



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102120276 A

(43) 申请公布日 2011. 07. 13

(21) 申请号 201010032451. 5

(22) 申请日 2010. 01. 11

(71) 申请人 哈尔滨理工大学

地址 150080 黑龙江省哈尔滨市香坊区林园路 4 号哈理工南区材料学院

(72) 发明人 郑敏利 姜彬

(74) 专利代理机构 哈尔滨东方专利事务所
23118

代理人 陈晓光

(51) Int. Cl.

B23C 5/26 (2006. 01)

B23C 5/20 (2006. 01)

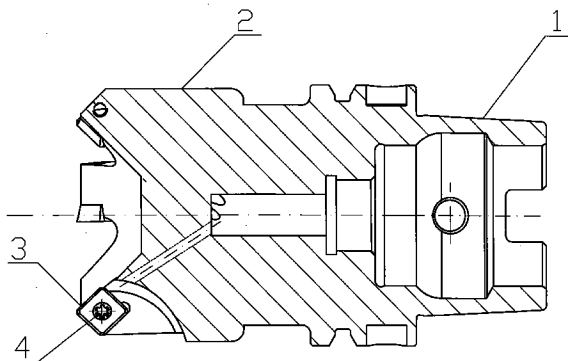
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

整体式高速铣刀及其设计方法

(57) 摘要

整体式高速铣刀及其设计方法。由于高速铣刀普遍采用可转位刀片结构,其高速加工工具系统一般为 5 至 6 个包括刀片、紧固件、刀体、刀柄、拉紧构件等,在刀片更换后必须与刀柄一道重新进行动平衡。在高转速条件下,较大离心力会削弱拉紧机构作用,从而影响铣刀轴向定位精度。本发明的组成包括:刀柄(1)、刀体(2)及镶嵌在刀体上的刀片(3),所述的刀柄与所述的刀体为一体式结构,所述的刀片与所述的刀体之间采用螺钉(4)连接,所述的刀柄后端采用空心短锥柄刀柄结构。本发明用于分析在高转速下铣刀的安全性。



1. 一种整体式高速铣刀,其组成包括:刀柄、刀体及镶装在刀体上的刀片,其特征是:所述的刀柄与所述的刀体为一体式结构,所述的刀片与所述的刀体之间采用螺钉连接,所述的刀柄后端采用空心短锥柄刀柄结构。

2. 根据权利要求 1 所述的整体式高速铣刀,其特征是:其设计方法方法包括如下步骤:

(1) 依据高速铣刀动态切削模型和高速铣刀动力学微分方程,进行固有频率和转速对高速铣刀振动影响分析;

(2) 依据高速铣刀固有频率和转速对其离心力和切削力振动影响分析结果,提出整体式高速铣刀设计方案;

(3) 依据该设计方案,开发具有空心短锥柄刀柄结构的整体式高速铣刀;

(4) 采用有限元分析方法,验证高速铣刀安全性与切削稳定性。

整体式高速铣刀及其设计方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及一种满足高转速和高稳定性要求的整体式高速铣刀及其设计方法。

背景技术：

[0002] 高速加工工具系统通常指由切削刀具、刀柄和夹头构成的工具体系，刀具通过夹头装入刀柄之中，刀柄与机床主轴相连。高速加工工具系统对工件尺寸精度和表面质量影响显著，同时也影响到高速切削可靠性及机床加工性能。

[0003] 由德国阿亨工业大学机床实验室研制的一种双面夹紧 HSK（空心短锥柄）刀柄被广泛应用于高速铣削机床主轴与刀具联结。该刀柄采用锥面（径向）和法兰端面（轴向）双面定位和夹紧，工作时空心短锥柄与主轴锥孔能完全接触，起到定心作用。

[0004] HSK（空心短锥柄）刀柄突出特征是采用端面和锥面同步接触双重定位，保证刀柄与主轴配合可靠性。但当铣刀直径较大，无法采用夹头，由铣刀与 HSK（空心短锥柄）刀柄直接配合时，存在微小配合误差，从而导致刀具产生径向圆跳动，不仅削弱了工具系统的刚度，而且破坏了工具系统的动平衡和高速切削稳定性。

