

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025年1月2日 (02.01.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/001336 A1

- (51) 国际专利分类号:
B23K 20/12 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2024/082799
- (22) 国际申请日: 2024年3月20日 (20.03.2024)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310765380.7 2023年6月27日 (27.06.2023) CN
- (71) 申请人: 广东横琴澳质科技发展有限公司 (IDQ SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT (GUANGDONG, HENGQIN) CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省珠海市横琴新区环岛东路1889号7栋, Guangdong 519031 (CN)。澳门发展及质量研究所 (INSTITUTE FOR THE DEVELOPMENT AND QUALITY, MACAU) [CN/CN]; 中国澳门特别行政区氹仔徐日昇寅公马路, Macao 999078 (CN)。

航天工程装备(苏州)有限公司(AEROSPACE ENGINEERING EQUIPMENT (SUZHOU) CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市吴中区越溪街道北官渡路81号, Jiangsu 215100 (CN)。

- (72) 发明人: 郭达伟(GUO, Dawei); 中国澳门特别行政区氹仔徐日昇寅公马路澳门发展及质量研究所, Macao 999078 (CN)。乔乾(QIAO, Qian); 中国广东省珠海市横琴新区环岛东路1889号7栋, Guangdong 519031 (CN)。汪虎(WANG, Hu); 中国江苏省苏州市吴中区越溪街道北官渡路81号, Jiangsu 215100 (CN)。林慧怡(LAM, Waii); 中国澳门特别行政区氹仔徐日昇寅公马路澳门发展及质量研究所, Macao 999078 (CN)。周敏(ZHOU, Min); 中国广东省珠海市横琴新区环岛东路1889号7栋, Guangdong 519031 (CN)。李文晓(LI, Wenxiao); 中国江苏省苏州市吴中区越溪街道北官渡路81号, Jiangsu 215100 (CN)。朱志雄(ZHU, Zhixiong); 中国江苏省苏州市吴中区越溪

(54) Title: SOLID-STATE MACHINING METHOD AND SOLID-STATE MACHINING DEVICE

(54) 发明名称: 固态加工方法及固态加工装置

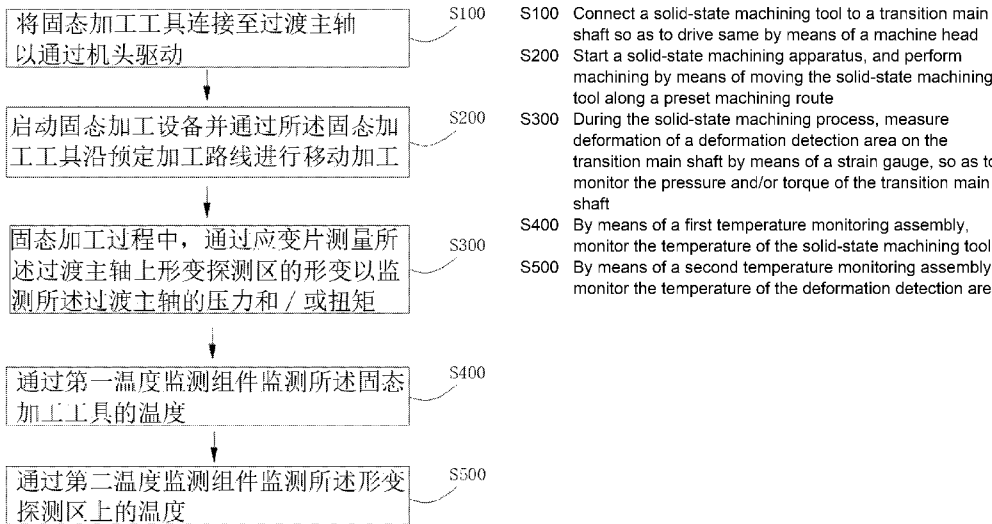


图 1

(57) Abstract: A solid-state machining method, the solid-state machining method comprising steps of: connecting a solid-state machining tool to a transition main shaft (100) so as to drive same by means of a machine head; starting a solid-state machining apparatus, and performing machining by means of moving the solid-state machining tool along a preset machining route; during the solid-state machining process, measuring deformation of a deformation detection area (120) on the transition main shaft (100) by means of a strain gauge, so as to monitor the pressure and/or torque of the transition main shaft (100); by means of a first temperature monitoring assembly, monitoring the temperature of the solid-state machining tool (500); and by means of a second temperature monitoring assembly (510), monitoring the temperature of the deformation detection area (120).



WO 2025/001336 A1

街道北官渡路81号, Jiangsu 215100 (CN)。杨国舜(YANG, Guoshun); 中国江苏省苏州市吴中区越溪街道北官渡路81号, Jiangsu 215100 (CN)。郭志达(KWOK, Chitat); 中国澳门特别行政区氹仔徐日昇寅公马路澳门发展及质量研究所, Macao 999078 (CN)。谭立武(TAM, Lapmou); 中国澳门特别行政区氹仔徐日昇寅公马路澳门发展及质量研究所, Macao 999078 (CN)。

- (74) 代理人: 湖南泽达信专利代理事务所(普通合伙)(HUNAN ZEDAXIN PATENT AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国湖南省长沙市岳麓区雷锋大道609号天麓小区二期文娱大厦第14层1419号, Hunan 410205 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种固态加工方法, 固态加工方法步骤包括: 将固态加工工具连接至过渡主轴(100)以通过机头驱动; 启动固态加工设备并通过固态加工工具沿预定加工路线进行移动加工; 固态加工过程中, 通过应变片测量过渡主轴(100)上形变探测区(120)的形变以监测过渡主轴(100)的压力和/或扭矩; 通过第一温度监测组件(500)监测固态加工工具的温度; 通过第二温度监测组件(510)监测形变探测区(120)上的温度。

固态加工方法及固态加工装置

技术领域

本发明涉及固态加工技术领域，尤其是涉及一种固态加工方法及固态加工装置。

背景技术

目前，一方面，由于固态加工过程中搅拌工具受力和扭矩情况往往通过置于主轴内的压力传感器及扭矩传感器进行监测，一旦安装完成便限定了量程，进行维修或者更换不同量程传感器时，操作复杂，且传感器本身成本较高；同时，搅拌工具受力和扭矩监测位置的温度会对最终的监测结果造成影响，而目前没有有效的手段去进行温度的监测。另一方面，以往针对固态加工过程中固态加工工具尖端的温度测量，通常采取以下三种方式，不够精确或成本较高。一种是用红外成像仪探测固态加工工具及加工位置温度，这种方法由于不同材质物体表面氧化情况以及温度均对比辐射系数造成影响，因此测温不够准确；还有一种方法是通过滑动接式热电偶探测加工位置附近热影响区温度，实际工况的工件表面粗糙度、适配空间和滑动速度对滑动式接触热电偶测温精度有限制，测温不够准确；还有一种是将热电偶丝通过预先加工的孔或槽放置于固态加工位置附近，当固态加工完成后，热电偶尖端会与固态加工位置附近材料形成冶金结合，无法二次使用，成本较大。

发明内容

本发明提供一种固态加工方法及固态加工装置，以解决现有技术中的问题。

本发明所解决的技术问题采用以下技术方案来实现：

第一方面，本发明提供了一种固态加工方法，所述固态加工方法步骤包括：

将固态加工工具连接至过渡主轴以通过机头驱动；

启动固态加工设备并通过所述固态加工工具沿预定加工路线进行移动加工；

固态加工过程中，通过应变片测量所述过渡主轴上形变探测区的形变以监测所述过渡主轴的压力和 / 或扭矩；

通过第一温度监测组件监测所述固态加工工具的温度；

通过第二温度监测组件监测所述形变探测区上的温度。

在一些实施例中，所述固态加工方法为搅拌摩擦焊焊接方法或固态增材制造方法。

进一步地，在固态加工过程中，通过应变片测量所述过渡主轴上形变探测区的形变以监测所述过渡主轴的压力和 / 或扭矩；通过第一温度监测组件监测所述固态加工工具的温度；通过第二温度监测组件监测所述形变探测区上的温度的步骤包括：

所述过渡主轴的外侧具有控制装置，在固态加工过程中通过控制装置收发应变片、第一温度监测组件以及第二温度监测组件的无线信号。

在一些实施例中，所述过渡主轴的外侧具有控制装置，在固态加工过程中通过控制装置收发应变片、第一温度监测组件以及第二温度监测组件的无线信号的步骤包括：

在固态加工过程中，控制装置内的集成电路板组件收发应变片、第一温度监测组件以及第二温度监测组件的无线信号，并将对应信号在终端上进行

显示，控制装置内的供电组件对集成电路板组件进行供电。

在一些实施例中，在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在所述过渡主轴上的形变探测区，以对压力和 / 或扭矩测量进行标定。

在一些实施例中，在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在所述过渡主轴上的形变探测区，以对压力和 / 或扭矩测量进行标定的步骤包括：

对压力的标定方法，将所述过渡主轴置于指定模具上，其底部固定，并从顶部施加已知大小的力，依次增大所施加的力，通过控制装置接收压力信号并对显示的压力信号进行标定。

在一些实施例中，在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在所述过渡主轴上的形变探测区，以对压力和 / 或扭矩测量进行标定的步骤包括：

对扭矩的标定方法，将所述过渡主轴置于指定模具上，其底部固定，从其顶部施加已知大小的扭矩，依次增加，通过控制装置接收扭矩信号并对显示的扭矩信号进行标定。

在一些实施例中，在固态加工过程开始前，第一温度监测组件伸入所述固态加工工具内部的腔道靠近所述固态加工工具加工端的一端；从而使得固态加工过程中，通过所述第一温度监测组件的监测端实时监测所述固态加工工具的加工端温度。

在一些实施例中，在固态加工过程开始前，第一温度监测组件伸入所述固态加工工具内部的腔道靠近所述固态加工工具加工端的一端；从而使得固态加工过程中，通过所述第一温度监测组件的监测端实时监测所述固态加工工具的加工端温度的步骤包括：

通过在腔道的竖直段和倾斜段的其中之一设置热电偶以监测所述固态加

工工具的加工端温度，在腔道的竖直段和倾斜段的其中另一设置定位件以定位所述热电偶。

在一些实施例中，固态加工过程中，所述过渡主轴的外侧具有冷却装置，且所述冷却装置朝向所述固态加工工具的一侧，通过所述冷却装置将固态加工工具向所述过渡主轴传递的热量进行冷却以避免所述过渡主轴温度过高。

在一些实施例中，固态加工过程中，所述过渡主轴的外侧具有冷却装置，且所述冷却装置朝向所述固态加工工具的一侧，通过所述冷却装置将固态加工工具向所述过渡主轴传递的热量进行冷却以避免所述过渡主轴温度过高的步骤包括：

所述冷却装置为固定连接在所述过渡主轴外侧的自冷却组件，在固态加工过程中，所述自冷却组件跟随所述过渡主轴同步旋转；或为转动连接在所述过渡主轴外侧的冷却套筒，所述冷却套筒内具有冷却模块以对所述过渡主轴进行冷却，在固态加工过程中，其中所述过渡主轴相对冷却套筒进行转动，冷却套筒不旋转。

在一些实施例中，所述冷却装置为固定连接在所述过渡主轴外侧的自冷却组件，在固态加工过程中，所述自冷却组件跟随所述过渡主轴同步旋转的步骤包括：

所述自冷却组件为半导体制冷片和 / 或风扇，在固态加工过程中，通过半导体制冷片和 / 或风扇对所述过渡主轴进行散热；且半导体制冷片和 / 或风扇均布在所述过渡主轴外侧，以维持所述过渡主轴的各处重量平衡。

在一些实施例中，所述冷却装置包括转动连接在所述过渡主轴外侧的冷却套筒，所述冷却套筒内具有冷却模块以对所述过渡主轴进行冷却，在固态

加工过程中，其中所述过渡主轴相对冷却套筒进行转动，冷却套筒不旋转的步骤包括：

所述冷却模块为在冷却套筒内开设冷却腔，固态加工过程中，通过控制进入冷却腔内的流体温度或者流量从而达到控制冷却效率的目的。

在一些实施例中，当第二温度监测组件监测到形变探测区处的温度低于预设温度范围的最小值时，可通过加热模块对该位置进行加热。

在一些实施例中，当第二温度监测组件监测到形变探测区的温度高于预设温度范围的最大值时，可通过提高冷却装置的冷却效率以减少从所述固态加工工具传导至所述过渡主轴的热量。

在一些实施例中，为实现对形变探测区的恒温控制，在固态加工过程开始前，对不同温度进行标定，得到各个温度下应变片测量数据的偏移值规律，以形成与这些温度值对应的误差修正曲线并输入至控制装置，通过参考曲线即可得出正确应变片测量数值。

在一些实施例中，在固态加工过程开始前，在所述过渡主轴和固态加工工具之间安装环形隔热组件以减少加工过程中固态加工工具产生的热量向过渡主轴进行传导。

第二方面，本发明提供了一种固态加工装置，所述固态加工装置为实施上述方法的固态加工装置。

本发明具有的有益效果是：

固态加工过程中，通过应变片测量所述过渡主轴上形变探测区的形变以监测所述过渡主轴的压力和 / 或扭矩；应变片尺寸小，重量轻，结构简单，测量速度快，测量时对被测件的工作状态和应力分布基本无影响，适用于动

态测量；通过第一温度监测组件监测所述固态加工工具的温度，可得到固态加工工具的工作实时温度，便于根据得到的温度信息对固态加工工具的工作参数进行调节；通过第二温度监测组件监测所述形变探测区上的温度，实时了解形变探测区的温度，便于用户根据得到的温度信息进行针对性调整，防止形变探测区温度过高或过低，进而影响测量准确性。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施方案或现有技术中的技术方案，下面将对实施方案或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施方案，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本发明中固态加工方法的流程示意图；

图 2 是本发明的一种实施例的整体使用示意图；

图 3 是本发明在基材上进行固态加工的示意图；

图 4 是本发明无线式轴柄的一种实施例的结构示意图；

图 5 是本发明无线式轴柄的另一种实施例的结构示意图；

图 6 是本发明的主视结构示意图；

图 7 是本发明的斜视结构示意图；

图 8 是图 6 的俯视结构示意图；

图 9 是沿图 8 中 A-A 剖线所作出的剖视结构示意图；

图 10 是图 9 的 D 处的放大结构示意图；

图 11 是图 8 中沿 B-B 剖线所作出的剖视结构示意图；

图 12 是本发明的关于连接组件的一种实施例；

图 13 是图 12 的 E 处的放大结构示意图；

图 14 是本发明的关于连接组件的另一种实施例；

图 15 是图 14 的 F 处的放大结构示意图；

图 16 是无线智慧轴柄的主视结构示意图；

图 17 是图 16 中沿 C-C 剖线所作出的剖视结构示意图；

图 18 是无线智慧轴柄的斜视结构示意图；

图 19 是过渡主轴与应变测量组件的连接结构示意图；

图 20 是过渡主轴的分段结构示意图；

图 21 是过渡主轴上关于冷却段的结构示意图。

附图标记说明：

100、过渡主轴；200、加工部；300、控制装置；400、冷却装置；

500、第一温度监测组件；510、第二温度监测组件；600、定位件；700、加热模块；800、连接组件；900、应变测量组件；1000、连接架；

110、支撑区；120、形变探测区；130、安装孔；140、螺纹通孔；150、散热槽；

210、腔道；211、倾斜段；212、竖直段；212a、凹槽；220、螺纹构造；

310、保护套筒；320、集成电路板组件；321、无线收发模块；322、温度控制面板；330、供电组件；

410、冷却套筒；420、冷却腔；430、自冷却组件；440、冷风枪；

810、磁吸件；820、固定卡扣；830、第一螺纹孔；

a、基材；b、焊缝。

具体实施方式

为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面结合具体图示，进一步阐述本发明。

为了解决上述技术问题，请参考附图进行理解，本申请的第一方面提出了一种固态加工方法，其步骤包括：

S100：将固态加工工具连接至过渡主轴 100 以通过机头驱动；在过渡主轴 100 的一侧安装固态加工工具，通过机头驱动过渡主轴 100 从而驱动固态加工工具进行旋转工作；

