



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107415060 B

(45)授权公告日 2019.03.05

(21)申请号 201710881920.2

审查员 李晓雪

(22)申请日 2017.09.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107415060 A

(43)申请公布日 2017.12.01

(73)专利权人 长沙理工大学

地址 410114 湖南省长沙市雨花区万家丽南路二段960号

(72)发明人 唐昆 孔明慧 谭可成

(51)Int.Cl.

B28D 1/18(2006.01)

B28D 7/00(2006.01)

B28D 7/04(2006.01)

B24B 29/04(2006.01)

B24B 41/06(2012.01)

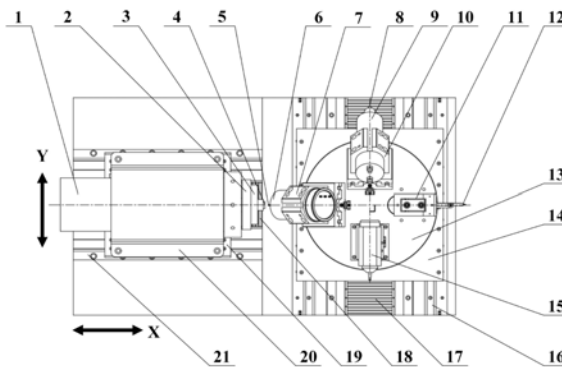
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法

(57)摘要

本发明介绍了一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法,该方法基于一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工机床,针对不同的工件材质,遵循不同工序来加工小口径旋转轴对称光学曲面元件。该方法通过在单台机床上集成斜轴微细铣削、斜轴电流变抛光、单点金刚石车削三种加工装置,可实现不同加工方式之间的迅速切换;结合检测装置对工件进行在位测量与形状误差修正,可实现工件的补偿加工,加工路径可控性好;工件在加工过程中一次性装夹,降低了累积误差,减少了辅助工时,提高了加工精度;适应不同面形工件的加工及检测,可有效避免刀具与工件之间的干涉现象;适合多种材质工件的加工,工件面形的加工效率较高。



1. 一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法,该方法基于一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工机床,针对不同的工件材质,遵循不同工序来加工小口径旋转轴对称光学曲面元件,其特征在于:

加工硬脆材质或合金钢材质的小口径旋转轴对称光学曲面元件时,所遵循的工序为:

工序1:将装夹有所述待加工工件的工件夹具,通过真空吸盘固定安装于工件主轴的右端;旋转所述旋转台,使斜轴微细铣削装置的铣削主轴轴线与工件主轴的轴线倾斜成 $\angle\alpha_1$ 角度相交, $\angle\alpha_1$ 角度的取值范围为:40~50°;利用CCD显微镜完成所述工件与微细铣削头的对刀;

工序2:完成工序1中对刀后,通过所述斜轴微细铣削装置,使微细铣削头在铣削主轴的驱动下,根据设定的微细铣削加工轨迹,对工件进行斜轴微细铣削加工,加工出所需的工件面形;

工序3:完成工序2中的初步加工后,所述旋转台顺时针旋转90°,采用检测装置对所加工的工件面形的形状精度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的形状精度进行对比;

工序4:若工序3的测量结果达到形状精度要求,则结束斜轴微细铣削加工,进行下一步工序5,进行工件抛光,若工序3的测量结果未达到形状精度要求,则将测量结果对比初始微细铣削加工轨迹,由机床系统软件根据对比结果计算出形状误差,并在过滤掉所述检测装置随机误差之后拟合出误差补偿曲线,生成微细铣削头的补偿加工轨迹;接着,所述旋转台逆时针旋转90°,继续进行工序2中的斜轴微细铣削加工,完成后进行工序3中的测量,如此循环,直至工件面形达到所要求的形状精度;

工序5:所述旋转台逆时针旋转180°,使斜轴电流变抛光装置的抛光主轴轴线与工件主轴的轴线倾斜成 $\angle\alpha_2$ 角度相交, $\angle\alpha_2$ 角度的取值范围为:40~50°;利用CCD显微镜完成所述工件与电流变抛光头的对刀;

工序6:完成工序5中对刀后,在工件面形的抛光区域不断加入电流变液,通过所述斜轴电流变抛光装置,使电流变抛光头在抛光主轴的驱动下对工件面形进行一定时间的抛光;所述电流变抛光头圆弧角的圆弧法线始终与工件面形抛光表面的法线重合,工件面形与电流变液接触点始终构成工件面形抛光区域的法线方向;所述电流变抛光头前端存在一定强度的电场,电流变液在电场作用下粘度、剪切强度提高,可吸附在电流变抛光头上实现对工件面形的抛光;

工序7:完成工序6中的抛光后,所述旋转台顺时针旋转180°,采用检测装置对工件面形的表面粗糙度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的表面粗糙度进行对比;

工序8:若工序7的测量结果达到表面粗糙度要求,则进行工序9,取下所述工件;若工序7的测量结果未达到表面粗糙度要求,则继续进行工序6中的斜轴电流变抛光加工,完成后进行工序7中的测量;如此循环,直至工件面形达到所要求的表面粗糙度;

工序9:所述工件主轴在第一滑台的带动下,沿X方向向左平移一定距离,取下工件夹具和工件,完成工件的整个加工过程;

加工软质金属及其合金、聚合物、晶体材质的小口径旋转轴对称光学曲面元件时,所遵循的工序为:

工序1:将装夹有所述待加工工件的工件夹具,通过真空吸盘固定安装于工件主轴的右端;旋转所述旋转台,使单点金刚石车刀的中心线与工件主轴的轴线重合;利用CCD显微镜

完成所述工件与单点金刚石车刀的对刀；

工序2:完成工序1中对刀后,通过所述单点金刚石车削装置,采用单点金刚石车刀,根据设定的单点金刚石车削加工轨迹,对工件进行单点金刚石车削加工,加工出所需的工件面形;