[0005] 由于高速铣刀普遍采用可转位刀片结构，其高速加工工具系统一般为 5 至 6 件组件（刀片、紧固件、刀体、刀柄、拉紧构件等），在刀片更换后必须与刀柄一道重新进行动平衡。在高转速条件下，较大离心力会削弱拉紧机构作用，从而影响铣刀轴向定位精度。因此，在高速铣削加工中，由高速可转位铣刀与刀柄共同组成的高速铣削加工工具系统，不仅需要重复多次进行动平衡，占用非加工时间过多，而且其刚度、稳定性和动平衡精度随着转速的提高而下降，常常在远低于额定切削速度的工况下就出现强烈振动，同时，由于其组件数量较多，削弱了高速铣削加工工具系统安全性，对提高大型精密零件的加工精度、加工效率产生不利影响。

发明内容：

[0006] 本发明的目的是为了解决上述高速可转位铣刀与 HSK（空心短锥柄）刀柄组成的高速铣削加工工具系统刚度、动平衡精度和切削稳定性随着转速的提高而下降，易于产生较强振动的问题，提供一种具有 HSK（空心短锥柄）刀柄结构的整体式高速铣刀，以满足大型零件高效、高精度加工对高转速和高稳定性的要求。

[0007] 上述的目的通过以下的技术方案实现：

[0008] 整体式高速铣刀，其组成包括：刀柄、刀体及镶嵌在刀体上的刀片，所述的刀柄与所述的刀体为一体式结构，所述的刀片与所述的刀体之间采用螺钉连接，所述的刀柄后端采用 HSK（空心短锥柄）刀柄结构。

[0009] 整体式高速铣刀，其设计方法包括如下步骤：

[0010] (1) 依据高速铣刀动态切削模型和高速铣刀动力学微分方程，进行固有频率和转速对高速铣刀振动影响分析；

[0011] (2) 依据高速铣刀固有频率和转速对其离心力和切削力振动影响分析结果，提出

整体式高速铣刀设计方案；

[0012] (3) 依据该设计方案, 开发具有 HSK(空心短锥柄) 刀柄结构的整体式高速铣刀；

[0013] (4) 采用有限元分析方法, 验证高速铣刀安全性与切削稳定性。

[0014] 本发明的有益效果：

[0015] 1. 该高速铣刀固有频率是采用 HSK(空心短锥柄) 刀柄连接的高速铣刀三倍, 较高的刀具刚度可在较高转速条件下保证切削稳定性, 并传递较大扭矩, 为大幅度提高加工效率和加工精度创造了条件。同时, 该高速铣刀不仅节省了刀具与刀柄安装和安装后重新进行动平衡的时间, 而且省去了刀具附件(如防止切削液外流的装置), 使刀具结构得到简化, 其高速切削安全性和稳定性得到明显提高。因此, 该高速铣刀的有益效果在以较高转速进行铝合金工件高效、高精度加工中表现尤为明显。

[0016] 2. 本发明采用机械夹固方式将可转位刀片紧固在刀体上, 并将刀体与刀柄“合二而一”, 联结成一个刚性的整体式新型刀具。该刀具消除了因铣刀与刀柄分离、联结产生的不平衡和振动, 使得刀具的动刚度和动平衡更容易得到保证。该刀具结构不仅提高了刀具的动态切削性能, 保证高转速条件下刀具能够进行稳定、高效切削, 而且还具有节省刀具动平衡的时间, 刀片更换快捷等优点。

[0017] 3. 该高速铣刀刀体与刀柄合为一体, 刀体与刀柄联结误差被消除, 保证了动平衡精度和切削稳定性; 刀具刚度并可传递大的扭矩, 提高切削效率; 刀体前端与刀片采用螺钉联结, 满足刀片夹紧可靠、拆换方便的要求; 刀体后端与机床主轴接口采用 HSK(空心短锥柄) 刀柄结构, 保证刀具与主轴配合可靠性; 该刀具使得高速加工工具系统组件数量被减少至最少(由 5 个减至 3 个), 其安全可靠性能得到显著提高。