S200：如图 3 所示，启动固态加工设备并通过所述固态加工工具沿预定加工路线进行移动加工；启动固态加工设备从而带动机头、过渡主轴 100、固态加工工具沿着基材 a 上的固态加工路线进行移动固态加工；

S300：在固态加工过程中，通过应变片测量所述过渡主轴 100 上形变探测区 120 的形变以监测所述过渡主轴 100 的压力和 / 或扭矩；在过渡主轴 100 的外侧黏贴多组应变片，其中至少有一组用于测量过渡主轴 100 的下压力，至少有一组用于测量过渡主轴 100 的扭矩；

S400：在固态加工过程中，通过第一温度监测组件 500 监测所述固态加工工具的温度；通过第一温度监测组件 500 实时监测固态加工工具的温度，得到实时参数，从而便于用户进行反馈调节；

S500：在固态加工过程中，通过第二温度监测组件 510 监测所述形变探测区 120 上的温度；在过渡主轴 100 的形变探测区 120 处设置第二温度监测组件 510，通过第二温度监测组件 510 实时监测形变探测区 120 的温度，也可

以为应变片的温度，防止应变片处于较高或者较低的温度区域而用户不能得知该信息，从而导致及时测量结果不精准用户也无从知晓。

其中固态加工方法可以为搅拌摩擦焊焊接方法，也可以为固态增材制造方法，当固态加工方法为搅拌摩擦焊焊接方法时，固态加工工具为搅拌摩擦焊工具；当固态加工方法为固态增材制造方法时，固态加工工具为中空的搅拌工具。

在过渡主轴 100 的外侧具有控制装置 300，在固态加工过程中通过控制装置 300 收发应变片、第一温度监测组件 500 以及第二温度监测组件 510 的无线信号；通过控制装置 300 将无线信号转化为在终端显示的数值，便于用户直观了解各种加工参数信息。在固态加工过程中，控制装置 300 内的集成电路板组件 320 收发应变片、第一温度监测组件 500 以及第二温度监测组件 510 的无线信号，并将对应信号在终端上进行显示，控制装置 300 内的供电组件 330 对集成电路板组件 320 进行供电；应变片、第一温度监测组件 500、第二温度监测组件 510 都可以与集成电路板组件 320 进行连接，由于控制装置 300 与三者一起移动，因此信号的传输会更加稳定，也会使最终监测到的数据更加精准。根据探测到的主轴扭矩，压力和搅拌工具温度，来判断固态加工或加工参数是否合适，然后反馈给控制装置，之后做出响应，实时调整参数。

S110：在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在过渡主轴 100 上的形变探测区 120，并预先对应变片将要进行测量的力学数据例如压力、扭矩等进行标定。

S111：对压力的标定方法具体为，将过渡主轴 100 置于指定模具上，其底部固定，并从顶部施加已知大小的力，依次增大所施加的力，通过控制装

置 300 接收压力信号并对显示的压力信号进行标定。

S112: 对扭矩的标定方法具体为, 将过渡主轴 100 置于指定模具上, 其底部固定, 从其顶部施加已知大小的扭矩, 依次增加, 通过控制装置 300 接收扭矩信号并对显示的扭矩信号进行标定。

S113: 在固态加工过程开始前, 第一温度监测组件 500 伸入固态加工工具内部的腔道 210 靠近固态加工工具加工端的一端; 从而使得固态加工过程中, 通过第一温度监测组件 500 监测端实时监测所述固态加工工具的加工端温度, 以免热量在传导的过程中被消耗, 导致无法获取精准的温度信息。

S1131: 通过在腔道 210 的竖直段 212 和倾斜段 211 的其中之一设置热电偶以监测所述固态加工工具的加工端温度, 在腔道 210 的竖直段 212 和倾斜段 211 的其中另一设置定位件 600 以定位所述热电偶, 防止热电偶在高速旋转的过程中发生移位或碰撞等现象。

S310: 固态加工过程中, 过渡主轴 100 的外侧具有冷却装置 400, 且冷却装置 400 朝向固态加工工具的一侧, 通过所述冷却装置 400 将固态加工工具向所述过渡主轴 100 传递的热量进行冷却以避免过渡主轴 100 温度过高; 由于过渡主轴 100 上设置控制装置 300 和应变片等电学元件, 过高的温度容易使这些电学元件失准或失效, 因此有必要将固态加工工具向过渡主轴 100 传导的热量进行冷却; 同时, 还可以通过设置在过渡主轴 100 和固态加工工具之间的隔热组件进行隔热; 两种对过渡主轴 100 的冷却手段都可以进行使用; 优选地, 两种冷却手段同时使用, 经现场使用, 取消两者之一, 过渡主轴 100 处会出现温度较高的情况, 导致测量结果失准。

S311: 冷却装置有多种实施例, 其中有一种是冷却装置 400 包括转动连

接在过渡主轴 100 外侧的冷却套筒 410, 冷却套筒 410 内具有冷却模块以对过渡主轴 100 进行冷却, 在固态加工过程中, 其中过渡主轴 100 相对冷却套筒 410 进行转动, 冷却套筒 410 不旋转, 这种冷却装置设置的方法较为稳定可靠, 就是冷却套筒要与机架固定连接, 不能随过渡主轴 100 一起转动, 可以称之为“有线式”。

S3111: 冷却模块为在冷却套筒 410 内开设冷却腔 420, 固态加工过程中, 通过控制进入冷却腔 420 内的流体温度或者流量从而达到控制冷却效率的目的; 例如当需要冷却速率快一些时, 可使流体温度更低, 流体流速更快; 当需要冷却速率慢一些则采取相反的措施即可。

S312: 冷却装置的另一种为“无线式”冷却, 即冷却装置 400 为固定连接在过渡主轴 100 外侧的自冷却组件 430, 在固态加工过程中, 自冷却组件 430 跟随过渡主轴 100 同步旋转; 该种方式使得整体结构体积小, 重量轻, 使用起来较为便利。

当然也会有其它的冷却方式可以使用, 现只是举出几种可实施的方式便于理解。

S3121: 自冷却组件 430 为半导体制冷片和 / 或风扇, 在固态加工过程中, 通过半导体制冷片和 / 或风扇对过渡主轴 100 进行散热; 半导体制冷片具有小巧, 轻便的效果, 适用于跟随过渡主轴 100 进行旋转工作; 而风扇则是具有本身成本低, 安装简单等特点。同时不管是半导体还是风扇在安装的时候, 都会将半导体制冷片和 / 或风扇均布在所述过渡主轴 100 外侧, 以维持所述过渡主轴 100 的各处重量平衡, 防止过渡主轴 100 在高速旋转中失衡; 同时为进一步提高冷却效果, 如图 2 所示, 可通过冷风枪 440 辅助以进行更高效

率的制冷。

S510: 当第二温度监测组件 510 监测到形变探测区 120 处的温度低于预设温度范围的最小值时, 可通过控制加热模块 700 对该位置进行加热; 预设温度范围可以根据实际需要进行相应数值的选取, 例如 10°C-20°C、20°C-30°C、30°C-40°C 等等; 当然预设温度的范围值也是可以选择的, 前面只是写了 10°C 的范围区间, 也可以是任意值, 例如 5°C、6°C 的范围区间: 10°C-15°C、20°C-25°C, 10°C-16°C, 20°C-26°C 等等, 具体地预设温度范围区间可根据情况的改变进行相应的改变; 优选地, 预设温度范围在室温范围内波动。

S520: 当第二温度监测组件 510 监测到形变探测区 120 的温度高于预设温度范围的最大值时, 可通过提高冷却装置 400 的冷却效率以减少从所述固态加工工具传导至所述过渡主轴 100 的热量; 预设温度范围可以根据实际需要进行相应数值的选取, 例如 10°C-20°C、20°C-30°C、30°C-40°C 等等; 当然预设温度的范围值也是可以选择的, 前面只是写了 10°C 的范围区间, 也可以是任意值, 例如 5°C、6°C 的范围区间: 10°C-15°C、20°C-25°C, 10°C-16°C, 20°C-26°C 等等, 具体地预设温度范围区间可根据情况的改变进行相应的改变; 优选地, 预设温度范围在室温范围内波动。

通过 S510 以及 S520 两个步骤的结合, 由于过渡主轴 100 的两端, 一端是加热模块 700, 而靠近固态加工工具的一端是冷却装置 400, 中间是形变探测区 120, 也是应变片粘接的位置; 如此可使得测力区域以上和以下一个加温一个降温从而动态控制, 因为测力区域同步有温度被读取, 这样, 不论冬天夏天、刀柄是否工作发热, 根据测力区域的温度值和上下加热散热就形成恒温控制, 保障测试精度; 也可以为根据第二温度监测组件 510 监测形变探测

区 120 温度，这个温度应该保持在固定温度附近（比如室温或校准时候的环境温度），如果发现过渡区域实测温度低于此温度，加热部分工作，如果发现过渡区域实测温度高于此温度，冷却部分工作，保持过渡区域温度不发生很大偏移从而确保应变片的测量精度。

可选地，还有其他的控温方式，例如不需要使用加热模块，只改变进入冷却腔中的流体温度，例如进入冷却腔中的流体温度较高，此时的冷却腔就起到了加热作用，取代了加热模块，也可实现控温目的，这里只是对可能的实现方式进行描述，不应被视为对本案的限定。

关于形变探测区 120 处的温度对应变片测量的影响，也可以通过其他方式来进行取消，例如形变探测区 120 可自由升温或降温，但是在这之前先在不同温度下进行标定，温度可根据实际情况进行选择，温度较低时可以如 -30°C 、 -20°C 、 -10°C 标定等，也可以为 0°C ， 15°C ， 20°C ， 30°C ， 40°C ， 50°C 等，同时该温度应理解为温度范围，例如 -50°C — 100°C 等，得到各个温度下应变测量数据的偏移值规律，将这个温度对应的误差修正曲线输入在接收端里面，这样测试时候，也可不使用加热或冷却模块，初始温度很低（冬天）及之后搅拌头热量传上来温度过高时候，就可根据温度和接收到的信号，参考校准曲线得出正确的应变片数值（压力及扭矩）。

为实现智能化控制，本发明也可以配合使用 UI 界面，读取输入的模拟信号，读取 PLC 中关于机床坐标、XYZ 运行速度数值，实现 PLC 路径控制，运动控制，如自动对刀、规划起点终点，设置主轴转速及 Z 下压速度、XY 移动速度；实现针对固态加工过程中温度、扭矩、压力的数据记录，监控和闭环调整；在固态加工的过程中记录固态加工参数（如转速，工具移速，扎入

量)、特征曲线(温度、扭矩、压力)和视频,在录入对应材料种类后,汇总至工艺数据库中;结合 AI 人工智能,当固态加工过程中曲线出现异常后,软件控制 PLC,从而对固态加工参数进行调整,实现闭环控制。针对固态加工过程进行分布控制,即在初始阶段,进行温度、力和扭矩的识别匹配,从而知道材料类别,之后从工艺库匹配工艺参数进行固态加工。

另一方面,本申请还提出了一种固态加工装置,固态加工装置为实施上述方法的固态加工装置。

包括应智慧轴柄以及与智慧轴柄可拆卸连接的加工部 200,加工部 200 为固态加工工具;其中智慧轴柄,包括过渡主轴 100,过渡主轴 100 的第一端连接驱动主轴,过渡主轴 100 的第二端用于连接加工部 200;过渡主轴 100 的外侧安装控制装置 300 以及冷却装置 400,冷却装置 400 位于控制装置 300 与加工部 200 之间;通过过渡主轴 100 对控制装置 300、冷却装置 400 以及监测装置的部分起到承载供安装的作用;且冷却装置 400 设置在加工部 200 与控制装置 300 之间,能够有效降低从加工部 200 向控制装置 300 处传导的热量,从而对控制装置 300 进行保护;智慧轴柄还包括监测装置,监测装置与控制装置 300 相连,监测装置用于监测智慧轴柄的实时参数,并将参数传输给控制装置 300,以便通过得到的数据对固态加工参数进行调整,实现加工位置处指标的优化和固态加工工具寿命的延长;其中参数可以包括但不限于温度、压力、扭矩、主轴转速,固态加工速度,下压深度等等数据。

如图 9 所示,监测装置包括第一温度监测组件 500 以及应变测量组件 900,第一温度监测组件 500 用于监测加工部 200 的温度;应变测量组件 900 用于测量主轴的下压力和/或扭矩。

如图 6-7 以及图 11 所示，冷却装置 400 包括转动连接在过渡主轴 100 外侧的冷却套筒 410，进一步地，转动连接可以为轴承连接；冷却套筒 410 通过连接架 1000 与机架固定连接，冷却套筒 410 内设置冷却模块。通过冷却套筒 410 可对其内的冷却模块起到支撑承载以及保护的作用；可选地，冷却模块包括设置在冷却套筒 410 内部的冷却腔 420，冷却腔 420 开设有进口端以及出口端，冷却流体从进口端进入冷却腔 420 并从出口端流出从而带走过渡主轴 100 的热量，冷却流体包括液冷和气冷；液冷可以选用常规的水冷；气冷可用压缩空气、稀有气体、二氧化碳等气体进行强制对流。以上的冷却套筒 410 通过连接架 1000 与机架固定连接，连接架 1000 带动冷却装置 400 跟随机架进行多轴移动，过渡主轴 100 可带动控制装置 300 与监测装置一起转动，为了便于理解，作出更详细的解释如下：该种实施例中冷却装置 400 是不随过渡主轴 100 进行旋转的。

具体的，可采用例如以下的方式来实现过渡主轴 100 相对于冷却装置 400 进行转动，首先，冷却套筒 410 的内壁与过渡主轴 100 的外壁之间具有间隙以形成腔体，一支骨架油封置于腔体顶部，外侧与腔体配合，内侧与主轴延长套筒配合，封闭腔体顶部，在涂抹合成脂后可实现主轴套筒的转动密封。骨架油封下部有支撑环，其外径与腔体内径配合，支撑环下放置另一骨架油封，封闭腔体下部。最后，设置有紧定套筒（环）位于冷却套筒 410 的底部，紧定套筒（环）上边突出位置与骨架油封配合，并经四个螺丝与冷却套筒 410 连接，对骨架油封及定位环提供轴向的紧定，防止骨架油封和支撑环同过渡主轴 100 一起旋转。冷却套筒 410 的中部位置有两个螺纹孔，连接冷却腔 420，用于连接水管进行冷却水的供给和排出。支撑环中空位置应对应冷却水入/出

口位置。以上这种方案只是若干种能实现冷却流体冷却过渡主轴 100 的方案之一，旨在便于理解技术方案，不应理解为起限定作用。

冷却装置 400 还有一种无线式用法，即冷却装置 400 包括固定设置在过渡主轴 100 外侧的自冷却组件 430 以及固定组件，自冷却组件 430 随过渡主轴 100 一起转动，自冷却组件 430 可以为半导体制冷片和/或风扇，半导体制冷片和/或风扇与控制装置 300 相连；优选地，半导体制冷片或风扇均可设置为多组，且均布在过渡主轴 100 的外侧，便于重量均匀分布。

如图 2 和/或图 12 所示，过渡主轴 100 外侧还设置有用于加热过渡主轴 100 的加热模块 700，加热模块 700 与控制装置 300 相连，控制装置 300 可以包括控制面板，便于对需要加热的温度进行调控。可选地，如图 2 所示，加热模块 700 可以为热风枪，热风枪可以安装在连接架 1000 上，不随刀柄主体进行转动，当智慧刀柄在寒冷天气工作时，用于喷射热气流加热刀柄，调节测量区温度。