工序3:完成工序2中的初步加工后,所述旋转台逆时针旋转 90° ,采用检测装置对所加工的工件面形的形状精度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的形状精度进行对比;

工序4:若工序3的测量结果达到形状精度要求,则结束单点金刚石车削加工,进行下一步工序5,进行工件抛光,若工序3的测量结果未达到形状精度要求,则将测量结果对比初始单点金刚石车削加工轨迹,由机床系统软件根据对比结果计算出形状误差,并在过滤掉所述检测装置随机误差之后拟合出误差补偿曲线,生成单点金刚石车刀的补偿加工轨迹;接着,所述旋转台顺时针旋 90° ,继续进行工序2中的单点金刚石车削加工,完成后进行工序3中的测量,如此循环,直至工件面形达到所要求的形状精度;

工序5:所述旋转台逆时针旋转 180° ,使斜轴电流变抛光装置的抛光主轴轴线与工件主轴的轴线倾斜成 $\angle\alpha_2$ 角度相交, $\angle\alpha_2$ 角度的取值范围为: $40\sim 50^{\circ}$;利用CCD显微镜完成所述工件与电流变抛光头的对刀;

工序6:完成工序5中对刀后,在工件面形的抛光区域不断加入电流变液,通过所述斜轴电流变抛光装置,使电流变抛光头在抛光主轴的驱动下对工件面形进行一定时间的抛光;所述电流变抛光头圆弧角的圆弧法线始终与工件面形抛光表面的法线重合,工件面形与电流变液接触点始终构成工件面形抛光区域的法线方向;所述电流变抛光头前端存在一定强度的电场,电流变液在电场作用下粘度、剪切强度提高,可吸附在电流变抛光头上实现对工件面形的抛光;

工序7:完成工序6中的抛光后,所述旋转台顺时针旋转 180° ,采用检测装置对工件面形的表面粗糙度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的表面粗糙度进行对比;

工序8:若工序7测量达到表面粗糙度要求,则进行工序9,取下所述工件;若工序7测量未达到表面粗糙度要求,则继续进行工序6中的斜轴电流变抛光加工,完成后进行工序7中的测量;如此循环,直至工件面形达到所要求的表面粗糙度;

工序9:所述工件主轴在第一滑台的带动下,沿X方向向左平移一定距离,取下工件夹具和工件,完成工件的整个加工过程。

一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学曲面元件加工方法,具体涉及一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法。

背景技术

[0002] 随着光电信息、汽车、生物、医疗、安防、军事及航空航天产业的迅速发展,小口径旋转轴对称光学曲面元件在各类高质量成像系统中的应用日益广泛,需求量急剧增加。为满足上述领域中高精度成像的要求,小口径旋转轴对称光学曲面元件的面形要求达到亚微米级的形状精度,其表面要求达到纳米级的表面粗糙度且极小的亚表面损伤。

[0003] 目前,对于小口径旋转轴对称光学曲面元件的精密制造,主要有两种方法:(1)直接针对不同材质的毛坯,先进行精密车削、铣削或磨削工序,再进行研磨或抛光工序,加工出所需面形的光学元件;(2)采用先进行精密磨削,再进行研磨、抛光的工序,制造出高精度的模具,然后针对不同材质的毛坯,进行热压成型或注射成型,获得所需面形的光学元件。上述两种方法中,无论是直接加工毛坯,还是加工高精度模具,其加工工序通常需要在不同的机床上分别完成,其缺陷在于:(1)工件需在不同的机床及检测装置上进行多次装夹,引入了安装误差、对刀误差等,其累积误差较大,从而影响了最终的加工精度;(2)多次装夹消耗了更多的辅助工时,降低了加工效率。

[0004] 针对上述缺陷,中国发明专利“小口径非球面复合精密加工方法”(申请公布号:CN 102161169A,申请公布日:2011.08.24,申请号:2011100214276),提出了一种小口径非球面复合精密加工方法,通过在一台机床上结合斜轴镜面磨削装置、斜轴磁流变研抛装置以及检测装置,实现小口径非球面光学元件的复合加工。但是,该发明仍然存在以下不足:(1)该发明的工件面形加工采用斜轴镜面磨削,该加工方式主要适用于硬脆材料,例如硬质合金、陶瓷、光学玻璃等,而不适于合金钢、软质金属材料及其合金(例如铝、铜、镁、镍、银、锡、锌及其合金等)、聚合物(例如乙缩醛、丙烯酸、氟塑料、尼龙等)、晶体材料(锗、KDP、硅、硒化锌、氟化钙、砷化镓、硫化锌等);该发明的工件面形抛光采用斜轴磁流变研抛,由于该加工方式需要加入磁性颗粒的磁流变液完成研抛,不适于研抛导磁材料,如铁、镍等;因此,该发明适用的光学毛坯材料有限。(2)该发明的工件面形加工采用斜轴镜面磨削,该加工方式存在砂轮易堵塞、需频繁修整,磨削深度及磨削量有限等缺点,降低了加工效率。

发明内容

[0005] 针对上述现有技术中存在的累积误差大、加工精度与加工效率低、加工材料有限等问题,本发明旨在提供一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法。

[0006] 本发明为解决上述技术问题采取的技术方案是,所提供的这种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法,参见附图1~5,是利用一台配备有斜轴微细铣削装置、单点金刚石车削装置、斜轴电流变抛光装置及检测装置的精密加工机床,针对不同的工件材质,遵循不同工序来加工小口径旋转轴对称光学曲面元件。