附图说明：

[0018] 附图 1 是高速铣刀动态切削模型。图中, C 为阻尼矩阵, K 为刚度矩阵, d 为铣刀直径, a_e 为工件铣削宽度, a_p 为铣削深度, v_f 为进给速度, f_{zi} 为相邻刀齿间每齿进给量, κ_r 为铣刀主偏角, φ_o 为切入角, φ_s 为接触角, φ 为进给方向角, n 为铣刀转速, F_c 为沿铣刀切向的切削分力, F_r 为沿铣刀径向切削分力。

[0019] 附图 2 是高速铣刀固有频率和转速对其离心力振动振幅影响规律曲线, 图中 ω/ω_n 为工作转速与固有频率比值。

[0020] 附图 3 是高速铣刀固有频率和转速对其切削力振动振幅影响规律曲线, 图中 ω/ω_n 为工作转速与固有频率比值。

[0021] 附图 4 是整体式高速铣刀的结构示意图。

[0022] 附图 5 是直径 50mm 整体式高速铣刀变形量分析曲线。

具体实施方式：

[0023] 实施例 1：

[0024] 整体式高速铣刀, 其组成包括: 刀柄 1、刀体 2 及镶嵌在刀体上的刀片 3, 所述的刀柄与所述的刀体为一体式结构, 所述的刀片与所述的刀体之间采用螺钉 4 连接, 所述的刀柄后端采用 HSK(空心短锥柄) 刀柄结构。

[0025] 实施例 2：

[0026] 整体式高速铣刀的设计方法,该方法包括如下步骤:

[0027] 1. 依据高速铣刀动态切削模型和高速铣刀动力学微分方程,进行固有频率和转速对高速铣刀振动影响分析。

[0028] 高速铣刀在切削加工过程中,受到离心力和动态切削力作用时,会产生相对微小的位移或转动,使刀具既储存能量又消耗能量,表现出既有弹性又有阻尼的特性,其弹性可用等效弹簧来代替,其阻尼可用阻尼器来代替,因此,可将刀具动态切削模型简化为用一组等效弹簧和等效阻尼器来表示。

[0029] 铣刀轴向刚度远大于其径向刚度,切削力和离心力主要作用在刀具的径向切削工作平面内。因此,在该平面内建立两个自由度的高速铣刀动态切削模型,如图 1 所示。

[0030] 根据结构动力学原理,高速铣刀动力学微分方程为:

[0031]

$$\ddot{x}(t)+2\xi\omega_n\dot{x}(t)+\omega_n^2x(t)=\omega_n^2P_x(t), \quad \ddot{y}(t)+2\xi\omega_n\dot{y}(t)+\omega_n^2y(t)=\omega_n^2P_y(t) \quad (1)$$

[0032] 式中: M 为质量矩阵, ω_n 为固有频率, ξ 为阻尼率, $P_x(t)$ 、 $P_y(t)$ 为离心力或切削力分量。

[0033]

$$\omega_n = \sqrt{K/M}, \quad \xi = \frac{C}{2M\omega_n} = \frac{C}{2\sqrt{MK}} \quad (2)$$

[0034] 阻尼矩阵与质量矩阵、刚度矩阵如下关系:

$$C = \alpha_0 M + \beta_0 K \quad (3)$$

[0036] 比例常数 α_0 和 β_0 可按照下式计算:

[0037]

$$\alpha_0 = \frac{2(\xi_j\omega_j - \xi_i\omega_i) \cdot \omega_i\omega_j}{(\omega_j + \omega_i)(\omega_j - \omega_i)}, \quad \beta_0 = \frac{2(\xi_j\omega_j - \xi_i\omega_i)}{(\omega_j + \omega_i)(\omega_j - \omega_i)} \quad (4)$$

[0038] 式中: ω_i 、 ω_j 和 ξ_i 、 ξ_j 分别为经实测或者已知的任意两个固有频率和阻尼率,通常取高速铣刀结构的前两阶固有频率和阻尼率。

[0039] 由式(1)~式(4)获得高速铣刀固有频率和转速对其离心力和切削力振动振幅影响规律如图 2 和图 3 所示。

[0040] 该结果表明,铣刀振动振幅随其转速与固有频率比值的增加而增加。其中,铣刀离心力振动振幅增加程度远高于切削力振动振幅增加程度。

[0041] 提高铣刀固有频率不仅显著降低了其振动振幅,而且有利于扩大其工作转速范围,使铣刀安全稳定切削速度得到相应提高。

[0042] 2. 提出整体式高速铣刀设计方案。

[0043] 为提高铣刀固有频率,减小高速铣刀离心力振动,保证高速旋转状态下刀具能够绕轴线稳定旋转,依据高速铣刀固有频率和转速对其离心力和切削力振动影响分析结果,提出整体式高速铣刀设计方案。如图 4 所示:

[0044] 3. 依据该设计方案,开发具有 HSK(空心短锥柄)刀柄结构的整体式高速铣刀。

[0045] 该高速铣刀刀体与刀柄合为一体,刀体与刀柄联结误差被消除,动平衡精度达到 G2.5;刀体前端与刀片采用螺钉联结,满足刀片夹紧可靠、拆换方便的要求;其后端与机床主轴接口采用 HSK(空心短锥柄)刀柄结构,保证刀具与主轴配合可靠性;该刀具使得高速

加工工具系统组件数量被减少至最少（由 5 个减至 3 个）。

[0046] 4. 采用有限元分析方法,验证高速铣刀安全性与切削稳定性。

[0047] 在 ANSYS 环境下对整体式高速铣刀模型进行变形分析和模态分析,获得整体式高速铣刀在 5000rpm-30000rpm 转速条件下的变形量如图 5 所示,其前四阶固有频率如表 1 所示。

[0048] 表 1 :高速铣刀固有频率

[0049]

阶数	ω_n (Hz)
1	5192
2	5297
3	8323
4	13342

[0050] 该分析结果表明,整体式高速铣刀在转速 30000rpm 范围内,其变形量远小于 ISO15641 标准规定的 0.05mm,具有较高安全性;其一阶模态固有频率达到 5192Hz,而采用 HSK(空心短锥柄)刀柄连接的相同结构高速铣刀一阶模态固有频率仅为 1560Hz,整体式高速铣刀固有频率得到显著提高,其共振转速为 62300rpm,是同类铣刀共振转速的三倍。整体式高速铣刀使得高速铣削加工工具系统整体强度、刚度和动平衡精度得到明显提高,采用该刀具在转速小于 30000rpm 范围内进行高速铣削加工,具有较高的安全性和切削稳定性。

