

(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 202052935 U

(45) 授权公告日 2011. 11. 30

(21) 申请号 201120111456. 7

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2011. 04. 15

(73) 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037 号

(72) 发明人 曾晓雁 王邓志 胡乾午 王泽敏
马明明

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 曹葆青

(51) Int. Cl.

B22F 3/105(2006. 01)

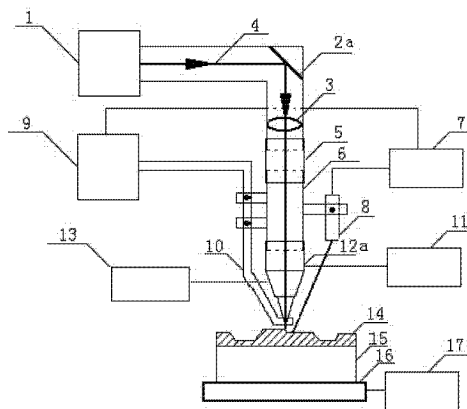
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 实用新型名称

一种激光感应复合熔化直接成形装置

(57) 摘要

本实用新型公开了一种激光感应复合熔化直接成形装置,包括激光器及光路系统、感应加热及温度控制系统、送粉系统、数控系统。本实用新型可用于在各种金属基体上直接生成大中型三维零件。本实用新型通过 CAD 软件生成零件的三维模型,再对三维模型切片并生成 G 代码以驱动数控系统和基体运动。大功率激光束和感应热源将同步送进的金属或金属 / 陶瓷复合粉末熔化,逐层沉积出设计形状的三维零件。加工过程中,温度控制器对基体的温度进行监测与控制。本实用新型加工效率高;可以根据需要设计甚至梯度改变金属陶瓷复合层的成分;零件的组织致密,晶粒细小,力学性能优良;残余应力较小,无变形和开裂现象;加工柔性高,无需工模具;材料利用率高,清洁无污染。



1. 一种激光感应复合熔化直接成形装置,其特征在于,该装置包括激光器(1)、导光器件、聚焦透镜(3)、连接套筒(5)、升降套筒(6)、温度控制器(7)、红外传感器(8)、感应电源(9)、感应线圈(10)、送粉器(11)、数控机床(16)与计算机(17);

激光器(1)的出光口、导光器件和聚焦透镜(3)依次位于同一光路上,激光器(1)产生的激光束经导光器件导入聚焦透镜(3)聚焦后入射到基体(15)上;升降套筒(6)通过连接套筒(5)安装在数控机床的Z轴上;感应线圈(10)安装在升降套筒(6)上并和感应电源(9)连接;红外传感器(8)安装在套筒(6)上,红外传感器(8)与温度控制器(7)相连,温度控制器(7)与感应电源(9)通过数据线相连;送粉嘴安装在升降套筒(6)上并与送粉器(11)和保护气体(13)连接;数控机床(16)与计算机(17)通过数据线连接。

2. 根据权利要求1所述的激光感应复合熔化直接成形装置,其特征在于,该装置还包括保护箱,送粉嘴、感应线圈、红外传感器和数控机床均位于保护箱内,保护箱在工作时充满保护气体。

3. 根据权利要求1或2所述的激光感应复合熔化直接成形装置,其特征在于,所述导光器件为反射铜镜(2a)或光纤(2b)。

一种激光感应复合熔化直接成形装置

技术领域

[0001] 本实用新型属于激光加工领域。具体涉及一种激光感应复合熔化直接成形 (Laser-Induction Hybrid Melting Direct Forming, LIHMDF) 制备三维金属零件的装置。

背景技术

[0002] 激光直接制造 (Direct Laser Fabrication, DLF) 技术, 是 20 世纪 90 年代中后期发展起来的一种先进制造技术。其基本原理是借助 CAD 软件或反求技术生成零件的 CAD 模型, 再利用成形控制软件将 CAD 模型按一定间距切割成一系列平行薄片, 然后根据薄片轮廓设计出合理的激光扫描轨迹, 并转换成数控系统的运动指令。激光束在指令控制下扫描基板, 并将送粉器输送的粉末熔化、沉积出与切片厚度基本一致的金属薄层。上述过程完成后, 聚焦镜、粉末喷嘴等整体上升一定高度, 或者工作台整体下降一定高度, 高度值的大小与所沉积的厚度相当。重复上述过程, 完成下一层金属薄层的沉积, 如此逐层堆积直至生成设计形状的三维金属零件。