[0007] 所述待加工的工件由工件夹具夹持,工件夹具通过真空吸盘吸附在工件主轴右端,工件主轴通过夹持式固定支架固定安装于精密加工机床左侧的第一滑台上。所述第一滑台在第一直线电机的电磁推力驱动下,可在第一导轨上沿床身X方向自由往复平移。所述工件主轴、工件夹具、工件的轴线重合;所述工件主轴旋转时,带动工件夹具和工件,以相同的转速旋转。

[0008] 所述斜轴微细铣削装置、斜轴电流变抛光装置、单点金刚石车削装置及检测装置呈环形固定设置在精密加工机床右侧旋转台上,且两两之间间隔 90° 。所述旋转台绕其轴线旋转时,可带动上述四个装置,以相同的转速旋转。所述旋转台设置于第二滑台上,第二滑台在第二直线电机的电磁推力驱动下,可在第二导轨上沿床身Y方向自由往复平移。同时,所述第二导轨与第一导轨呈垂直设置。

[0009] 所述斜轴微细铣削装置的轴线和单点金刚石车削装置的中心线在旋转台上表面的投影重合,且斜轴电流变抛光装置的轴线和检测装置的中心线在旋转台上表面的投影重合,上述轴线与中心线的投影相交于旋转台上表面中心且保持垂直。通过所述旋转台的转动,可根据不同的工序切换加工方式,或进行工件形状精度的检测。所述微细铣削头、电流变抛光头均采用倾斜的安装方式,即采用斜轴加工方式,可有效避免加工工件的凹面时刀具与工件之间的干涉现象。所述单点金刚石车刀可采用不同的结构和形式,以适应不同面形工件的加工,并避免干涉。所述检测装置的测量机构可以转动,可实现加工过程中对不同面形工件的检测;并可结合工件面形的误差补偿,有效提高工件形状精度。此外,所述精密机床分别采用第一、第二直线电机驱动第一、第二滑台平移,移动速度及响应快,定位精度高,稳定性好,且加工路径可控性好,可获得较高的工件表面质量。

[0010] 加工硬脆材质(例如硬质合金、陶瓷、光学玻璃等)或合金钢材质的小口径旋转轴对称光学曲面元件时,所遵循的工序为:

[0011] 工序1:将装夹有所述待加工工件的工件夹具,通过真空吸盘固定安装于工件主轴的右端;旋转所述旋转台,使斜轴微细铣削装置的铣削主轴轴线与工件主轴的轴线倾斜成 $\angle\alpha_1$ 角度相交, $\angle\alpha_1$ 角度的取值范围为: $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$;利用CCD显微镜完成所述工件与微细铣削头的对刀。

[0012] 工序2:完成工序1中对刀后,通过所述斜轴微细铣削装置,使微细铣削头在铣削主轴的驱动下,根据设定的微细铣削加工轨迹,对工件进行斜轴微细铣削加工,加工出所需的工件面形。

[0013] 工序3:完成工序2中的初步加工后,所述旋转台顺时针旋转 90° ,采用检测装置对所加工的工件面形的形状精度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的形状精度进行对比。

[0014] 工序4:若工序3的测量结果达到形状精度要求,则结束斜轴微细铣削加工,进行下一步工序5,进行工件抛光。若工序3的测量结果未达到形状精度要求,则将测量结果对比初始微细铣削加工轨迹,由机床系统软件根据对比结果计算出形状误差,并在过滤掉所述检测装置随机误差之后拟合出误差补偿曲线,生成微细铣削头的补偿加工轨迹;接着,所述旋转台逆时针旋转 90° ,继续进行工序2中的斜轴微细铣削加工,完成后进行工序3中的测量。如此循环,直至工件面形达到所要求的形状精度。

[0015] 工序5:所述旋转台逆时针旋转 180° ,使斜轴电流变抛光装置的抛光主轴轴线与工

件主轴的轴线倾斜成 $\angle\alpha_2$ 角度相交， $\angle\alpha_2$ 角度的取值范围为： $40\sim 50^\circ$ ；利用CCD显微镜完成所述工件与电流变抛光头的对刀。

[0016] 工序6:完成工序5中对刀后,在工件面形的抛光区域不断加入电流变液,通过所述斜轴电流变抛光装置,使电流变抛光头在抛光主轴的驱动下对工件面形进行一定时间的抛光;所述电流变抛光头圆弧角的圆弧法线始终与工件面形抛光表面的法线重合,工件面形与电流变液接触点始终构成工件面形抛光区域的法线方向;所述电流变抛光头前端存在一定强度的电场,电流变液在电场作用下粘度、剪切强度提高,可吸附在电流变抛光头上实现对工件面形的抛光。

[0017] 工序7:完成工序6中的抛光后,所述旋转台顺时针旋转 180° ,采用检测装置对工件面形的表面粗糙度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的表面粗糙度进行对比。

[0018] 工序8:若工序7的测量结果达到表面粗糙度要求,则进行工序9,取下所述工件;若工序7的测量结果未达到表面粗糙度要求,则继续进行工序6中的斜轴电流变抛光加工,完成后进行工序7中的测量;如此循环,直至工件面形达到所要求的表面粗糙度。

[0019] 工序9:所述工件主轴在第一滑台的带动下,沿X方向向左平移一定距离,取下工件夹具和工件,完成工件的整个加工过程。

[0020] 加工软质金属及其合金(例如铝、铜、镁、镍、银、锡、锌及其合金)、聚合物(例如乙缩醛、丙烯酸、氟塑料、尼龙等)、晶体(锗、KDP、硅、硒化锌、氟化钙、砷化镓、硫化锌等)等材质的小口径旋转轴对称光学曲面元件时,所遵循的工序为:

[0021] 工序1:将装夹有所述待加工工件的工件夹具,通过真空吸盘固定安装于工件主轴的右端;旋转所述旋转台,使单点金刚石车刀的中心线与工件主轴的轴线重合;利用CCD显微镜完成所述工件与单点金刚石车刀的对刀。

[0022] 工序2:完成工序1中对刀后,通过所述单点金刚石车削装置,采用单点金刚石车刀,根据设定的单点金刚石车削加工轨迹,对工件进行单点金刚石车削加工,加工出所需的工件面形。

[0023] 工序3:完成工序2中的初步加工后,所述旋转台逆时针旋转 90° ,采用检测装置对所加工的工件面形的形状精度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的形状精度进行对比。

[0024] 工序4:若工序3的测量结果达到形状精度要求,则结束单点金刚石车削加工,进行下一步工序5,进行工件抛光。若工序3的测量结果未达到形状精度要求,则将测量结果对比初始单点金刚石车削加工轨迹,由机床系统软件根据对比结果计算出形状误差,并在过滤掉所述检测装置随机误差之后拟合出误差补偿曲线,生成单点金刚石车刀的补偿加工轨迹;接着,所述旋转台顺时针旋转 90° ,继续进行工序2中的单点金刚石车削加工,完成后进行工序3中的测量。如此循环,直至工件面形达到所要求的形状精度。

[0025] 工序5:所述旋转台逆时针旋转 180° ,使斜轴电流变抛光装置的抛光主轴轴线与工件主轴的轴线倾斜成 $\angle\alpha_2$ 角度相交， $\angle\alpha_2$ 角度的取值范围为： $40\sim 50^\circ$ ；利用CCD显微镜完成所述工件与电流变抛光头的对刀。

[0026] 工序6:完成工序5中对刀后,在工件面形的抛光区域不断加入电流变液,通过所述斜轴电流变抛光装置,使电流变抛光头在抛光主轴的驱动下对工件面形进行一定时间的抛光;所述电流变抛光头圆弧角的圆弧法线始终与工件面形抛光表面的法线重合,工件面形

与电流变液接触点始终构成工件面形抛光区域的法线方向;所述电流变抛光头前端存在一定强度的电场,电流变液在电场作用下粘度、剪切强度提高,可吸附在电流变抛光头上实现对工件面形的抛光。

[0027] 工序7:完成工序6中的抛光后,所述旋转台顺时针旋转180°,采用检测装置对工件面形的表面粗糙度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的表面粗糙度进行对比。

[0028] 工序8:若工序7测量达到表面粗糙度要求,则进行工序9,取下所述工件;若工序7测量未达到表面粗糙度要求,则继续进行工序6中的斜轴电流变抛光加工,完成后进行工序7中的测量;如此循环,直至工件面形达到所要求的表面粗糙度。

[0029] 工序9:所述工件主轴在第一滑台的带动下,沿X方向向左平移一定距离,取下工件夹具和工件,完成工件的整个加工过程。

[0030] 本发明的有益效果是:(1)在单台机床上集成了斜轴微细铣削、斜轴电流变抛光、单点金刚石车削三种加工装置,不同的加工方式之间切换迅速、方便;结合检测装置对工件进行在位测量与形状误差修正,实现了工件的补偿加工,且加工路径可控性好,提高了加工精度。(2)工件在加工过程中一次性装夹,减少了多次装夹引入的安装误差、对刀误差等,降低了累积误差,并减少了辅助工时,提高了加工精度和加工效率。(3)适应不同面形工件的加工及检测,可有效避免加工工件凹面时刀具与工件之间的干涉现象,特别适用于小口径旋转轴对称光学曲面元件的高效、精密制造。(4)适合多种材质工件的加工,例如硬脆材料、合金钢、软质金属及其合金、聚合物、晶体材料等,并适于导磁材料的加工。(5)本发明的工件面形加工采用斜轴微细铣削或单点金刚石车削,加工效率较高。

附图说明

[0031] 图1是本发明具体实施方式中一种小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工方法的原理示意图。

[0032] 图2是本发明具体实施方式中斜轴微细铣削加工示意图。

[0033] 图3是本发明具体实施方式中斜轴电流变抛光加工示意图。

[0034] 图4是本发明具体实施方式中单点金刚石车削加工示意图。

[0035] 图5是本发明具体实施方式中斜轴电流变抛光加工区域示意图。

[0036] 以上图1至图5中的标示为:1、工件主轴,2、真空吸盘,3、工件夹具,4、工件,5、微细铣削头,6、铣削主轴,7、斜轴微细铣削装置,8、电流变抛光头,9、抛光主轴,10、斜轴电流变抛光装置,11、单点金刚石车削装置,12、单点金刚石车刀,13、旋转台,14、第二滑台,15、检测装置,16、第二导轨,17、第二直线电机,18、第一直线电机,19、第一滑台,20、夹持式固定支架,21第一导轨,22、电流变液。

具体实施方式

[0037] 实施例一

[0038] 参见附图1、2、3、5,待加工工件的材质为黛杰工业株式会社生产的FB05硬质合金,工件毛坯为圆柱体(尺寸为 $\Phi 20\text{mm} \times 10\text{mm}$),待加工工件面形位于圆柱体的端面,其形状为轴对称非球凹曲面,非球面口径为10mm。上述工件的加工在一台小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工机床上完成,并遵循以下工序:

[0039] 工序1:将装夹有所述待加工工件4的工件夹具3,通过真空吸盘2固定安装于工件主轴1的右端;旋转所述旋转台13,使斜轴微细铣削装置7的铣削主轴6的轴线与工件主轴1的轴线倾斜成 $\angle\alpha_1$ 角度相交, $\angle\alpha_1$ 角度的取值为 45° ;利用CCD显微镜完成所述工件4与微细铣削头5的对刀。