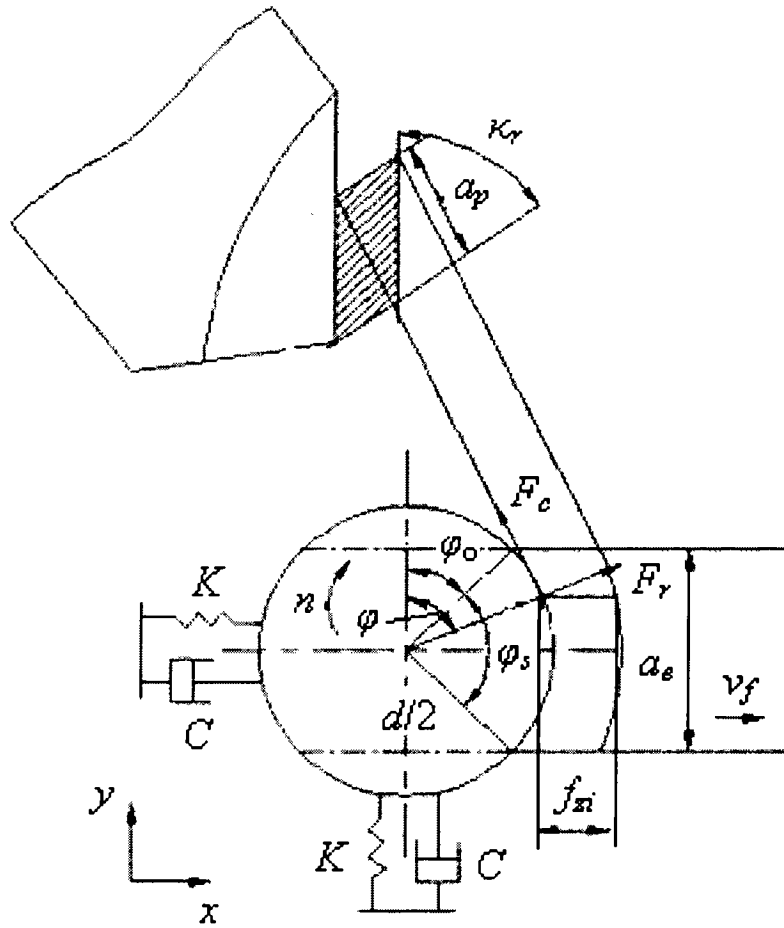


图 1

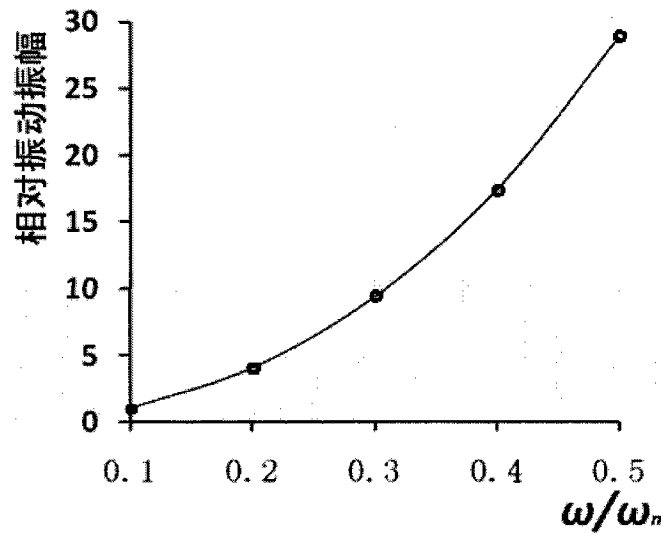


图 2

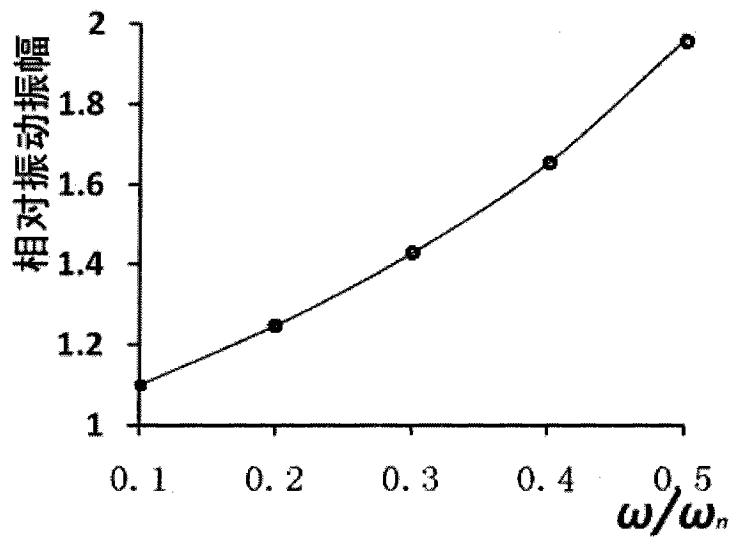