可选地，加热模块 700 也可以为电阻发热片等体积、重量较小的加热件，不管是冷却装置 400 固定不动还是冷却装置 400 随过渡主轴 100 一起转动都可以使用。

如图 17，控制装置 300 包括集成电路板组件 320 以及供电组件 330，集成电路板组件 320 与供电组件 330 相连，集成电路板组件 320 包括无线收发模块 321（无线收发模块包括无线信号采集模块以及无线信号发射模块）以及温度控制面板 322，无线收发模块 321 与监测装置、冷却装置 400、加热模块 700 均相连，温度控制面板 322 与监测装置、冷却装置 400、加热模块 700 均相连。

其中，第一温度监测组件 500 相关连接关系及配合使用过程详细描写如下，加工部 200 的内部开设腔道 210，腔道 210 的第一端在加工部 200 的内部延伸至靠近加工部 200 的加工端，且腔道 210 的第一端内设置有第一温度监测组件 500 以实时监测加工部 200 的靠近加工端的温度；通过该设计能够避免热量在传导过程中大量损耗，从而采集更精准的温度信息，便于用户对温度进行实时监控；优选的，第一温度监测组件 500 可以为热电偶，热电偶测量范围广，测量精度高，可变形，适于用在本申请中；当然其他能够进入腔道 210 的可行的温度传感器例如热电阻也是可以根据实际需要进行选择的。

如图 10，腔道 210 包括开设在加工部 200 内部的倾斜段 211 以及与倾斜段 211 连通的竖直段 212，倾斜段 211 与竖直段 212 的其中之一用于插入第一温度监测组件 500，倾斜段 211 与竖直段 212 两者中的另一用于安装定位件 600 以定位第一温度监测组件 500，防止第一温度监测组件 500 在跟随轴柄以及加工部 200 高速转动的过程中发生移位和/或碰撞。

如图 9-10、图 12-15 所示，定位件 600 为定位棒，定位棒的第一端用于定位第一温度监测组件 500，定位棒的第二端通过连接组件 800 固定；可以理解的是，本申请中的定位件 600 并不局限于定位棒这一种实施例，只要能够类似于定位棒一般对第一温度监测组件 500 起到定位或固定作用的都可，例如卡扣夹持固定的方式等等；同时通过连接组件 800 对定位棒固定的方式也有多种，并不作特殊限定，以下举出几种便于理解技术方案：

在一种可选的实施方式中，如图 9-10、图 12-13 所示，连接组件 800 包括开设在定位棒一端以及加工部 200 上的螺纹构造，定位棒上的螺纹构造与加工部 200 上的螺纹构造能够螺纹配合连接，采取螺纹连接的方式成本低，

且拆装较为方便；

在另一种可选的实施方式中，如图 14-15 所示，所述连接组件 800 为磁吸固定组件，所述磁吸固定组件吸附设置于所述加工部 200 朝向所述过渡主轴 100 的一侧，所述定位件 600 穿过所述磁吸固定组件以通过所述磁吸固定组件对所述定位件 600 进行固定；竖直段 212 进口端开设凹槽 212a，凹槽 212a 内壁吸附有磁吸件 810，磁吸件 810 的一侧吸附有固定卡扣 820，固定卡扣 820 与磁吸件 810 沿过渡主轴 100 的轴向均开设通孔，定位棒（定位件 600）穿过通孔后插入竖直段 212 中；定位棒与磁吸固定组件之间具备多种连接方式，例如定位棒为带磁性的金属，从而使得定位棒与磁吸件 810 之间吸附连接；也可从固定卡扣 820 的径向开设第一螺纹孔 830，通过螺钉件穿过第一螺纹孔 830 从而将定位棒与磁吸固定组件固定连接。

请参阅图 12，热电偶的第一端连接控制装置 300（至于热电偶与控制装置 300 的连接方式，可以为热电偶直接接入控制装置 300 中；也可以为热电偶通过无线方式与控制装置 300 电连接）；具体地，热电偶的第一端同样连接的是控制装置 300 所包括的集成电路板组件 320，通过集成电路板组件 320 同时传输加工部 200 的温度以及主轴的压力、扭矩等信息；热电偶的第二端抵接腔道 210 的第一端端部位置，通过热电偶的测量端尽量靠近加工部 200 的加工端，从而便于精准的测出加工端的实时温度；可选地，热电偶包括了以下两种设置方式，其一，如图所示，热电偶的第一端连接控制装置 300（同上），热电偶的第二端穿过过渡主轴 100 的内部后进入竖直段 212 并靠近加工部 200 的加工端；在过渡主轴的内部开设通道与腔道 210 连通，然后使热电偶先后穿过过渡主轴 100 内部的通道以及加工部 200 内部的腔道 210，该种

热电偶的布置方式较为稳定可靠，不易使热电偶发生移位，也能够尽量减少外界因素对热电偶的干扰。其二，如图所示，热电偶的第一端还是连接控制装置 300，热电偶的第二端则是沿过渡主轴 100 的外壁设置并从倾斜段 211 进入以靠近加工部 200 的加工端；热电偶和过渡主轴 100、热电偶和加工部 200 之间均可以通过绑带和/或卡扣的连接方式固定；该种把热电偶设计在过渡主轴 100 外侧的方法，不需要在过渡主轴 100 内进行开孔，使用成本较小。

应变测量组件 900 的连接关系以及配合使用过程详细描述如下：应变测量组件 900 用于测量驱动主轴的下压力和/或扭矩；通过探测延长的过渡主轴 100 的形变从而实时探测固态加工过程中的压力、扭矩，以便通过得到的数据对固态加工参数进行调整，实现加工位置处指标的优化和固态加工工具寿命的延长。

优选地，如图 5 所示，应变测量组件 900 包括连接在过渡主轴 100 外侧的一组或多组应变片，可选地，应变片采取粘接的方式固定在过渡主轴 100 的外侧；当应变片只有一组时，应变片用来测量驱动主轴下压力或者测量驱动主轴的扭矩；当应变片为多组时，其中至少有一组是用来测量驱动主轴下压力，至少有一组用来测量驱动主轴的扭矩；应变片选用半桥应变片或者全桥应变片；同时为了保证过渡主轴 100 上的重量均匀分布，应变片在过渡主轴 100 的外侧均匀分布；可选地，应变测量组件 900 也可以采用在过渡主轴 100 外侧设置压力传感器和/或扭矩传感器的方式。

如图 9 所示，过渡主轴 100 延其轴向可分为多段，包括形变探测区 120 以及位于形变探测区 120 两侧的支撑区 110，其中支撑区 110 用于安装保护套筒 310，形变探测区 120 则用于安装应变测量组件 900；保护套筒 310 与过渡

主轴 100 之间形成空腔，形变探测区 120 外侧安装的应变测量组件 900（应变片）位于空腔内；保护套筒 310 内开设安装槽，安装槽内安装集成电路板组件 320，同时，空腔或者安装槽内还安装有供电组件 330，供电组件 330 以及应变测量组件 900 均与所述集成电路板组件 320 相连，通过供电组件 330 为集成电路板组件 320 供电，集成电路板组件 320 则至少包括了无线信号采集模块、无线信号发射模块，以对应变测量组件 900 的测量信号进行收发；以上保护套筒 310 结构设计起到的作用，其一，保护套筒 310 可对应变测量组件 900 起到保护作用；其二，保护套筒 310 的空腔结构设计可以减重；其三，空腔内还可容纳集成电路板组件 320 以及供电组件 330 等。优选地，保护套筒 310 采用尼龙等不会阻挡无线信号传输的高分子材料制成，进一步地，保护套筒 310 为增材制造；可选地，保护套筒 310 通过多个螺丝固定在过渡主轴外侧；同样，为了保证过渡主轴 100 上的重量均匀分布，多个螺丝最好也是在过渡主轴 100 的周向上均匀设置。

可选地，为了实现固态加工不同材料时控制对固态加工主轴压力和扭矩量程的变化，如需要量程更小精度更高的力学测量，即过渡主轴 100 在进行固态加工接时的形变量需要更大，因此形变探测位置（用于黏贴应变片位置）直径可以相应缩小，其结构、材料等均可作出相应调整；具体而言，可以使形变探测区 120 对应部分的过渡主轴 100 的直径小于支撑区 110 对应部分的过渡主轴 100 的直径；优选地，形变探测区 120 与支撑区 110 之间平滑过渡，便于驱动主轴的下压力和扭矩都能够无阻碍的传输到形变探测区 120 上的应变测量组件 900。

优选地，在形变探测区 120 处设置第二温度监测组件 510，第二温度监测

组件 510 位于空腔内，第二温度监测组件 510 可以为热电偶或热电阻等温度测量元件，以热电偶举例，热电偶的一端连接集成电路板组件 320，热电偶的另一端用于实时测量形变探测区 120 的温度。

可选地，支撑区 110 的支撑位置上可设有橡胶圈这种类似增加摩擦力的配件，以防止保护套筒 310 出现沿过渡主轴 100 轴向打滑的现象。

如图 20 所示，过渡主轴 100 不但可以包括以上的支撑区 110 以及形变探测区 120，还可以包括冷却段；优选地，冷却段位于保护套筒 310 朝向加工部 200 的一侧，以防止过高的热量从加工部 200 向集成电路板组件 320 以及供电组件 330 处传导；冷却段的外侧设置冷却装置 400 对传导至冷却段处的热量进行快速冷却，以有效保护集成电路板组件 320 以及供电组件 330 不受损；优选地，冷却段的外侧开设散热槽 150。

在实际使用中发现加工部 200 的热量还是会传导至过渡主轴上的形变探测区 120 处，引起测量的数据不准确；因此，优选地，在过渡主轴 100 的形变探测区 120 与加工部 200 之间设置环形隔热组件；环形隔热组件的位置可根据轴柄结构进行选择安装；环形隔热组件的设置还需满足既可以传导驱动主轴下压力，又可以隔绝或减少加工部 200 传导至形变探测区 120 的热量；进一步地，环形隔热组件的材质为云母、耐高温碳纤维合成石板等耐高温抗压材料；至于隔热组件的形状、尺寸、数量可以根据实际需求进行选用

优选地，过渡主轴 100 的第一端连接驱动主轴，过渡主轴 100 的第二端开设有与固态加工工具同轴的安装孔 130，固态加工工具插入安装孔 130 中并与过渡主轴 100 固定连接；可选地，如图 9 所示，在安装孔 130 的侧壁开设有一个或多个螺纹通孔 140，以便于通过螺纹件穿过螺纹通孔 140 从而对安装

孔 130 内的固态加工工具进行固定；该种将固态加工工具的一段插入安装孔 130 内的设计，使得固态加工工具头与安装孔 130 的内壁接触面大，更加有利于对固态加工工具的固定。当然过渡主轴 100 也可以通过其他方式与固态加工工具连接，例如在过渡主轴 100 和固态加工工具上都设计有螺纹构造等手段；可以理解的是，以上两种手段只是为了便于理解本申请内容所作出的阐述，并不对其构成限定。

本实施例的附图中相同或相似的标号对应相同或相似的部件；在本申请的描述中，需要理解的是，若有术语“上”、“下”、“左”、“右”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此附图中描述位置关系的用语仅用于示例性说明，不能理解为对本专利的限制，对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解，本发明不受上述实施例的限制，上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理，在不脱离本发明精神和范围的前提下，本发明还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

权利要求书

- 1、一种固态加工方法，其特征在于，所述固态加工方法步骤包括：
将固态加工工具连接至过渡主轴（100）以通过机头驱动；
启动固态加工设备并通过所述固态加工工具沿预定加工路线进行移动加工；
固态加工过程中，通过应变片测量所述过渡主轴（100）上形变探测区（120）的形变以监测所述过渡主轴（100）的压力和 / 或扭矩；
通过第一温度监测组件（500）监测所述固态加工工具的温度；
通过第二温度监测组件（510）监测所述形变探测区（120）上的温度。
- 2、如权利要求 1 所述的固态加工方法，其特征在于，所述固态加工方法为搅拌摩擦焊焊接方法或固态增材制造方法。
- 3、如权利要求 1 所述的固态加工方法，其特征在于，固态加工过程中，通过应变片测量所述过渡主轴（100）上形变探测区（120）的形变以监测所述过渡主轴（100）的压力和 / 或扭矩；通过第一温度监测组件（500）监测所述固态加工工具的温度；通过第二温度监测组件（510）监测所述形变探测区（120）上的温度的步骤包括：
所述过渡主轴（100）的外侧具有控制装置（300），在固态加工过程中通过控制装置（300）采集与发射应变片、第一温度监测组件（500）以及第二温度监测组件（510）的无线信号。
- 4、如权利要求 3 所述的固态加工方法，其特征在于，所述过渡主轴（100）的外侧具有控制装置（300），在固态加工过程中通过控制装置（300）收发应变片、第一温度监测组件（500）以及第二温度监测组件（510）的无线信号的步骤包括：

在固态加工过程中，控制装置（300）内的集成电路板组件（320）收发应变片、第一温度监测组件（500）以及第二温度监测组件（510）的无线信号，并将对应信号在终端上进行显示，控制装置（300）内的供电组件（330）对集成电路板组件（320）进行供电。

5、如权利要求1所述的固态加工方法，其特征在于，在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在所述过渡主轴（100）上的形变探测区（120），以对压力和 / 或扭矩测量进行标定。

6、如权利要求5所述的固态加工方法，其特征在于，在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在所述过渡主轴（100）上的形变探测区（120），以对压力和 / 或扭矩测量进行标定的步骤包括：

对压力的标定方法，将所述过渡主轴（100）置于指定模具上，其底部固定，并从顶部施加已知大小的力，依次增大所施加的力，通过控制装置（300）接收压力信号并对显示的压力信号进行标定。

7、如权利要求5所述的固态加工方法，其特征在于，在固态加工过程开始前，将应变片黏贴在所述过渡主轴（100）上的形变探测区（120），以对压力和 / 或扭矩测量进行标定的步骤包括：

对扭矩的标定方法，将所述过渡主轴（100）置于指定模具上，其底部固定，从其顶部施加已知大小的扭矩，依次增加，通过控制装置（300）接收扭矩信号并对显示的扭矩信号进行标定。

8、如权利要求1所述的固态加工方法，其特征在于，

在固态加工过程开始前，第一温度监测组件（500）伸入所述固态加工工具内部的腔道（210）靠近所述固态加工工具加工端的一端；从而使得固态加

工过程中，通过所述第一温度监测组件（500）的监测端实时监测所述固态加工工具的加工端温度。

9、如权利要求 8 所述的固态加工方法，其特征在于，在固态加工过程开始前，第一温度监测组件（500）伸入所述固态加工工具内部的腔道（210）靠近所述固态加工工具加工端的一端；从而使得固态加工过程中，通过所述第一温度监测组件（500）的监测端实时监测所述固态加工工具的加工端温度的步骤包括：

通过在腔道（210）的竖直段（212）和倾斜段（211）的其中之一设置热电偶以监测所述固态加工工具的加工端温度，在腔道（210）的竖直段（212）和倾斜段（211）的其中另一设置定位件（600）以定位所述热电偶。

10、如权利要求 2-9 任一项所述的固态加工方法，其特征在于，固态加工过程中，所述过渡主轴（100）的外侧具有冷却装置（400），通过所述冷却装置（400）将固态加工工具向所述过渡主轴（100）传递的热量进行冷却以避免所述过渡主轴（100）温度过高。

11、如权利要求 10 所述的固态加工方法，其特征在于，固态加工过程中，所述过渡主轴（100）的外侧具有冷却装置（400），且所述冷却装置（400）朝向所述固态加工工具的一侧，通过所述冷却装置（400）将固态加工工具向所述过渡主轴（100）传递的热量进行冷却以避免所述过渡主轴（100）温度过高的步骤包括：