[0040] 工序2:完成工序1中对刀后,通过所述斜轴微细铣削装置7,使微细铣削头5在铣削主轴6的驱动下,根据设定的微细铣削加工轨迹,对工件4进行斜轴微细铣削加工,加工出所需的非球面面形。

[0041] 工序3:完成工序2中的初步加工后,所述旋转台13顺时针旋转 90° ,采用检测装置15对所加工的工件面形的形状精度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的形状精度进行对比。

[0042] 工序4:若工序3的测量结果达到形状精度要求,则结束斜轴微细铣削加工,进行下一步工序5,进行工件抛光。若工序3的测量结果未达到形状精度要求,则将测量结果对比初始微细铣削加工轨迹,由机床系统软件根据对比结果计算出形状误差,并在过滤掉所述检测装置15随机误差之后拟合出误差补偿曲线,生成微细铣削头5的补偿加工轨迹;接着,所述旋转台13逆时针旋转 90° ,继续进行工序2中的斜轴微细铣削加工,完成后进行工序3中的测量。如此循环,直至工件面形达到所要求的形状精度。

[0043] 工序5:所述旋转台13逆时针旋转 180° ,使斜轴电流变抛光装置10的抛光主轴9的轴线与工件主轴1的轴线倾斜成 $\angle\alpha_2$ 角度相交, $\angle\alpha_2$ 角度的取值为 45° ;利用CCD显微镜完成所述工件4与电流变抛光头8的对刀。

[0044] 工序6:完成工序5中对刀后,在工件面形的抛光区域不断加入电流变液22,通过所述斜轴电流变抛光装置10,使电流变抛光头8在抛光主轴9的驱动下对工件面形进行时间为30分钟的抛光;所述电流变抛光头8圆弧角的圆弧法线始终与工件面形抛光表面的法线重合,工件面形与电流变液22接触点始终构成工件面形抛光区域的法线方向;所述电流变抛光头8前端存在一定强度的电场,电流变液22在电场作用下粘度、剪切强度提高,可吸附在电流变抛光头8上实现对工件面形的抛光。

[0045] 工序7:完成工序6中的抛光后,所述旋转台13顺时针旋转 180° ,采用检测装置15对工件面形的表面粗糙度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的表面粗糙度进行对比。

[0046] 工序8:若工序7的测量结果达到表面粗糙度要求,则进行工序9,取下所述工件4;若工序7的测量结果未达到表面粗糙度要求,则继续进行工序6中的斜轴电流变抛光加工,完成后进行工序7中的测量;如此循环,直至工件面形达到所要求的表面粗糙度。

[0047] 工序9:所述工件主轴1在第一滑台19的带动下,沿X方向向左平移200mm,取下工件夹具3和工件4,完成工件4的整个加工过程。

[0048] 实施例二

[0049] 参见附图1、3、4、5,待加工工件的材质为市售H62模具专用黄铜,工件毛坯为圆柱体(尺寸为 $\Phi 20\text{mm}\times 10\text{mm}$),待加工工件面形位于圆柱体的端面,其形状为轴对称凹球面,凹球面口径为10mm。上述工件的加工在一台小口径旋转轴对称光学曲面元件精密加工机床上完成,并遵循以下工序:

[0050] 工序1:将装夹有所述待加工工件4的工件夹具3,通过真空吸盘2固定安装于工件主轴1的右端;旋转所述旋转台13,使单点金刚石车刀12的中心线与工件主轴1的轴线重合;

利用CCD显微镜完成所述工件4与单点金刚石车刀12的对刀。

[0051] 工序2:完成工序1中对刀后,通过所述单点金刚石车削装置11,采用单点金刚石车刀12,根据设定的单点金刚石车削加工轨迹,对工件4进行单点金刚石车削加工,加工出所需的球面面形。

[0052] 工序3:完成工序2中的初步加工后,所述旋转台13逆时针旋转 90° ,采用检测装置15对所加工的工件面形的形状精度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的形状精度进行对比。

[0053] 工序4:若工序3的测量结果达到形状精度要求,则结束单点金刚石车削加工,进行下一步工序5,进行工件抛光。若工序3的测量结果未达到形状精度要求,则将测量结果对比初始单点金刚石车削加工轨迹,由机床系统软件根据对比结果计算出形状误差,并在过滤掉所述检测装置15随机误差之后拟合出误差补偿曲线,生成单点金刚石车刀12的补偿加工轨迹;接着,所述旋转台13顺时针旋转 90° ,继续进行工序2中的单点金刚石车削加工,完成后进行工序3中的测量。如此循环,直至工件面形达到所要求的形状精度。

[0054] 工序5:所述旋转台13逆时针旋转 180° ,使斜轴电流变抛光装置10的抛光主轴9的轴线与工件主轴1的轴线倾斜成 $\angle\alpha_2$ 角度相交, $\angle\alpha_2$ 角度的取值为 45° ;利用CCD显微镜完成所述工件4与电流变抛光头8的对刀。

[0055] 工序6:完成工序5中对刀后,在工件面形的抛光区域不断加入电流变液22,通过所述斜轴电流变抛光装置10,使电流变抛光头8在抛光主轴9的驱动下对工件面形进行时间为30分钟的抛光;所述电流变抛光头8圆弧角的圆弧法线始终与工件面形抛光表面的法线重合,工件面形与电流变液22接触点始终构成工件面形抛光区域的法线方向;所述电流变抛光头8前端存在一定强度的电场,电流变液22在电场作用下粘度、剪切强度提高,可吸附在电流变抛光头8上实现对工件面形的抛光。