[0003] 中国发明专利 ZL200810010307.4 公开了一种采用激光熔化沉积快速制造飞机平尾转轴的方法。它采用的工艺方法具有以下优点: ①零件组织具有晶粒细小、成份均匀、致密的典型快速凝固特征。其静强度较锻件提高了 10%, 疲劳强度提高了 3 倍左右; ②聚材料制备与零件“近净成形”于一体, 无需大型模具和压力热备, 缩短了生产周期和降低了成本; ③材料利用率较锻件提高 5 倍, 机加工余量少; ④生产具有高度的柔性和快速反应能力; ⑤可用于沉积制造高熔点合金和制造梯度成分的零件。

[0004] 但是, 上述以单纯的激光束作为热源熔化沉积金属材料的成形法存在以下缺点: ①加工效率偏低: 当所采用的是 Nd:YAG 激光器, 激光功率为 3-12KW 时, 粉末沉积率只有 15-40g/min (以铁基合金为例); ②由于激光熔池和基体的温度梯度大, 引起较大的残余应力, 造成零件的变形和开裂, 成为制约该技术的瓶颈; ③由于“热堆积效应”, 不同沉积层之间热过程不同, 造成组织和力学性能不均匀, 影响其使用性能; ④由于其加工效率低, 费用昂贵, 所以主要应用于军工和航空航天领域, 且主要用于制造中小型零件。以上缺点限制了该方法的大规模工业应用。

[0005] 近年来, 喷射成形 (Spray Forming, SF) 和等离子熔射成形 (Plasma-Spray Forming, PSF) 也得到了大力发展。

[0006] SF 是将熔融的金属液在高速气流的作用下喷射到导热率高的运动基材上形成零件的方法。其得到的金属零件具有快速凝固特征, 力学性能较好。但是其不足之处在于: ①沉积层易产生孔隙, 组织不致密, 需后续热加工; ②主要适用于熔点低的有色金属如铝合金、铜合金及镁合金的成形。目前, 应用于高熔点金属的成形工艺还不成熟; ③适用于制造中小型零件, 加工效率不高。PSF 是以等离子射流为热源, 在特定工艺条件下, 使粉末材料在原模表面集结成形, 经背衬、脱模或销模、强化等处理, 得到具有一定功能的零件或型腔的制造方法。

[0007] PSF 的沉积效率和加工精度较高。但是其不足之处在于: ①工序复杂, 需制作原

模；②零件孔隙率较大，且粉末易氧化；③零件力学性能比 SF 和 DLF 差。

[0008] 以上缺点限制了 SF 及 PSF 工艺在高性能大中型零件成形中的应用。

发明内容

[0009] 本实用新型的目的在于提供一种激光感应复合熔化直接成形装置，该装置加工效率高；零件组织致密、成分均匀、晶粒细小，力学性能优良；加工得到的产品残余应力较小，无变形和开裂现象。

[0010] 本实用新型提供的激光感应复合熔化直接成形装置包括激光器、导光器件、聚焦透镜、连接套筒、升降套筒、温度控制器、红外传感器、感应电源、感应线圈、送粉器、数控机床与计算机；

[0011] 激光器的出光口、导光器件和聚焦透镜依次位于同一光路上，激光器产生的激光束经导光器件导入聚焦透镜聚焦后入射到基体上；升降套筒通过连接套筒安装在数控机床的 Z 轴上；感应线圈安装在升降套筒上并和感应电源连接；红外传感器安装在套筒上，红外传感器与温度控制器相连，温度控制器与感应电源通过数据线相连；送粉嘴安装在升降套筒上并与送粉器和保护气体连接；数控机床与计算机通过数据线连接。