图 3

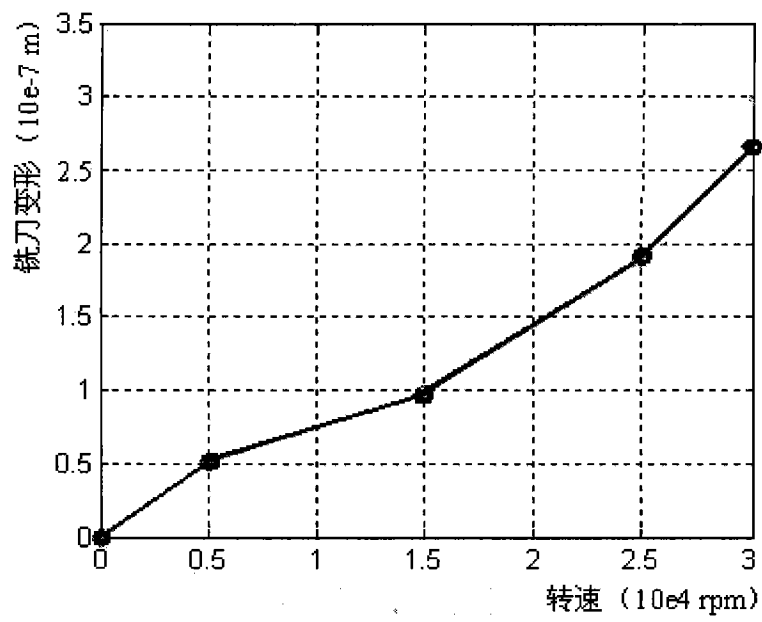


图 5

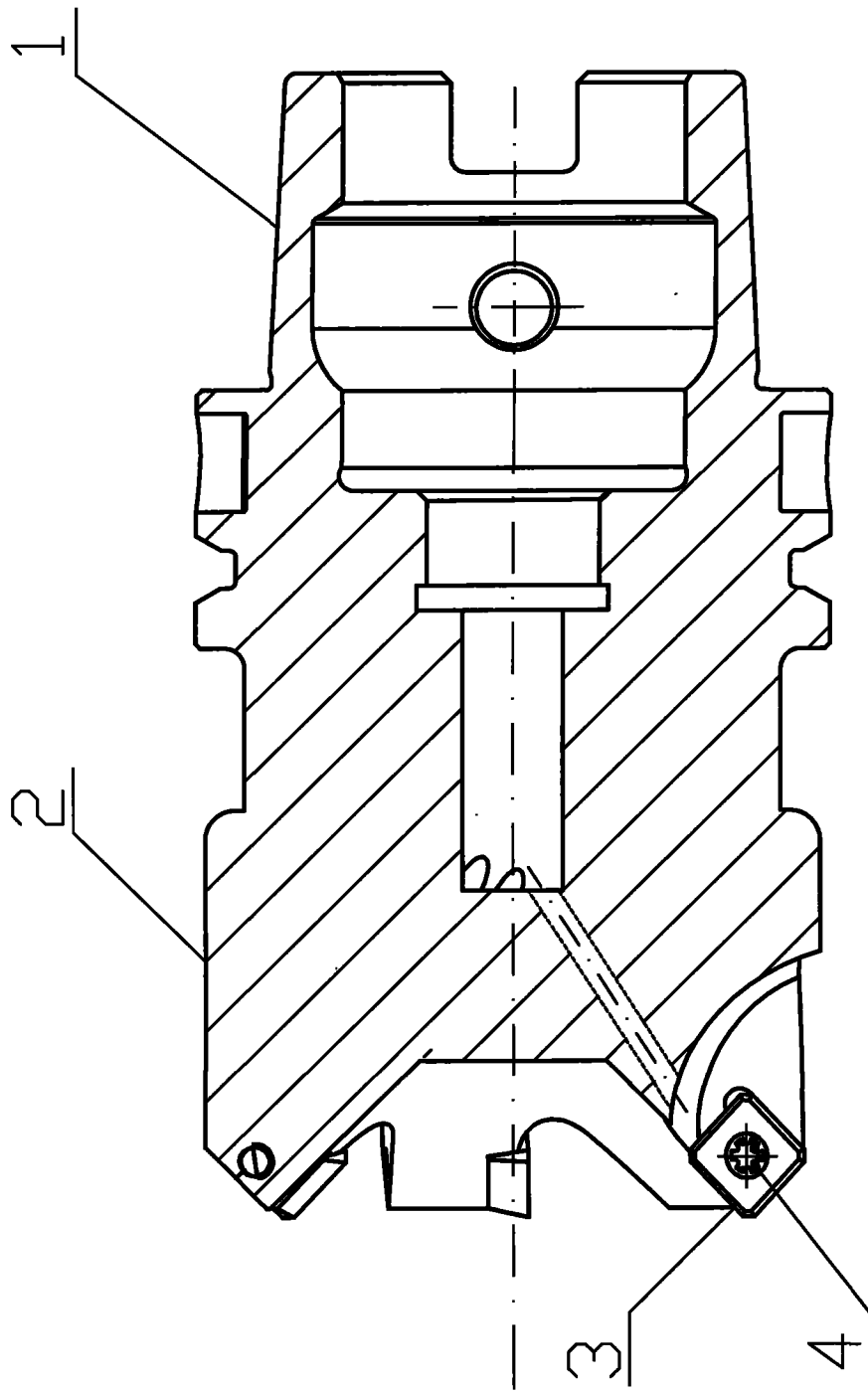


图 4