所述冷却装置（400）为固定连接在所述过渡主轴（100）外侧的自冷却组件（430），在固态加工过程中，所述自冷却组件（430）跟随所述过渡主轴（100）同步旋转；或为转动连接在所述过渡主轴（100）外侧的冷却套筒

(410)，所述冷却套筒(410)内具有冷却模块以对所述过渡主轴(100)进行冷却，在固态加工过程中，其中所述过渡主轴(100)相对冷却套筒(410)进行转动，冷却套筒(410)不旋转。

12、如权利要求11所述的固态加工方法，其特征在于，所述冷却装置(400)为固定连接在所述过渡主轴(100)外侧的自冷却组件(430)，在固态加工过程中，所述自冷却组件(430)跟随所述过渡主轴(100)同步旋转的步骤包括：

所述自冷却组件(430)为半导体制冷片和/或风扇，在固态加工过程中，通过半导体制冷片和/或风扇对所述过渡主轴(100)进行散热；且半导体制冷片和/或风扇均布在所述过渡主轴(100)外侧，以维持所述过渡主轴(100)的各处重量平衡。

13、如权利要求11所述的固态加工方法，其特征在于，所述冷却装置(400)包括转动连接在所述过渡主轴(100)外侧的冷却套筒(410)，所述冷却套筒(410)内具有冷却模块以对所述过渡主轴(100)进行冷却，在固态加工过程中，其中所述过渡主轴(100)相对冷却套筒(410)进行转动，冷却套筒(410)不旋转的步骤包括：

所述冷却套筒(410)内开设冷却腔(420)，固态加工过程中，通过控制进入冷却腔(420)内的流体温度或者流量从而达到控制冷却效率的目的。

14、如权利要求1-9任一项所述的固态加工方法，其特征在于，当第二温度监测组件(510)监测到形变探测区(120)处的温度低于预设温度范围的最小值时，可通过加热模块(700)对该位置进行加热。

15、如权利要求10所述的固态加工方法，其特征在于，当第二温度监测

组件（510）监测到形变探测区（120）的温度高于预设温度范围的最大值时，可通过提高冷却装置（400）的冷却效率以减少从所述固态加工工具传导至所述过渡主轴（100）的热量。

16、根据权利要求 2-9 任一项所述的固态加工方法，其特征在于，为实现对形变探测区（120）的恒温控制，在固态加工过程开始前，对不同温度进行标定，得到各个温度下应变片测量数据的偏移值规律，以形成与这些温度值对应的误差矫正曲线并输入至控制装置（300），通过参考曲线即可得出正确应变片测量数值。

17、如权利要求 1-9 任一项所述的固态加工方法，其特征在于，在固态加工过程开始前，在所述过渡主轴（100）和固态加工工具之间安装环形隔热组件以减少加工过程中固态加工工具产生的热量向过渡主轴（100）进行传导。