[0012] 作为上述技术方案的改进，该装置还包括保护箱，送粉嘴、感应线圈、红外传感器和数控平台均位于保护箱内，保护箱在工作时充满保护气体。

[0013] 本实用新型装置通用性强，加工效率高，所生成的零件致密，无孔隙，材料利用率高，无污染；在无需工模具的情况下可直接生成各种大中型金属或金属/陶瓷复合零件。本实用新型装置适用于大规模的工业应用，可用于直接制造各种大中型轴类、模具、热轧辊和冷轧辊等。

附图说明

[0014] 图 1 是激光-感应复合熔化成形制造大中型冲裁模具示意图；

[0015] 图 2 是激光-感应复合熔化成形制造大中型锤锻模示意图；

[0016] 图 3 是激光-感应复合熔化成形制造空心轴类零件示意图；

[0017] 图 4 是激光-感应复合熔化成形制造型材轧辊示意图；

[0018] 图 5 是激光-感应复合熔化成形制造钛合金零件示意图；图 6 是平面感应线圈俯视图；

[0019] 图 7 是偏心感应加热示意图；

[0020] 图 8 是同心感应加热示意图；

[0021] 图中，1、激光器，2a、反射铜镜，2b、光纤，3、聚焦透镜，4、激光束，5、连接套筒，6、升降套筒，7、温度控制器，8、红外传感器，9、感应电源，10、感应线圈，11、送粉器，12a、同轴送粉嘴，12b、旁轴送粉嘴，13、保护气，14、沉积层，15、基体，16、数控机床，17、计算机，18、电机，19、三爪卡盘，20a、滚动支架，20b、顶针，21、导磁环，22、激光光斑，23、进光口，24、保护箱。

具体实施方式

[0022] 本实用新型采用激光-感应复合熔化直接成型装置，在普通基材上逐层熔化沉积

金属或金属 / 陶瓷复合层, 最终形成具有一定形状的三维金属零件。所生成的零件致密、均匀, 力学性能优良。下面结合附图和实施例对本实用新型做进一步描述。

[0023] 如图 1 所示, 本实用新型装置包括激光器及光路系统、感应加热及温度控制系统、送粉系统和数控系统。

[0024] 激光器及光路系统包括激光器 1、导光器件、聚焦透镜 3、连接套筒 5 和升降套筒 6。导光器件包括反射铜镜 2a 或光纤 2b 等。

[0025] 感应加热及温度控制系统包括温度控制器 7、红外传感器 8、感应电源 9 和感应线圈 10。

[0026] 送粉系统包括送粉器 11、同轴送粉嘴 12a 或旁轴送粉嘴 12b。

[0027] 数控系统包括数控机床 16 和计算机 17。

[0028] 采用 CO₂ 激光器时, 激光器 1 产生的激光束 4 经反射铜镜 2a 导入聚焦透镜 3 聚焦后入射到基体 15 上。

[0029] 采用 Nd:YAG 激光器或高功率半导体激光器时, 激光器 1 产生的激光束 4 经光纤 2b 导入聚焦透镜 3 聚焦后入射到基体 15 上。

[0030] 升降套筒 6 通过连接套筒 5 安装在数控机床的 Z 轴上。

[0031] 感应线圈 10 安装在升降套筒 6 上并通过水冷铜缆和感应电源 9 连接。红外传感器 8 安装在升降套筒 6 上并瞄准基体 15 上的一个测温点, 红外传感器 8 测量的温度数据通过数据线传输至温度控制器 7, 温度控制器 7 与感应电源 9 通过数据线相连。

[0032] 同轴送粉嘴 12a 或旁轴送粉嘴 12b 安装在升降套筒 6 上并与送粉器 11 和保护气体 13 连接。

[0033] 在进行平面激光 - 感应复合熔化直接成型时, 基体 15 直接装夹在数控机床 16 的水平平台上。同轴送粉嘴 12a 与感应线圈 10 安装在升降套筒 6 上, 如图 5 所示, 激光光斑 22 位于感应线圈 10 的圆心。同轴送粉嘴 12a 送出的合金粉末刚好进入激光光斑 22。