[0056] 工序7:完成工序6中的抛光后,所述旋转台13顺时针旋转 180° ,采用检测装置15对工件面形的表面粗糙度进行在位测量,并将测量结果与要求达到的表面粗糙度进行对比。

[0057] 工序8:若工序7测量达到表面粗糙度要求,则进行工序9,取下所述工件4;若工序7测量未达到表面粗糙度要求,则继续进行工序6中的斜轴电流变抛光加工,完成后进行工序7中的测量;如此循环,直至工件面形达到所要求的表面粗糙度。

[0058] 工序9:所述工件主轴1在第一滑台19的带动下,沿X方向向左平移200mm,取下工件夹具3和工件4,完成工件4的整个加工过程。

[0059] 上述具体实施方式阐明的内容应当理解为该具体实施方式仅用于更清楚地说明本发明,而不用于限制本发明的范围,在阅读了本发明之后,本领域技术人员对本发明的各种等价形式的修改均落于本申请所附权利要求所限定的范围。

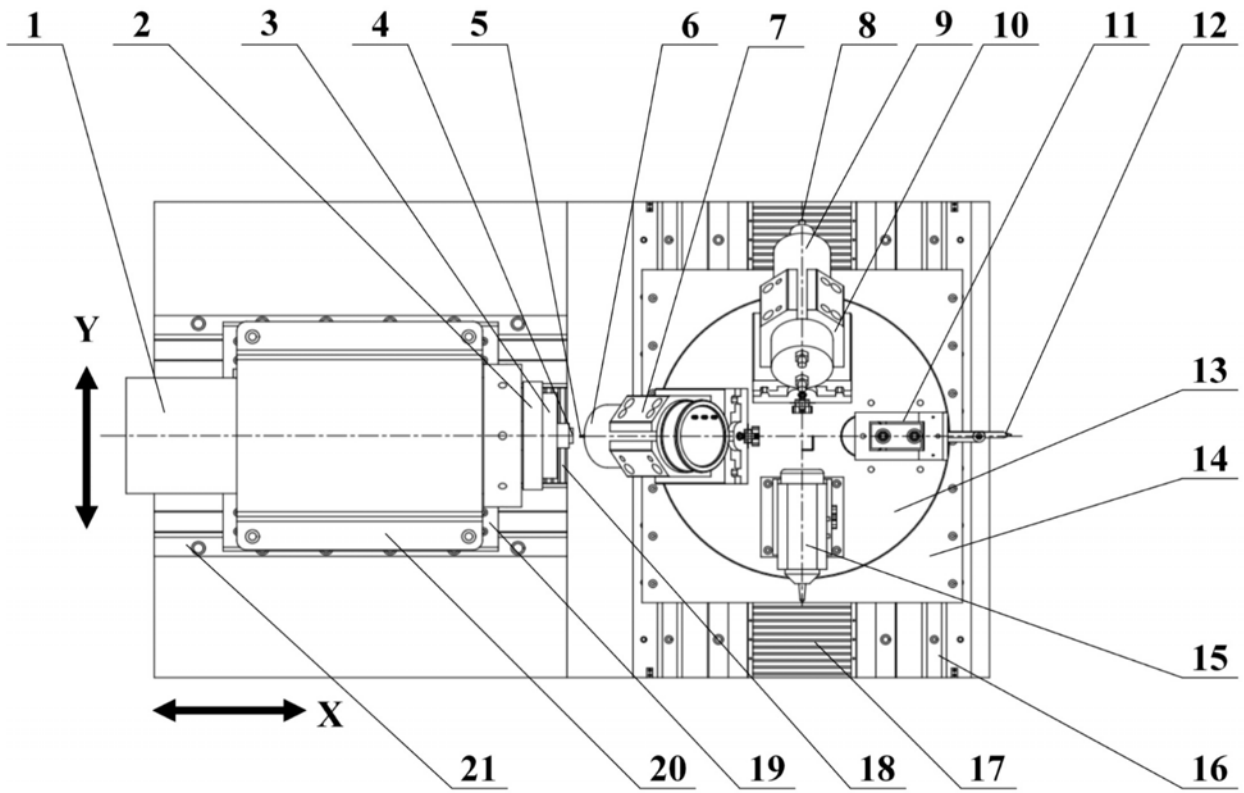