18、固态加工装置，其特征在于，所述固态加工装置为实施权利要求 1-17 中任一项所述方法的固态加工装置。

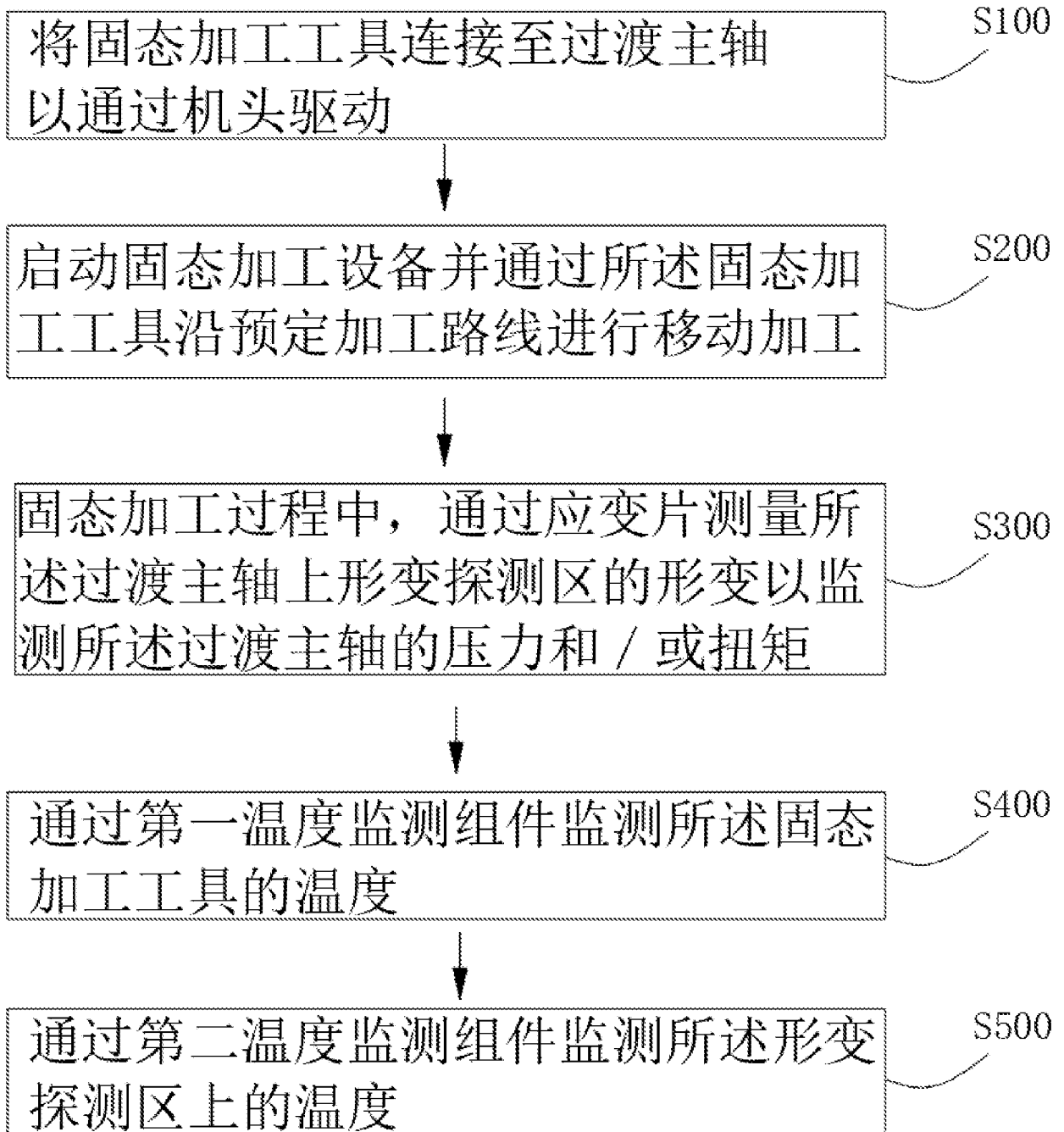


图 1

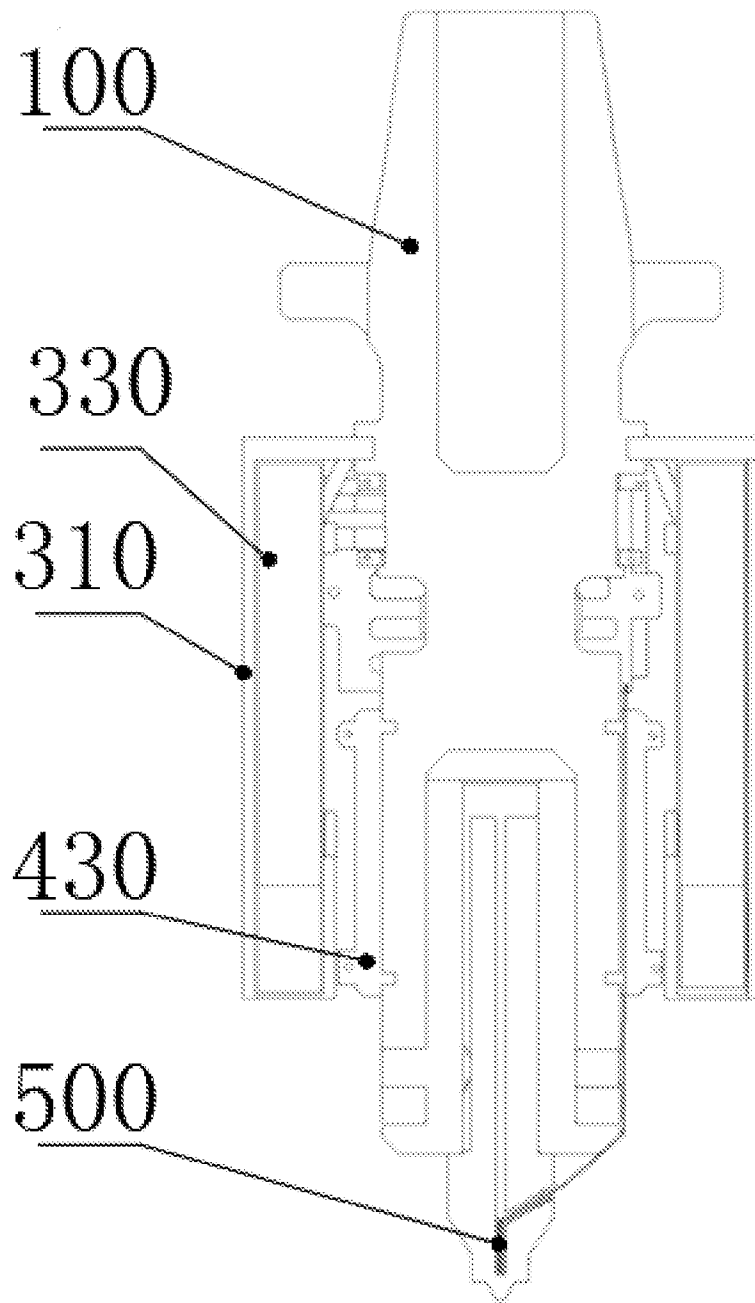


图 4

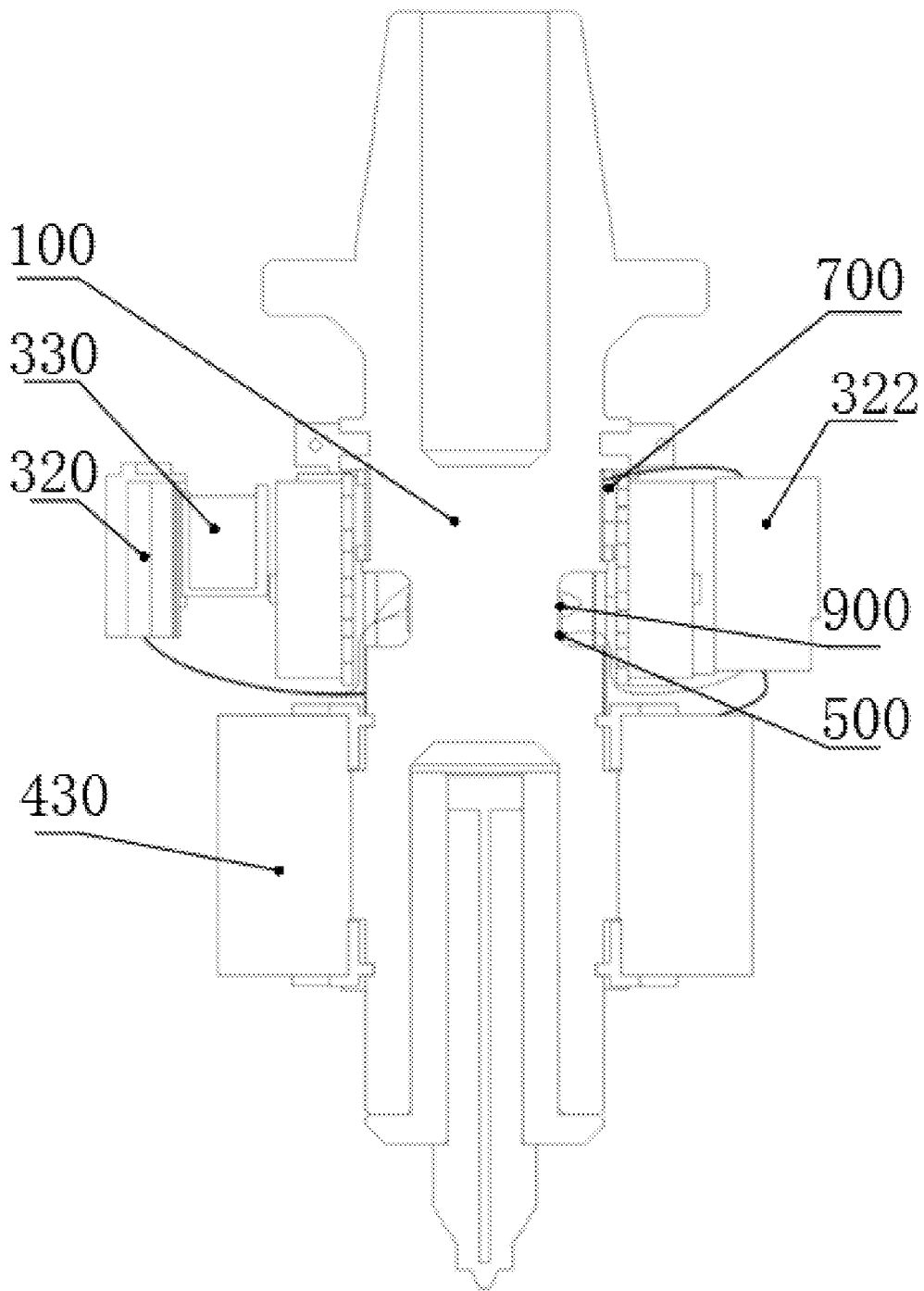


图 5

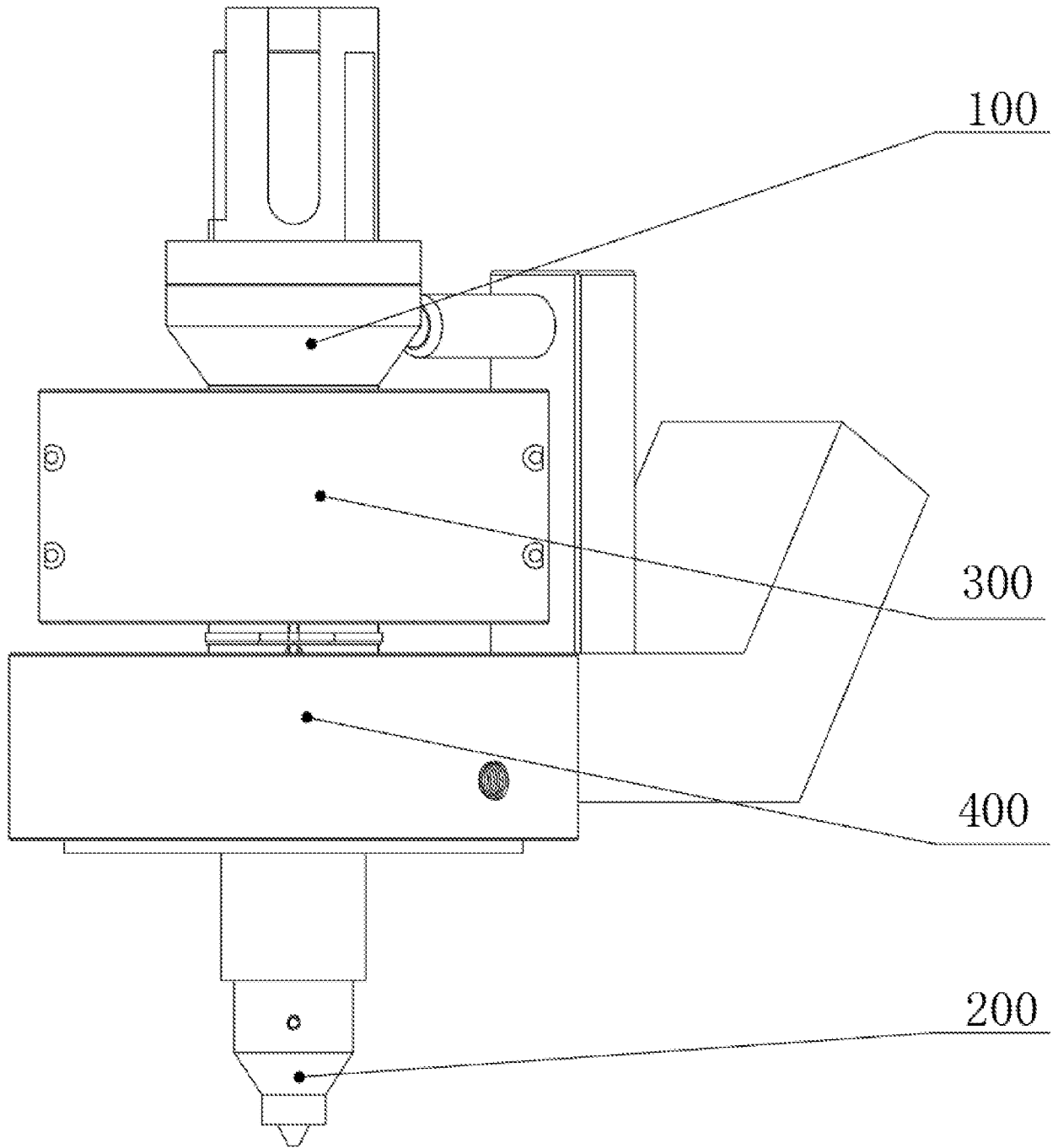


图 6

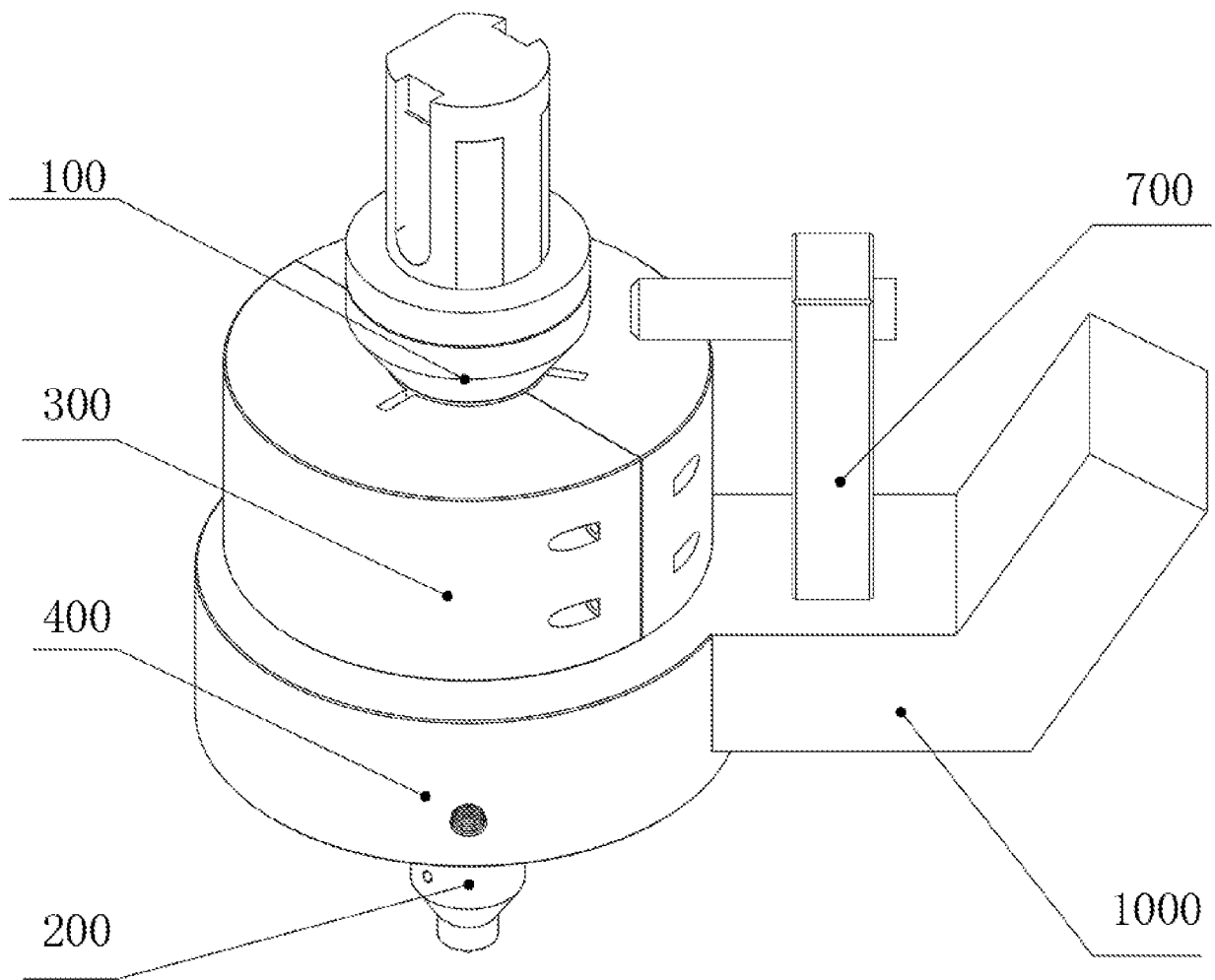


图 7

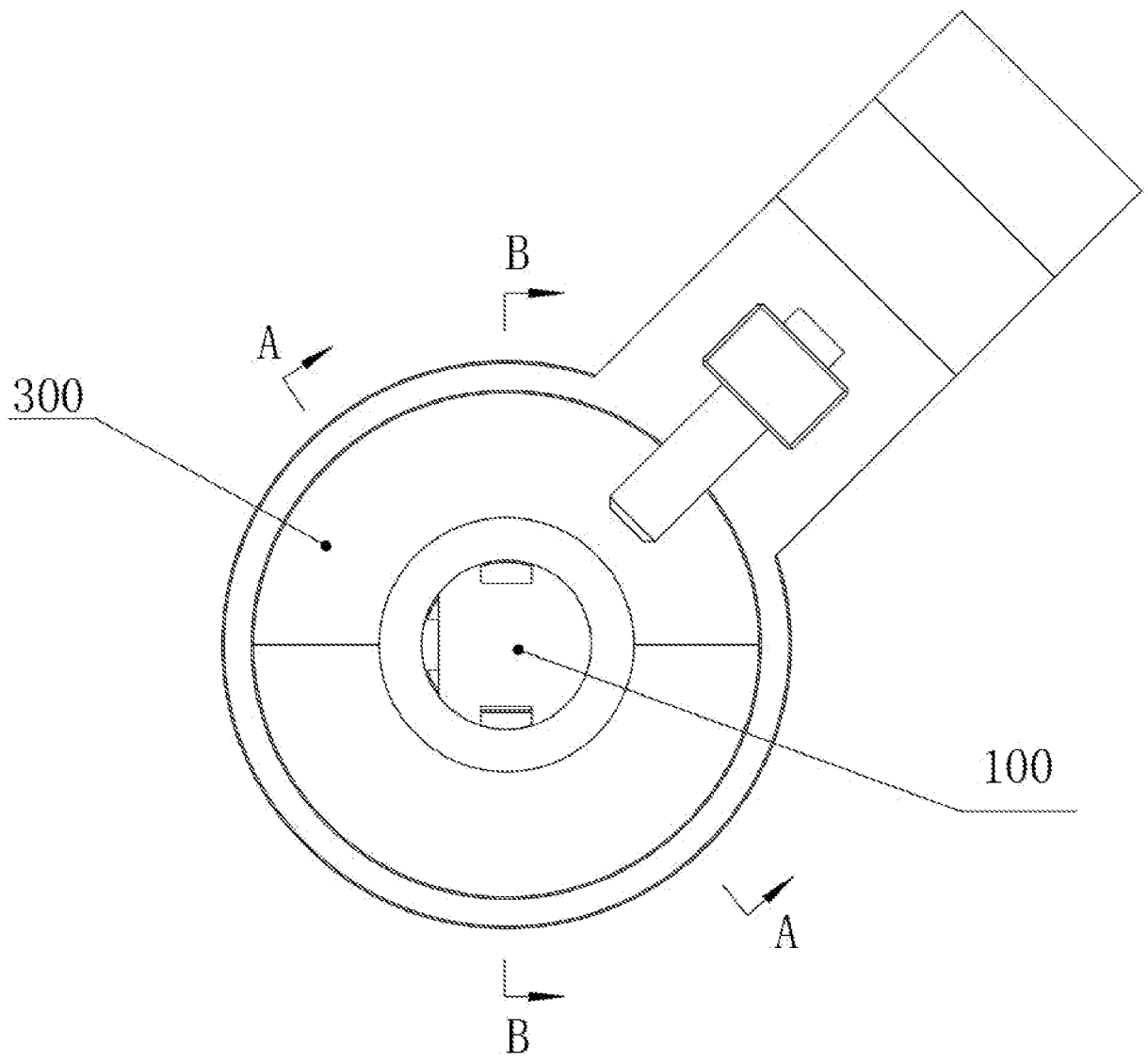


图 8

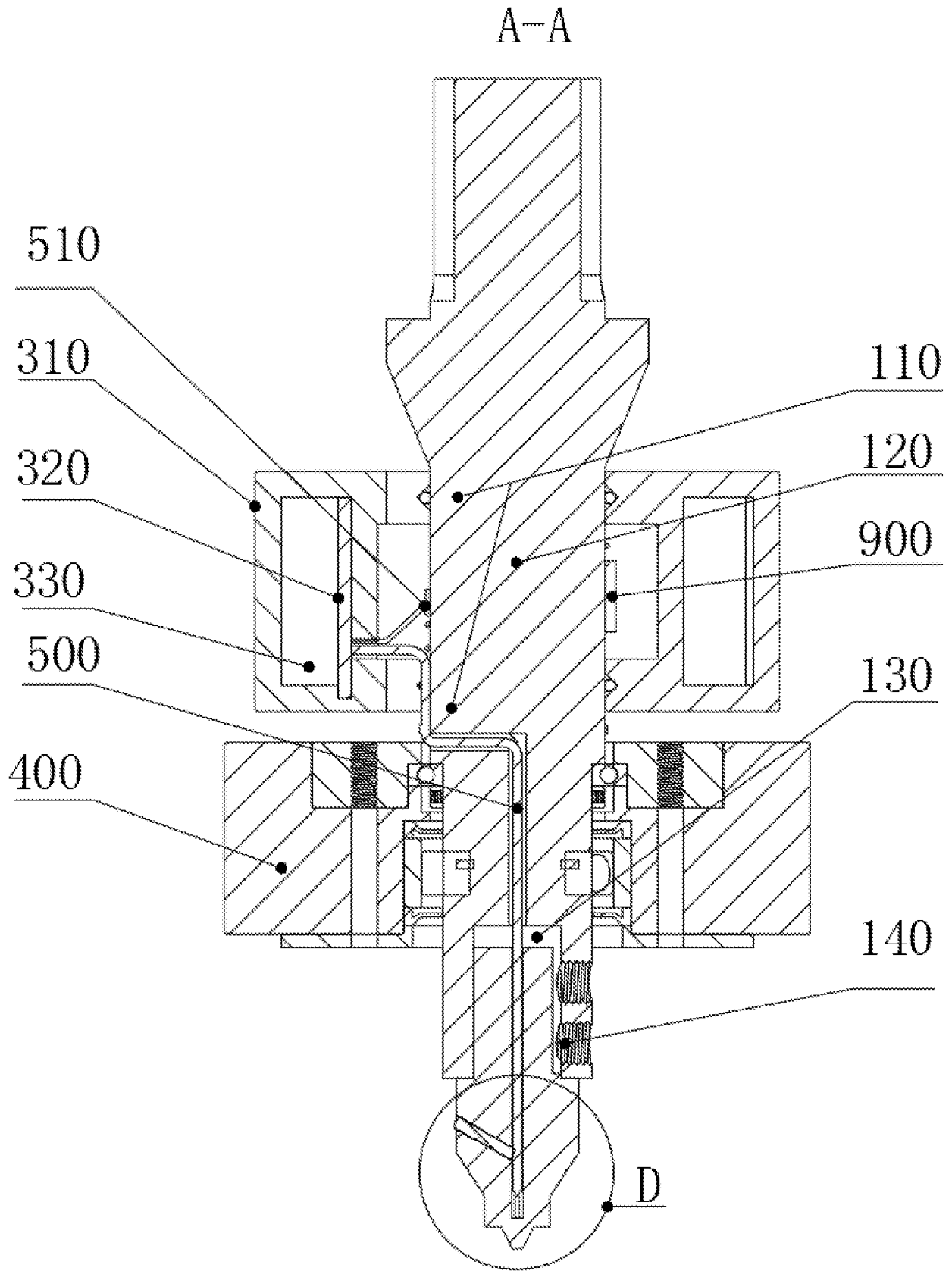


图 9

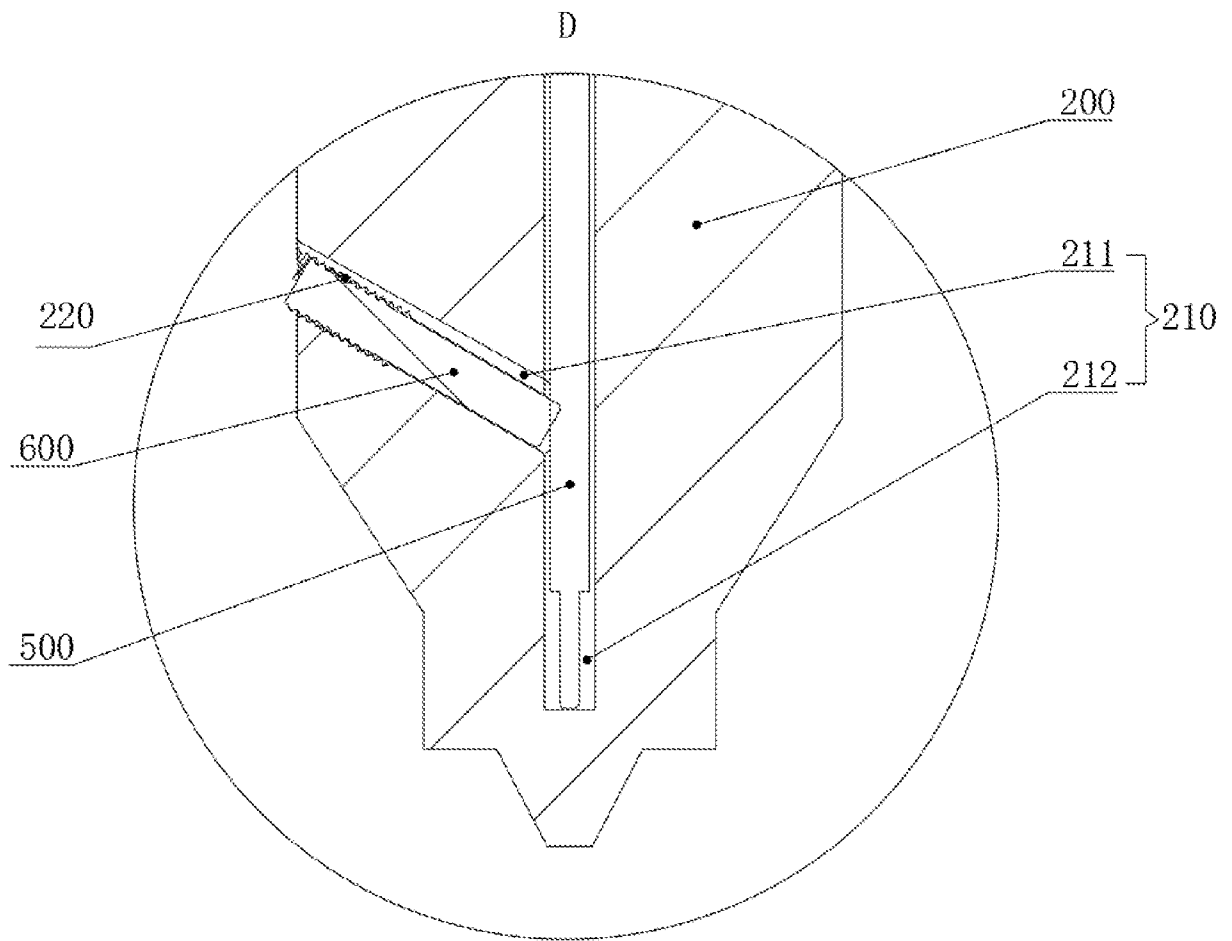


图 10

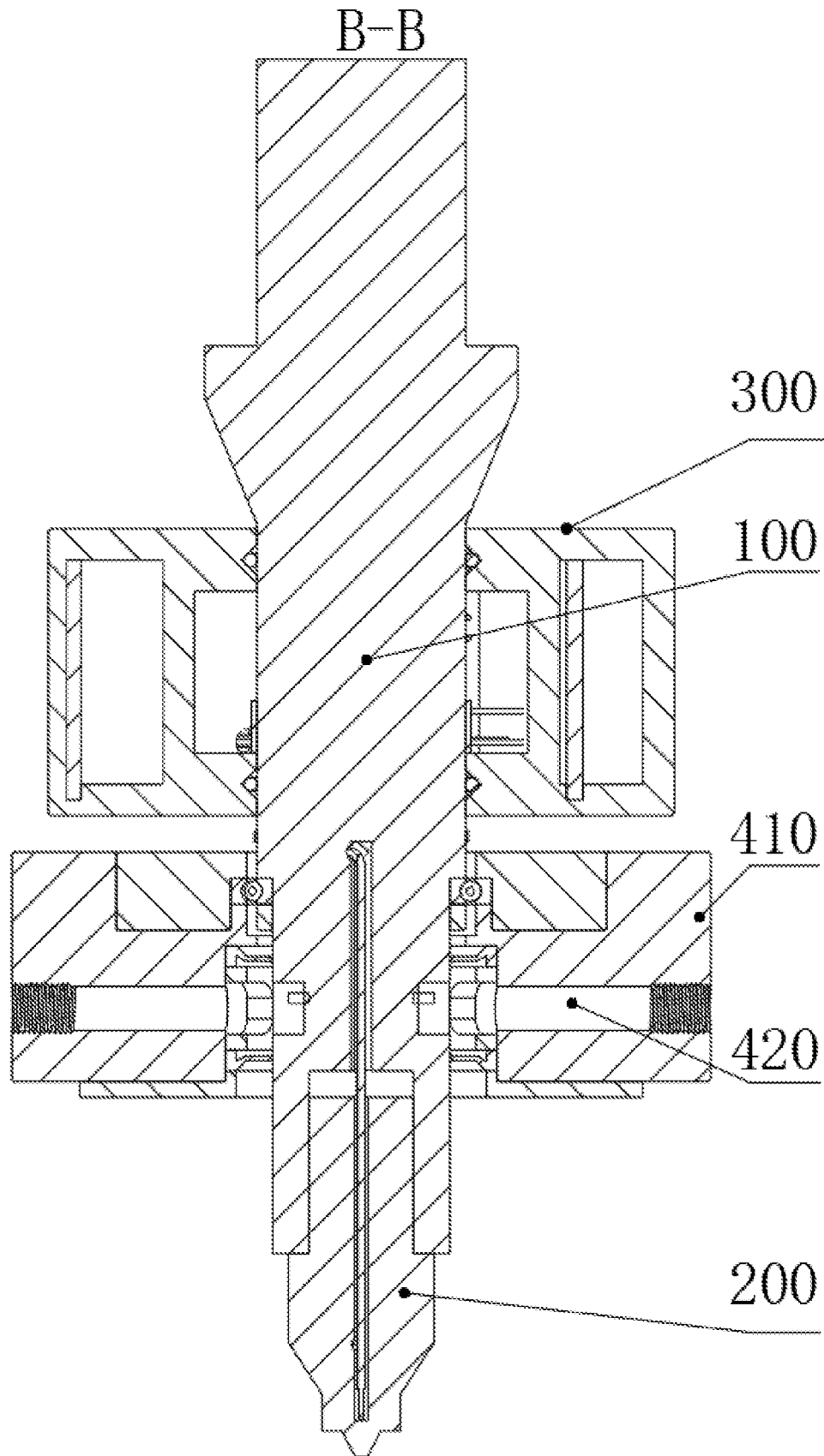


图 11

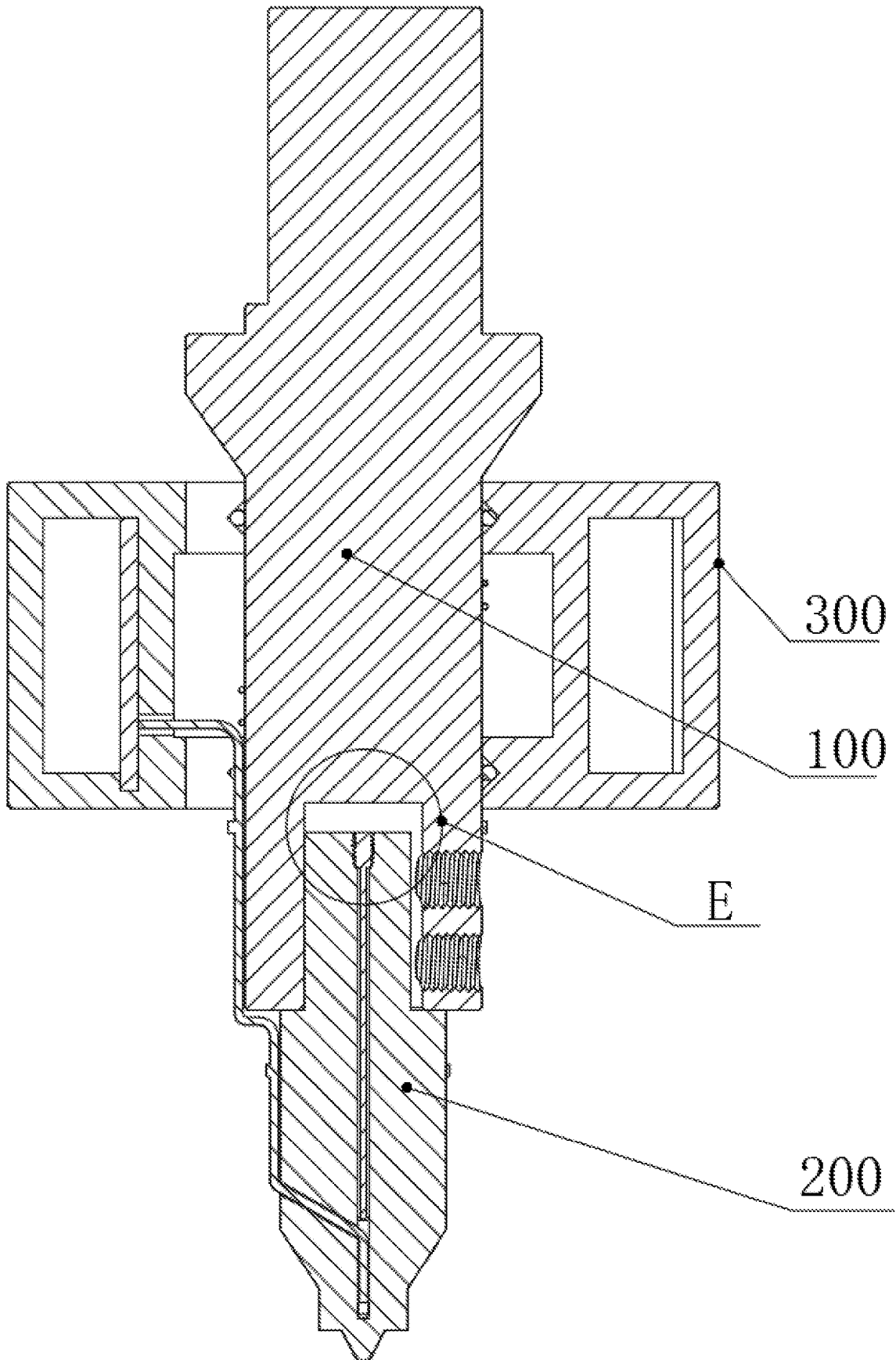


图 12

E

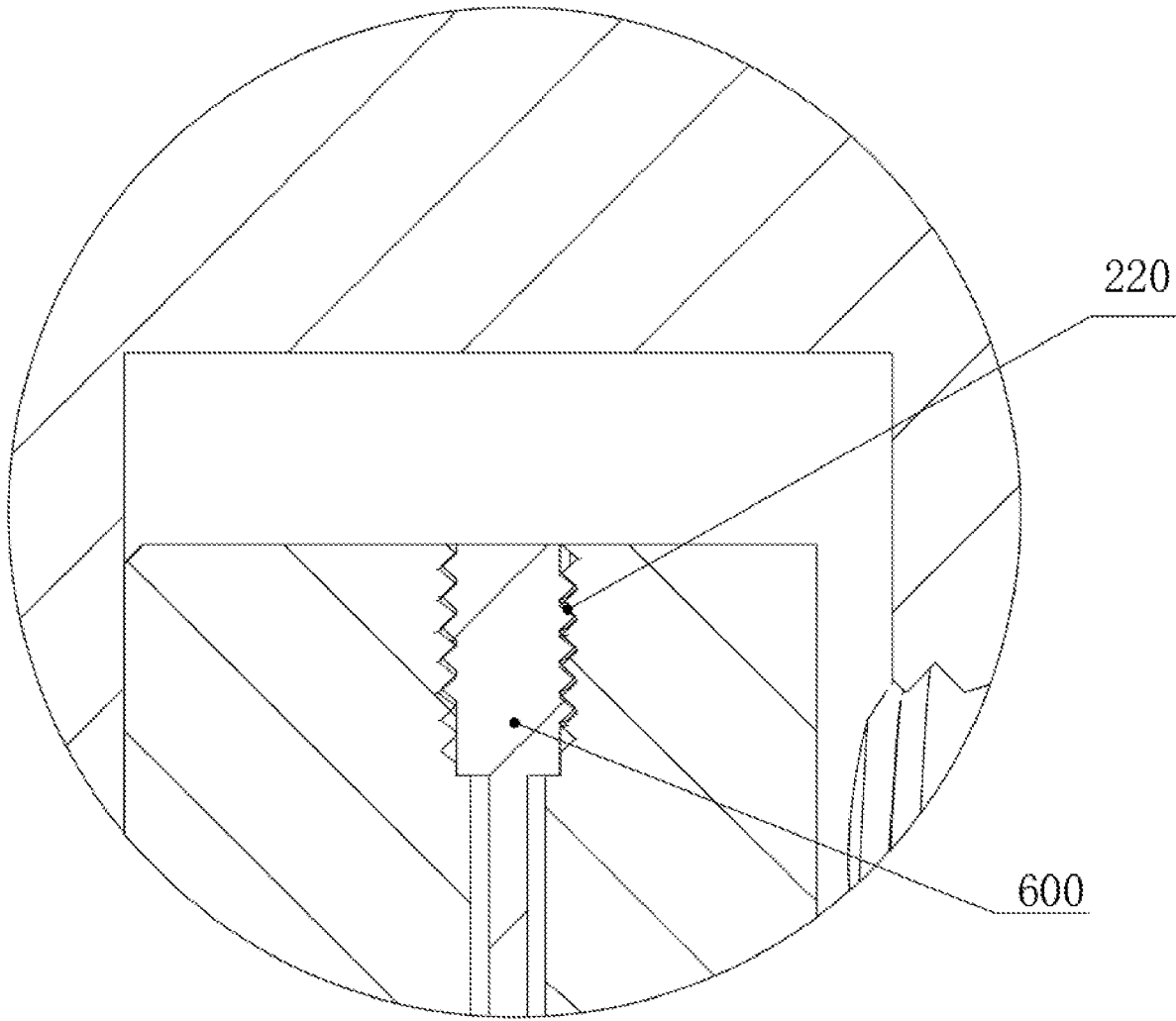


图 13

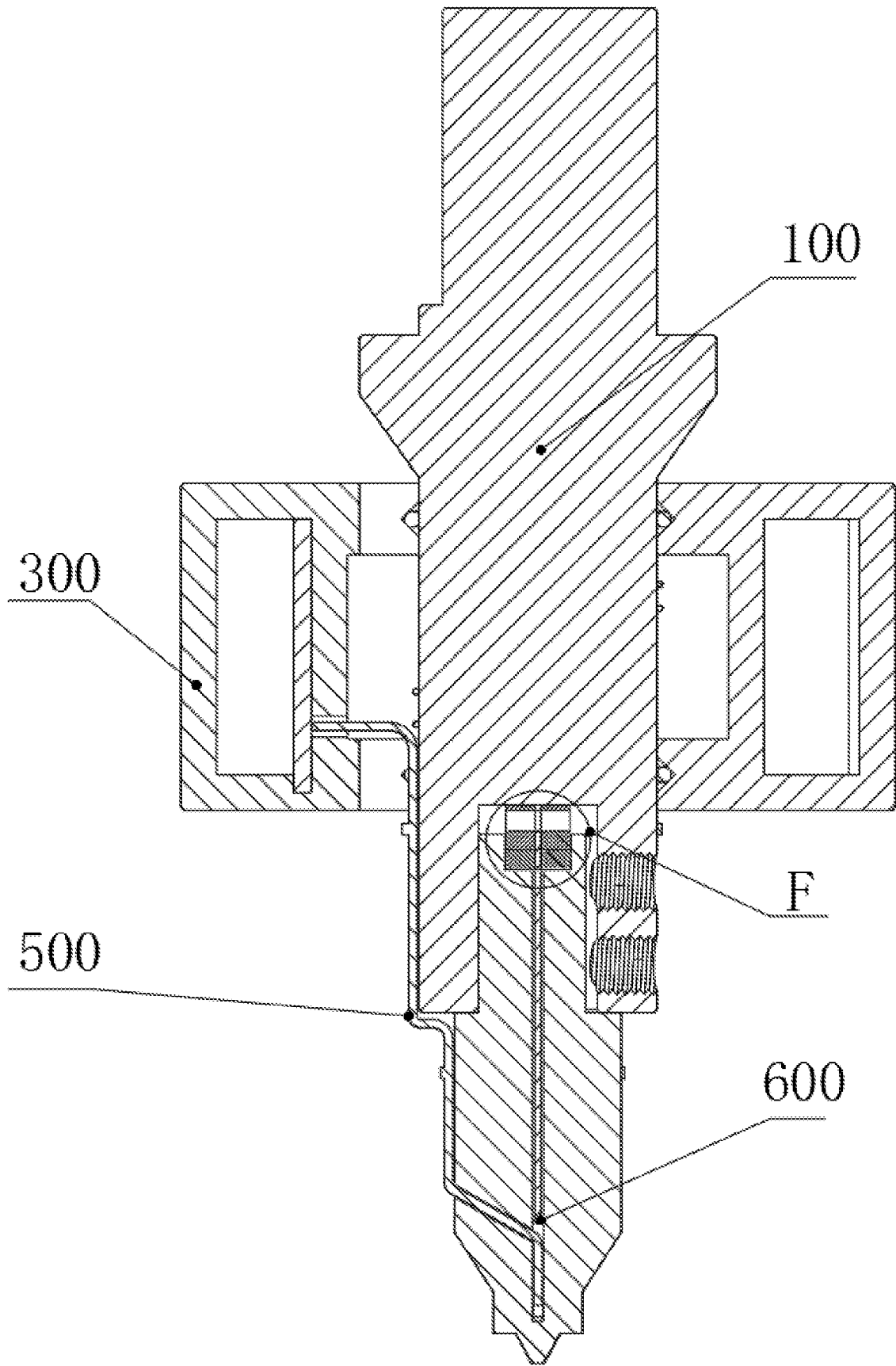


图 14

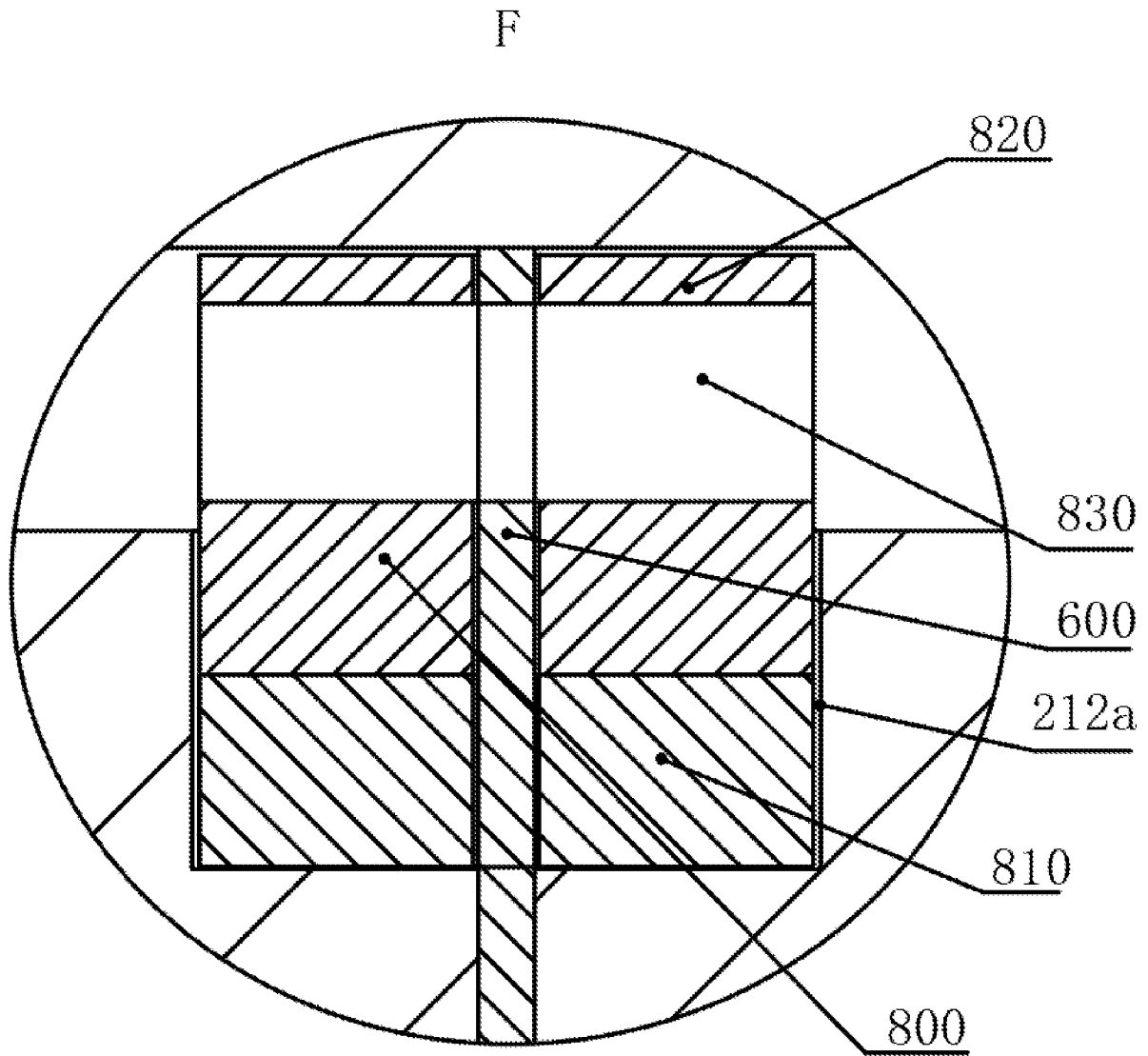


图 15

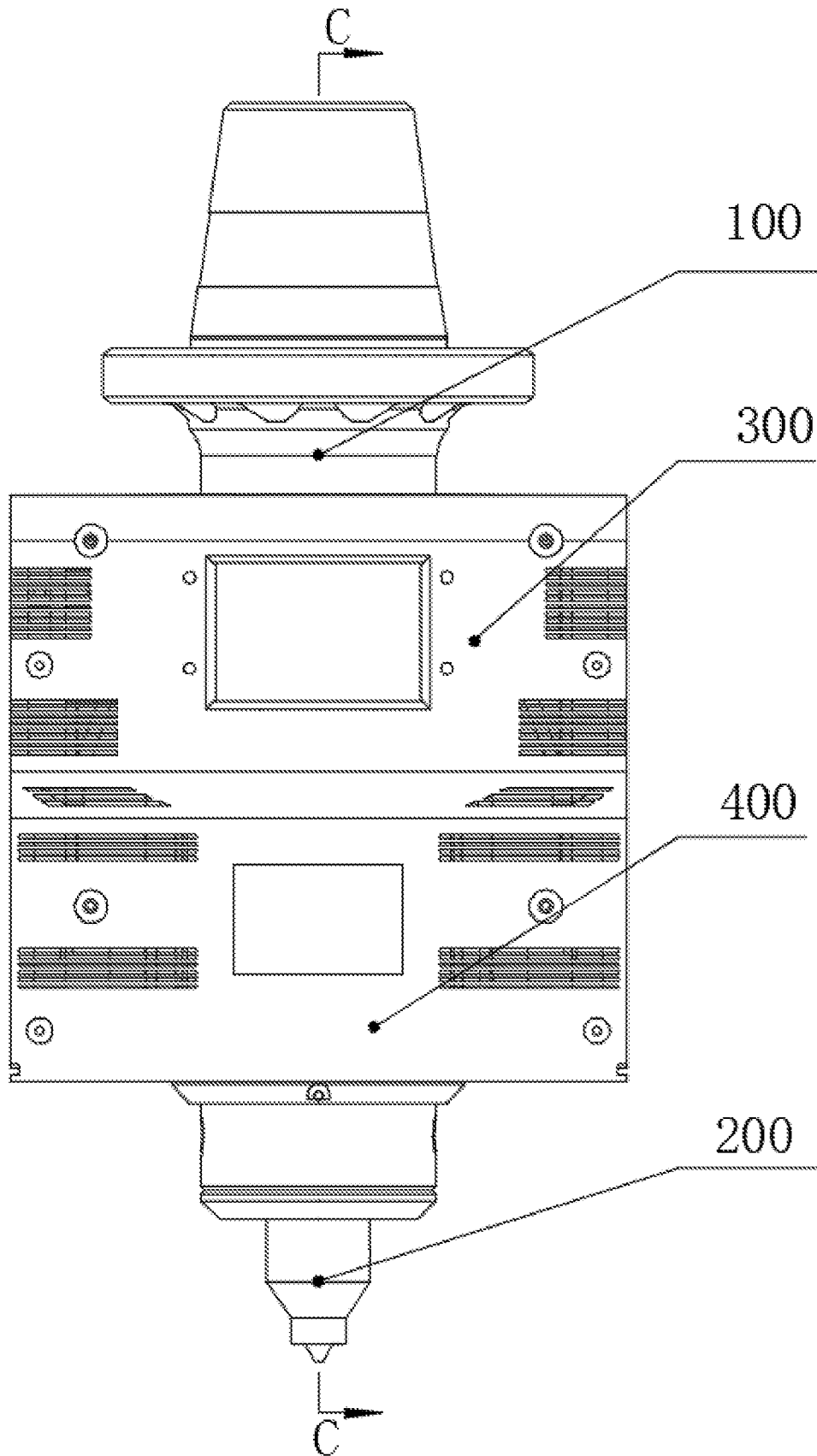


图 16

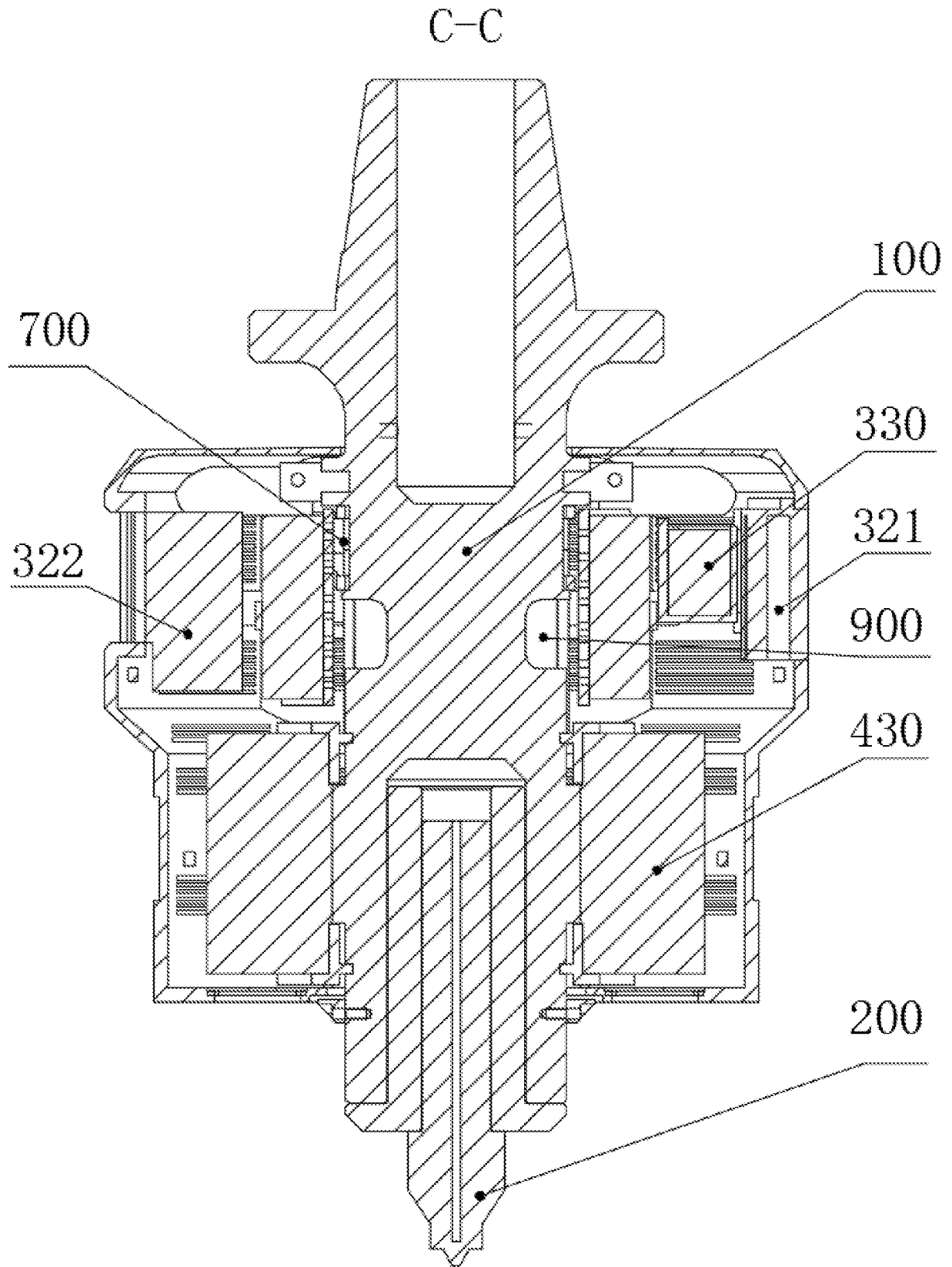


图 17

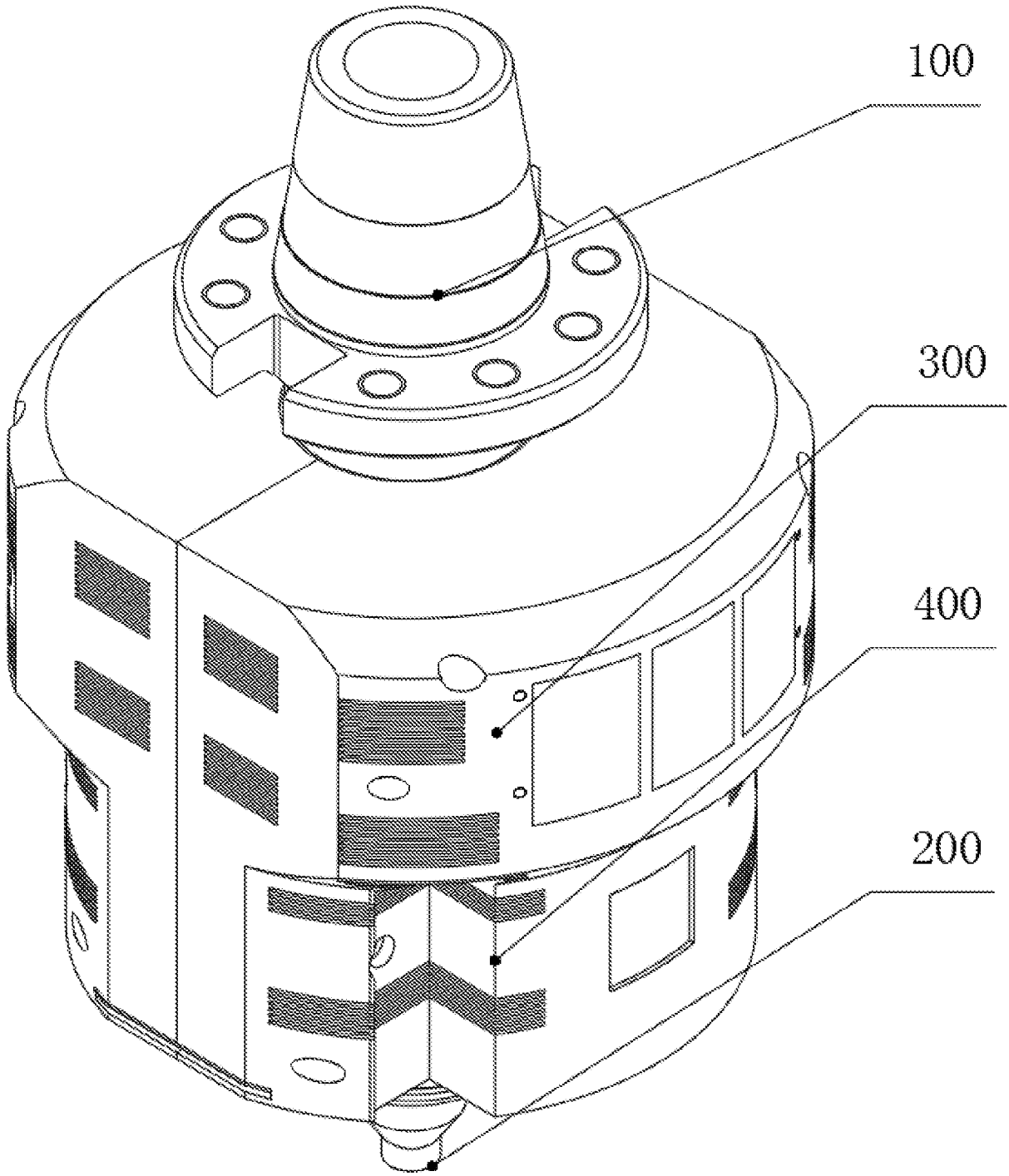


图 18

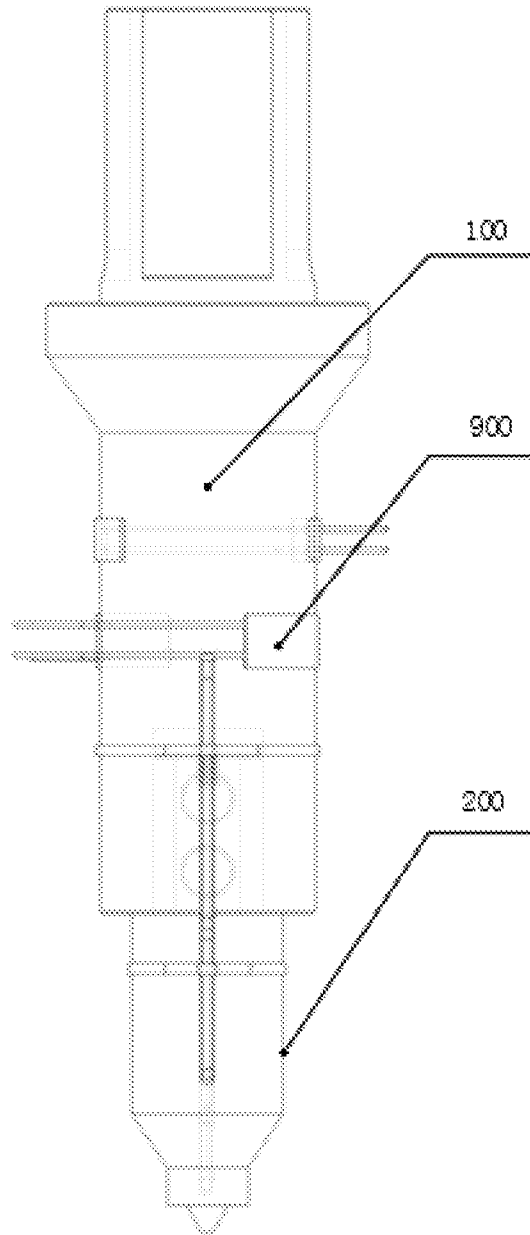


图 19

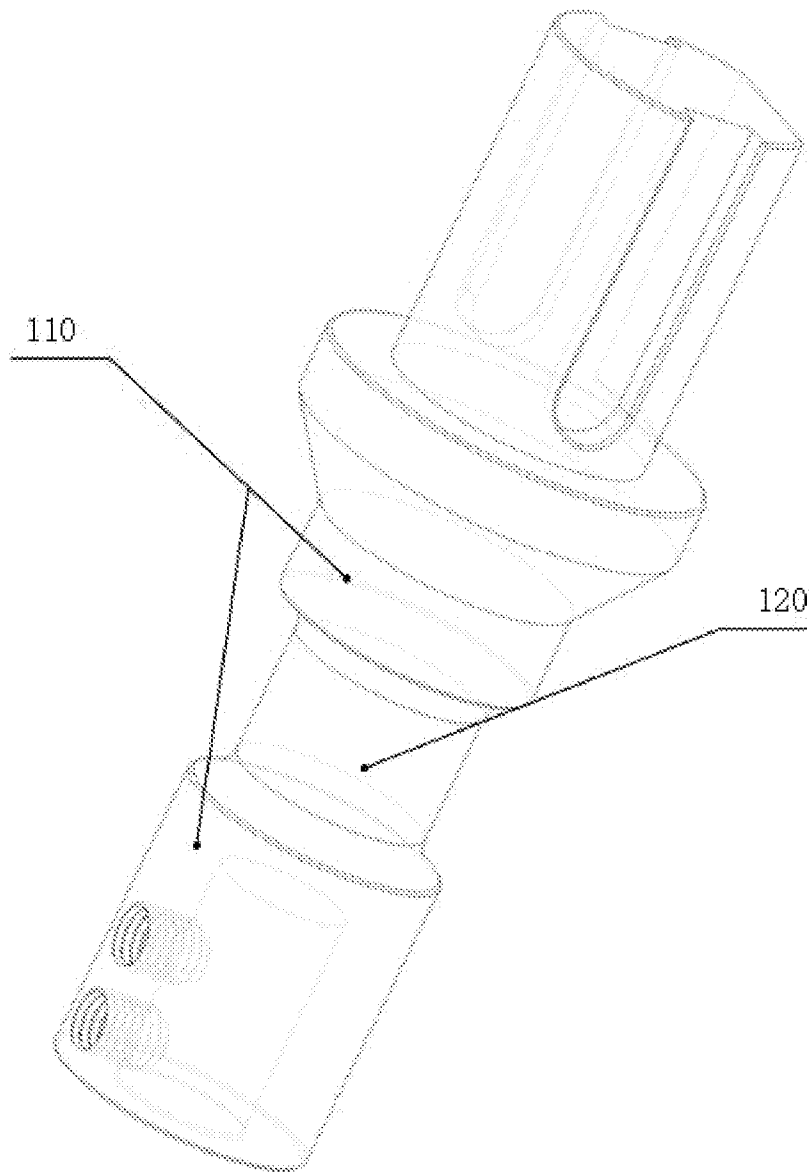


图 20

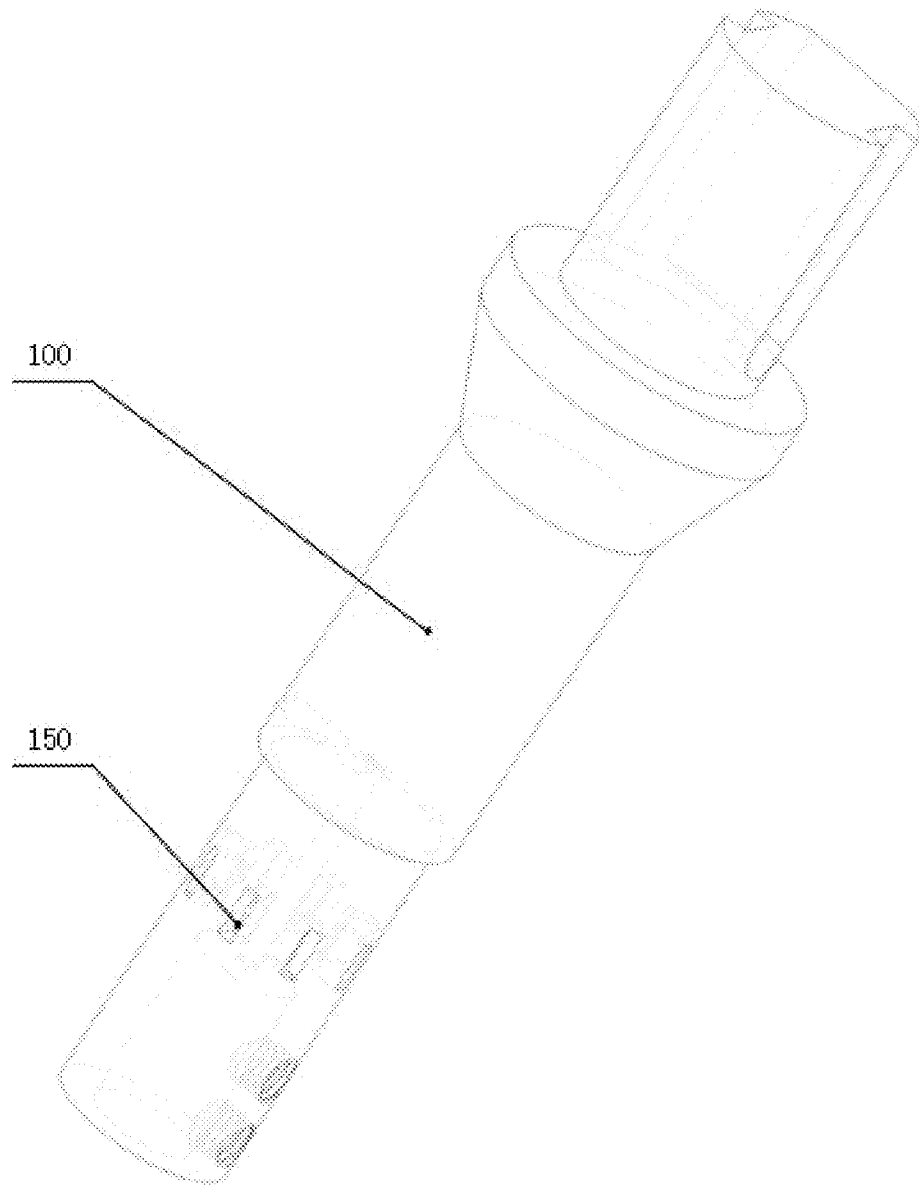


图 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/082799

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B23K20/12(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC:B23K Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNKI; VEN; CNTXT; CNABS; ENTXTC: 固态加工, 搅拌摩擦, 摩擦焊, 增材, 温, 监测, 检测, 传感, 形变, 变形, 压力, 扭矩, 应变, 轴, 第二, 应变片, temperature, temp., sensor, detect???, monitor???, press, pressure, torque, torsional, strain gage, shaft, axis, second		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 117340418 A (GUANGDONG HENGQIN AOZHIAN TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD. et al.) 05 January 2024 (2024-01-05) claims 1-18	1-18
PX	CN 220330232 U (GUANGDONG HENGQIN AOZHIAN TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD. et al.) 12 January 2024 (2024-01-12) description, paragraphs 0051-0072, and figures 1-20	1-18
PX	CN 220330233 U (GUANGDONG HENGQIN AOZHIAN TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD. et al.) 12 January 2024 (2024-01-12) description, paragraphs 0053-0077, and figures 1-20	1-18
PX	CN 220330234 U (GUANGDONG HENGQIN AOZHIAN TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD. et al.) 12 January 2024 (2024-01-12) description, paragraphs 0053-0075, and figures 1-20	1-18