[0034] 当对圆柱形回转体进行加工时, 工件 15 通过三爪卡盘 19 和滚动支架 20a 或顶针 20b 固定在数控机床 16 的水平平台上。感应线圈 10 安装在升降套筒 6 上, 如图 6 或图 7 所示, 激光束 4 通过感应线圈上的进光口 23 入射到基体 15 上。旁轴送粉嘴 12b 安装在升降套筒 6 上并与激光束 4 呈一定角度。旁轴送粉嘴 12b 送出的合金粉末通过感应线圈 10 上的进光口 23 与激光束 4 在基体 15 上相交形成熔池。

[0035] 数控机床 16 与计算机 17 通过数据线连接。计算机 17 上安装有分层软件, 分层软件将零件的三维模型转化为机代码驱动数控机床 16 的运动。

[0036] 对钛合金进行加工时, 送粉嘴 (通常采用同轴送粉嘴 12a)、感应线圈 10、红外传感器 8、数控机床 16 及工件 15 位于保护箱 24 内。保护箱内充满保护气体 (如氩气)。

[0037] 实例:

[0038] 实施例一

[0039] 采用激光 - 感应复合熔化成形方法及装置制备大中型冲裁模具, 如附图 1 所示。通过 CAD 分层软件和数控系统控制, 在 Q235 钢基体上逐层生成 Ni 基合金与 WC 的复合层。WC 粉末的质量百分比由 0-60% 逐渐增加, 以获得梯度成份。成形层厚度为 2-500mm 不等, 其硬度为 60-70HRC, 耐磨性是基体材料的 15-30 倍。

[0040] 实施步骤:

- [0041] ①将退火态的基体除锈后清洗,装夹在数控机床的水平平台上。
- [0042] ②开启 5KW 横流 CO₂ 激光器,激光束经反射铜镜导入聚焦透镜聚焦后垂直入射到基体上。调节激光束的离焦量,使光斑直径为 6mm。
- [0043] ③感应线圈安装在升降套筒上。调节感应线圈的水平位置,使激光束的光斑刚好位于感应线圈进光口的中心,如图 6 示。在感应线圈上安装导磁环以提高加热效率。调整感应线圈的竖直位置,使之与基体的间隙为 6mm。将感应线圈与感应电源通过水冷铜缆连接。
- [0044] ④调节同轴送粉嘴的位置,使粉末的交点位于激光束的轴线上并与基体的距离为 15mm。将同轴送粉嘴与送粉器通过塑料管连接。通入保护气体 Ar,流量为 5l/min。
- [0045] ⑤将温度控制器的输出端口和感应电源的控制端口连接,红外传感器固定在升降套筒上,并瞄准基体上的一个测温点。将感应加热温度设定在 400℃。
- [0046] ⑥设定激光器的功率为 4KW、送粉速率为 60g/min、扫描速度为 0.4m/min、多道搭接率为 30%。
- [0047] ⑦用分层软件将零件的三维模型转化成一系列的厚度为 1.5mm 的二维信息,每一层信息转化成 G 代码输入计算机内存,用以驱动数控平台。
- [0048] ⑧同步开启感应电源、激光器、温度控制器、送粉器、和数控平台,在保护气氛下,激光束和感应热源共同作用,将粉末和部分基体熔化形成熔池,凝固后形成沉积层。基体在数控平台驱动下按一定的轨迹运动,使沉积层按照一定的形状生成。
- [0049] ⑨激光-感应复合工艺制造完一层后,升降套筒带动感应线圈、红外传感器及送粉嘴向上 z 轴运动 1.5mm,重复步骤⑧,如此循环,逐层生成三维零件。
- [0050] 实施例二
- [0051] 采用激光-感应复合熔化成形技术及装置制备大中型热锤锻模。如附图 2 所示,通过 CAD 分层软件和数控系统控制,在 H13 钢基体上逐层生成 Co 基合金沉积层。沉积层厚度为 5-50mm 不等,其硬度为 45-55HRC,800℃时硬度和疲劳抗力较 H13 钢提高 2-4 倍。
- [0052] 实施步骤:
- [0053] ①将退火态的基体除锈后清洗,装夹在数控机床的水平平台上。
- [0054] ②开启 4KW 横流高功率半导体激光器。激光束经光纤导入聚焦透镜聚焦后垂直入射到基体上。调节激光束的离焦量,使光斑直径为 10mm。
- [0055] ③感应线圈安装在升降套筒上。调节感应线圈的水平位置,使激光束的光斑刚好位于感应线圈进光口的中心,如图 6 示。在感应线圈上安装导磁环以提高加热效率。调整感应线圈的竖直位置,使之与基体的间隙为 6mm。将感应线圈与感应电源通过水冷铜缆连接。
- [0056] ④调节同轴送粉嘴的位置,使粉末的交点位于激光束的轴线上并与基体的距离为 15mm。将同轴送粉嘴与送粉器通过塑料管连接。通入保护气体 Ar,流量为 5l/min。
- [0057] ⑤将温度控制器的输出端口和感应电源的控制端口连接,红外传感器固定在升降套筒上,并瞄准基体上的一个测温点。将感应加热温度设定在 400℃。
- [0058] ⑥设定激光器的功率为 4KW、送粉速率为 100g/min、扫描速度为 2m/min、多道搭接率为 40%。
- [0059] ⑦用分层软件将零件的三维模型转化成一系列的厚度为 1.5mm 的二维信息,每一

