹持圆半径（mm）。

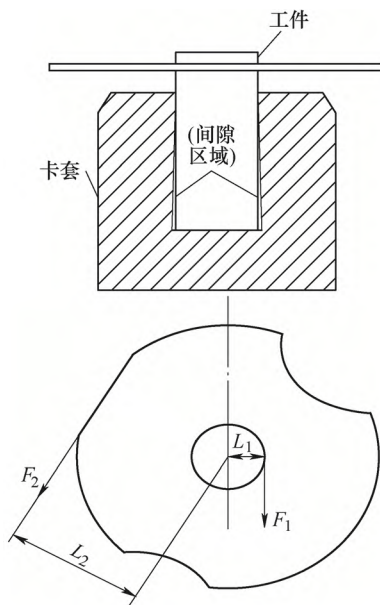


图12 大直径机壳铣削

而工件的切削力矩为

$$M_2 = F_2 L_2 \quad (5)$$

式中， M_2 是工件切削力矩（N·m）； F_2 是切削力（N）； L_2 是切削力作用点半径（mm）。

要求（ $M_2 = F_2 L_2$ ） $<$ （ $M_1 = \lambda F_1 L_1$ ）。

当切削力矩 M_2 大于装夹力矩 M_1 时，工件会发生转动，由于此类零件的 L_2 远大于 L_1 ，极易出现 $M_2 > M_1$ 的情况，因此该类零件要避免采用这种卡套装夹。

2) 图13所示为某型大悬伸零件的加工，由图13可知

$$B = A (L_1 / L_2) / (2 \sim 3) \quad (6)$$

式中， L_1 是夹持长度（mm）； L_2 是悬伸长度（mm）； B 是配合间隙（mm）； A 是同轴度公差（mm）； $2 \sim 3$ 是夹具精度，一般取加工精度的1/3的规范，结合使用经验，同轴度公差太高时可取1/2，以提高卡套加工经济性。

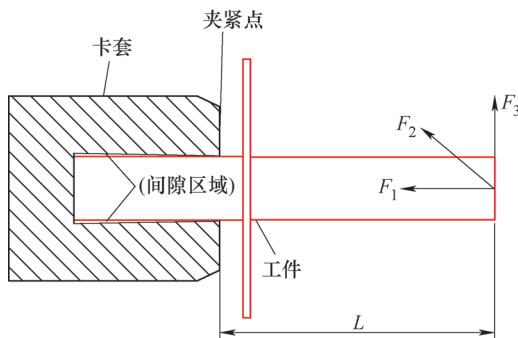


图13 大悬伸零件加工

由式(6)推导得: $L_2 = AL_1 / [(2 \sim 3) B]$, 即:
在同轴度公差与配合间隙比值一定的情况下, L_2
悬伸长度(可加工长度)只能达到 L_1 夹持长度的
1/3 ~ 1/2。

工件切削时可能产生的各方向的切削力会以悬
伸长度为力臂产生较大转矩, 由于卡套与工件之间
存在间隙, 使工件因加工振颤产生偏摆, 因此当进
行大悬伸零件的加工时, 需通过准确计算, 避免出
现振颤和几何公差超差。

6 应用案例

1) 图14所示电动机转子外圆为冲片叠加而成,
且外圆已加工至尺寸, 传统三爪或软爪装夹, 都很
容易造成冲片表面损伤、开裂和工件变形。采用铝
制卡套能很好地保证产品质量。

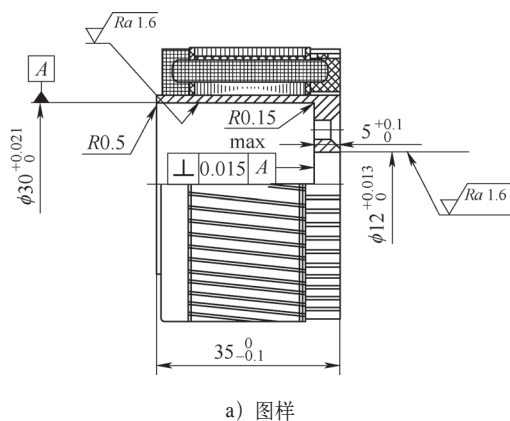
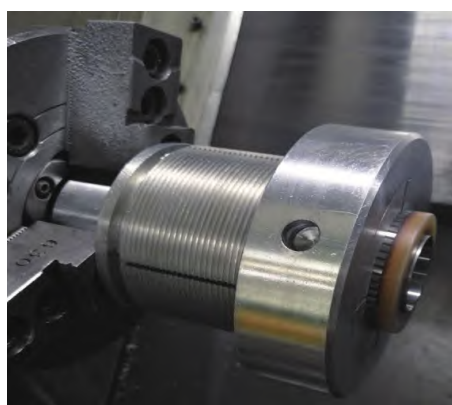


图14 电动机转子及电动机转子的装夹

2) 图15所示工件为电动机薄壁机壳, 车削加工
完成后, 需精加工外形3个安装支耳、安装孔和内腔
孔壁的止动钢丝槽, 传统三爪或软爪装夹, 都很容
易造成工件表面损伤、工件变形, 采用压板装夹会



图15 电动机薄壁机壳

增加装夹时间, 采用铝制卡套能很好地保证产品质
量, 装夹方便快捷。

3) 图16所示工件几何公差要求较高, 传统三爪
或软爪装夹因重复定位精度低而无法保证几何公差
要求, 卡套具有的自定心功能可有效保证几何公差
要求。



图16 端盖及端盖的装夹

7 结束语

通过对弹性卡套的定位夹紧原理、设计依据
和关键尺寸计算的分析, 弹性卡套优缺点的分析,
现场使用情况的总结以及特殊结构限制使用的分析
等, 为弹性卡套的合理设计、合理使用提供了理论
依据。

参考文献:

- [1] 徐茂功. 公差配合与技术测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [2] 蒋永彪, 李杨. 机械设计基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [3] 于永泗, 齐民. 机械工程材料[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2003.

MW 20240827