X	CN 108436246 A (SHANGHAI AEROSPACE EQUIPMENTS MANUFACTURER CO., LTD.) 24 August 2018 (2018-08-24) description, paragraphs 0010-0018, and figures 1-2	1-18
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 June 2024		Date of mailing of the international search report 06 July 2024
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/082799

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2019061048 A1 (MEGASTIR TECHNOLOGIES LLC) 28 February 2019 (2019-02-28) entire document	1-18
A	CN 112238289 A (SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 19 January 2021 (2021-01-19) entire document	1-18
A	CN 106092193 A (SHANGHAI AEROSPACE EQUIPMENT MANUFACTURING GENERAL FACTORY) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-18
A	CN 116329731 A (HUNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND BUSINESS) 27 June 2023 (2023-06-27) entire document	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2024/082799

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	117340418	A	05 January 2024	None	
CN	220330232	U	12 January 2024	None	
CN	220330233	U	12 January 2024	None	
CN	220330234	U	12 January 2024	None	
CN	108436246	A	24 August 2018	None	
US	2019061048	A1	28 February 2019	US	11130192 B2 28 September 2021
				EP	3450081 A1 06 March 2019
				EP	3450081 B1 04 October 2023
				JP	2019063867 A 25 April 2019
				JP	7465057 B2 10 April 2024
				US	2021402509 A1 30 December 2021
				DK	3450081 T3 18 December 2023
CN	112238289	A	19 January 2021	None	
CN	106092193	A	09 November 2016	None	
CN	116329731	A	27 June 2023	None	

<p>A. 主题的分类</p> <p>B23K20/12(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																												
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>IPC:B23K</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNKI;VEN;CNTXT;CNABS;ENTXTC:固态加工, 搅拌摩擦, 摩擦焊, 增材, 温, 监测, 检测, 传感, 形变, 变形, 压力, 扭矩, 应变, 轴, 第二, 应变片, temperature, temp., sensor, detect???, monitor???, press, pressure, torque, torsional, strain gage, shaft, axis, second</p>																												