图1

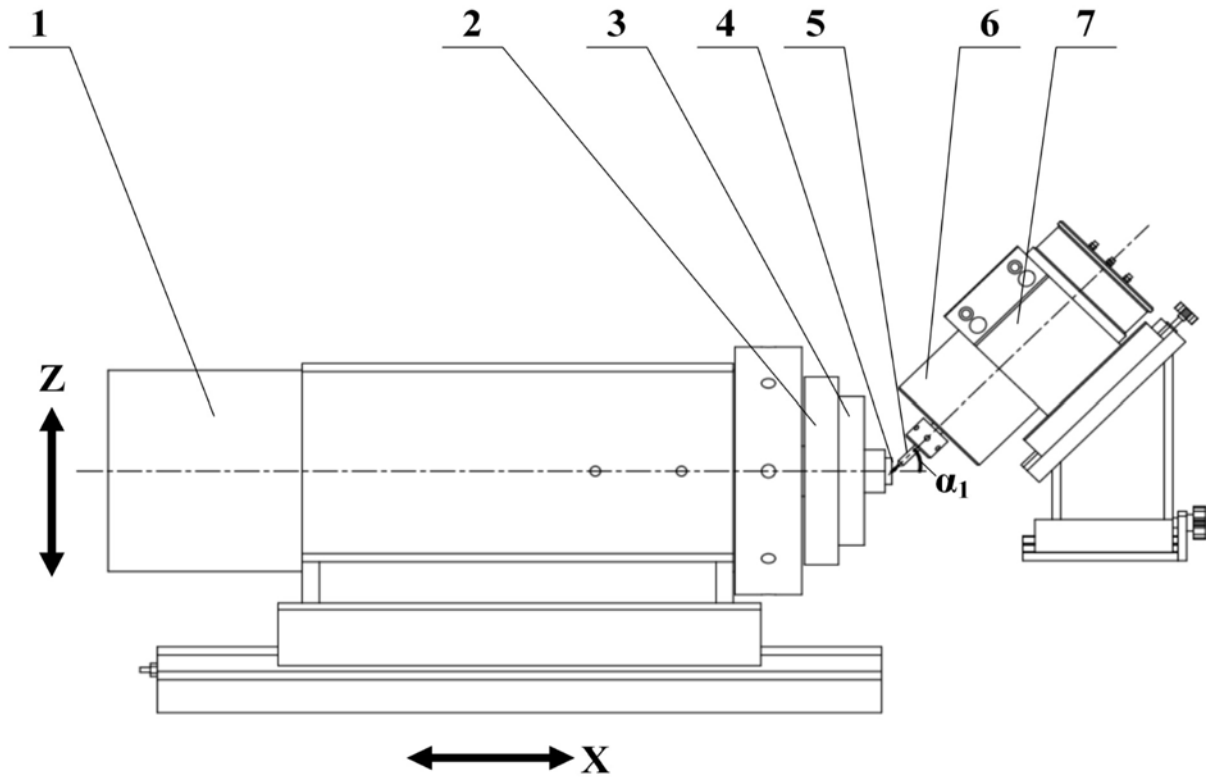


图2

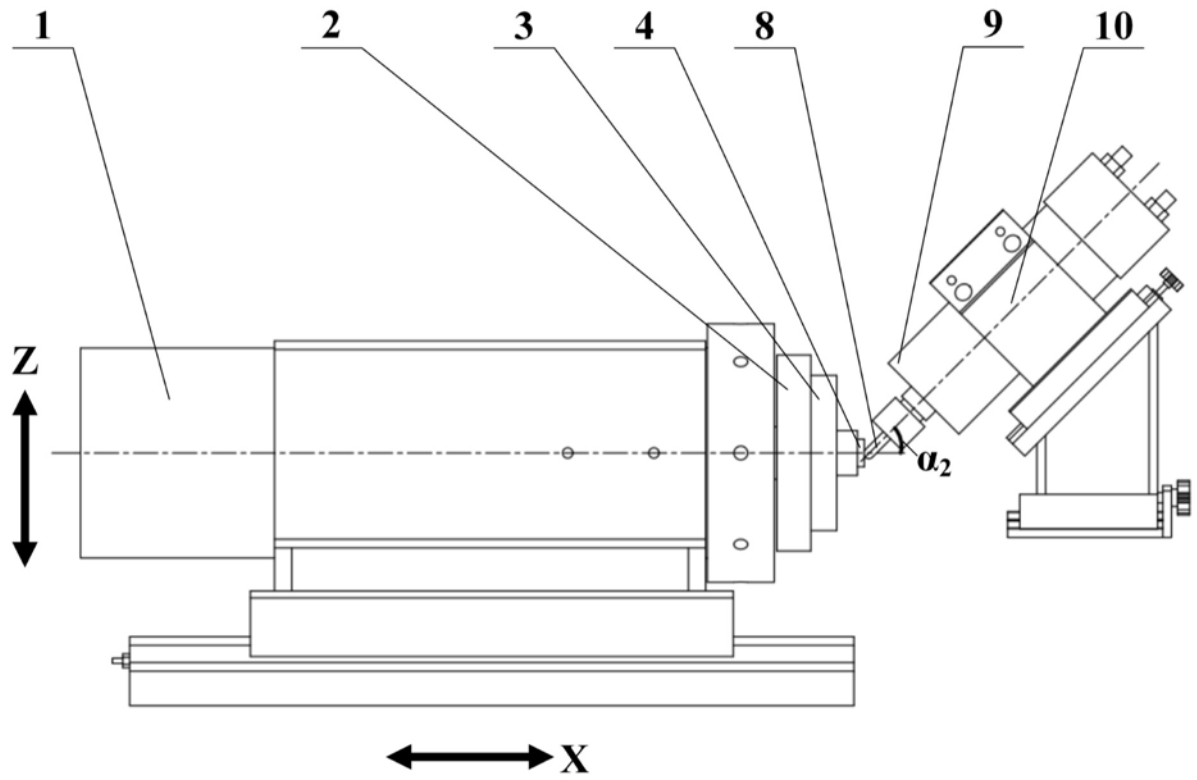


图3

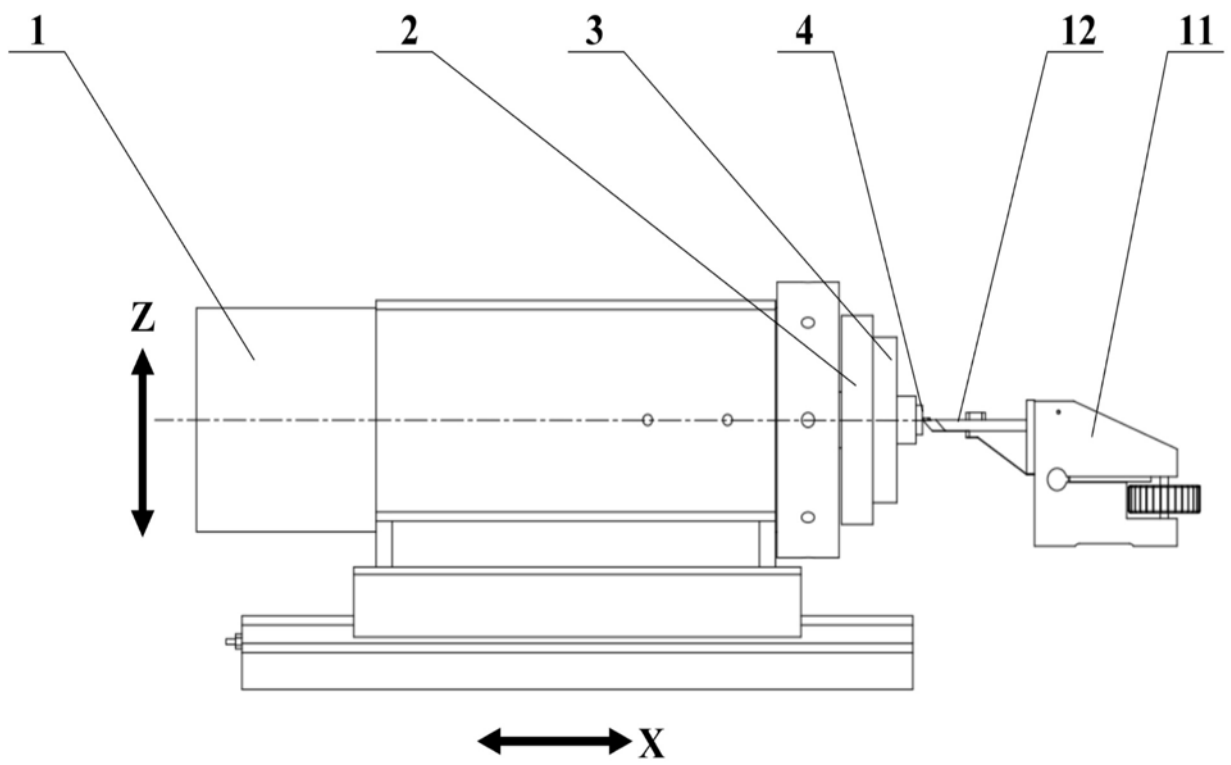


图4

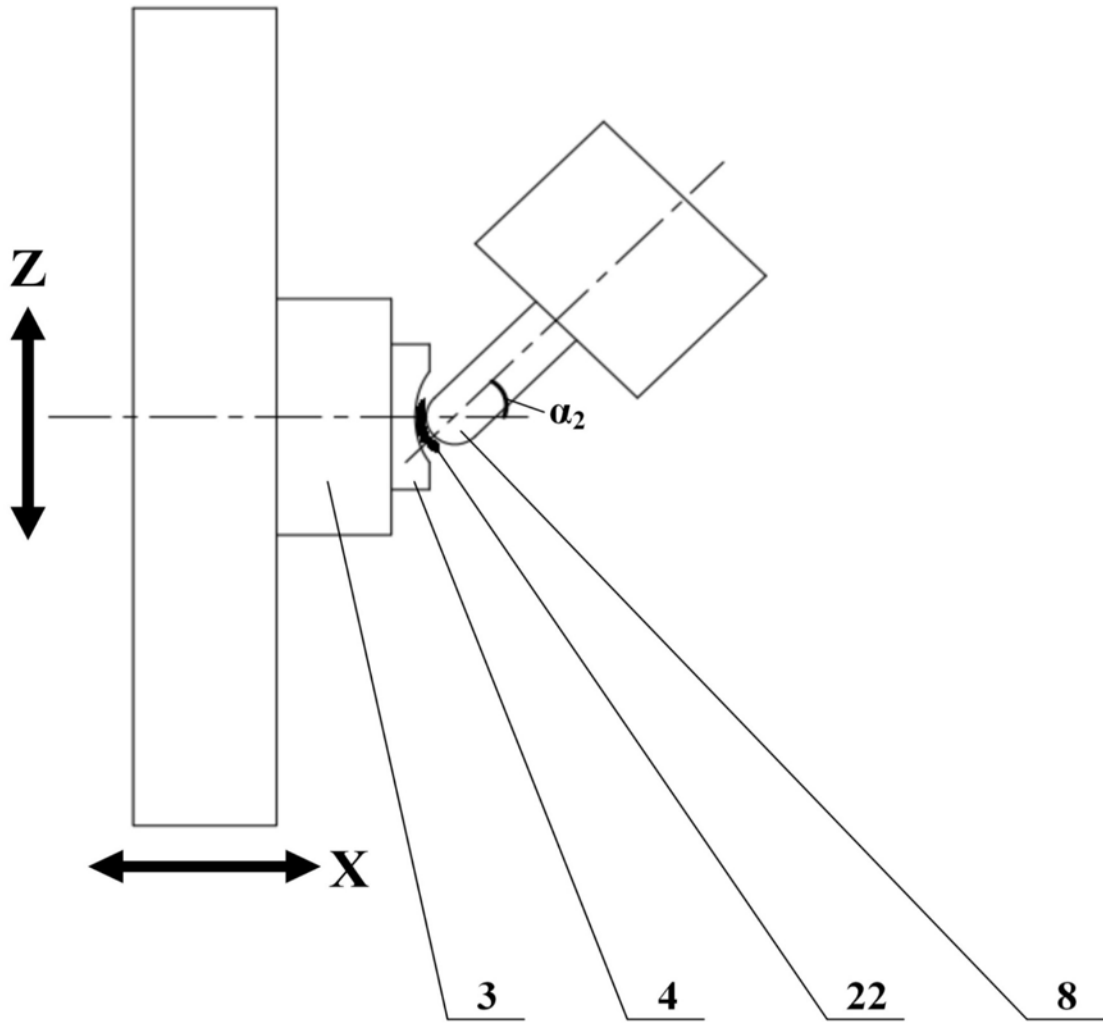


图5