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 117340418 A (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月5日 (2024 - 01 - 05) 权利要求1-18</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 220330232 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0051-0072段及附图1-20</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 220330233 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0053-0077段及附图1-20</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 220330234 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0053-0075段及附图1-20</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 108436246 A (上海航天设备制造总厂有限公司) 2018年8月24日 (2018 - 08 - 24) 说明书0010-0018段及附图1-2</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2019061048 A1 (MEGASTIR TECH LLC) 2019年2月28日 (2019 - 02 - 28) 全文</td> <td>1-18</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 112238289 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2021年1月19日 (2021 - 01 - 19) 全文</td> <td>1-18</td> </tr> </tbody> </table> <p><input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <table border="0"> <tr> <td> <p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“D” 申请人在国际申请中引证的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p> </td> <td> <p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p> </td> </tr> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 117340418 A (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月5日 (2024 - 01 - 05) 权利要求1-18	1-18	PX	CN 220330232 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0051-0072段及附图1-20	1-18	PX	CN 220330233 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0053-0077段及附图1-20	1-18	PX	CN 220330234 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0053-0075段及附图1-20	1-18	X	CN 108436246 A (上海航天设备制造总厂有限公司) 2018年8月24日 (2018 - 08 - 24) 说明书0010-0018段及附图1-2	1-18	A	US 2019061048 A1 (MEGASTIR TECH LLC) 2019年2月28日 (2019 - 02 - 28) 全文	1-18	A	CN 112238289 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2021年1月19日 (2021 - 01 - 19) 全文	1-18	<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“D” 申请人在国际申请中引证的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p>	<p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																										
PX	CN 117340418 A (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月5日 (2024 - 01 - 05) 权利要求1-18	1-18																										
PX	CN 220330232 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0051-0072段及附图1-20	1-18																										
PX	CN 220330233 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0053-0077段及附图1-20	1-18																										
PX	CN 220330234 U (广东横琴澳质研科技发展有限公司等) 2024年1月12日 (2024 - 01 - 12) 说明书0053-0075段及附图1-20	1-18																										
X	CN 108436246 A (上海航天设备制造总厂有限公司) 2018年8月24日 (2018 - 08 - 24) 说明书0010-0018段及附图1-2	1-18																										
A	US 2019061048 A1 (MEGASTIR TECH LLC) 2019年2月28日 (2019 - 02 - 28) 全文	1-18																										
A	CN 112238289 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2021年1月19日 (2021 - 01 - 19) 全文	1-18																										
<p>* 引用文件的具体类型:</p> <p>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件</p> <p>“D” 申请人在国际申请中引证的文件</p> <p>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利</p> <p>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)</p> <p>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件</p> <p>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件</p>	<p>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件</p> <p>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性</p> <p>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性</p> <p>“&” 同族专利的文件</p>																											
<p>国际检索实际完成的日期</p> <p>2024年6月26日</p>	<p>国际检索报告邮寄日期</p> <p>2024年7月6日</p>																											
<p>ISA/CN的名称和邮寄地址</p> <p>中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088</p>	<p>授权官员</p> <p>陈朋飞</p> <p>电话号码 (+86) 010-62084627</p>																											

C. 相关文件		
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 106092193 A (上海航天设备制造总厂) 2016年11月9日 (2016 - 11 - 09) 全文	1-18
A	CN 116329731 A (湖南工商大学) 2023年6月27日 (2023 - 06 - 27) 全文	1-18

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2024/082799

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	117340418	A	2024年1月5日	无	
CN	220330232	U	2024年1月12日	无	
CN	220330233	U	2024年1月12日	无	
CN	220330234	U	2024年1月12日	无	
CN	108436246	A	2018年8月24日	无	
US	2019061048	A1	2019年2月28日	US	11130192 B2 2021年9月28日
				EP	3450081 A1 2019年3月6日
				EP	3450081 B1 2023年10月4日
				JP	2019063867 A 2019年4月25日
				JP	7465057 B2 2024年4月10日
				US	2021402509 A1 2021年12月30日
				DK	3450081 T3 2023年12月18日
CN	112238289	A	2021年1月19日	无	
CN	106092193	A	2016年11月9日	无	
CN	116329731	A	2023年6月27日	无	