层信息转化成 G 代码输入计算机内存,用以驱动数控平台。

[0060] ⑧同步开启感应电源、激光器、温度控制器、送粉器、和数控平台,在保护气氛下,激光束和感应热源共同作用,将粉末和部分基体熔化形成熔池,凝固后形成沉积层。基体在数控平台驱动下按一定的轨迹运动,使沉积层按照一定的形状生成。

[0061] ⑨激光-感应复合工艺制造完一层后,升降套筒带动感应线圈、红外传感器及送粉嘴向上 z 轴运动 1.5mm,重复步骤⑧,如此循环,逐层生成三维零件。

[0062] 实施例三

[0063] 采用激光-感应复合熔化成形技术及装置制备空心轴类零件。如附图 3 所示,以普通空心钢管为基体。钢管的外径为 200mm,壁厚为 5mm。在此基体上生成梯度金属陶瓷复合层。成形层厚度为 2-500mm 不等,成型后硬度为 60-70HRC,耐磨性较基体提高 10-30 倍。

[0064] 实施步骤:

[0065] ①将经过清洗、喷砂处理的基体装夹在数控机床的水平平台上的三爪卡盘和滚动支架上。

[0066] ②采用 15KW 横流 CO₂ 激光器。调节好激光束的离焦量,使其光斑为 3mm×20mm 的矩形,光斑的长边和基体的轴线平行。

[0067] ③感应线圈通过夹具与套筒固定。使感应线圈与基体为偏心加热,调节感应线圈的位置,使激光束的光斑刚好位于感应线圈进光口的中心,并使之与基体的间隙为 3-10mm,如图 7 所示。在感应线圈上安装导磁体以提高加热效率。将感应线圈与感应电源通过水冷铜缆连接。

[0068] ④采用旁轴送粉嘴,调节送粉嘴的位置,使送粉角度为 70°,送粉嘴与基体的距离为 15mm,粉末刚好可以送进熔池。

[0069] ⑤将温度控制器和感应电源的控制端口连接,红外传感器通过夹具固定在套筒上,并使其瞄准基体上的一个测温点。将感应加热温度设定在 900℃。

[0070] ⑥设定激光器的功率为 15KW、送粉速率为 180g/min、扫描速度为 4m/min、搭接率为 30%。

[0071] ⑦用分层软件将零件的三维模型转化成一系列的厚度为 1.5mm 的圆环,每一层信息转化成 G 代码输入计算机内存,用以驱动数控平台。扫描路径为一系列的螺旋线。

[0072] ⑧同步开启感应电源、激光器、温度显示与控制器、送粉器、和数控平台,在保护气氛下,激光束和感应热源共同作用,将粉末和部分基体熔化形成熔池,凝固后形成沉积层。基体在数控平台驱动下按一定的轨迹运动,使沉积层按照一定的形状生成。

[0073] ⑨激光-感应复合工艺制造完一层后,升降套筒带动感应线圈、红外传感器及送粉嘴向上 z 轴运动 1.5mm,重复步骤⑧,如此循环,逐层生成三维零件。

[0074] 实施例四

[0075] 采用激光-感应复合熔化成形技术及装置制备型材轧辊。如附图 4 所示,以圆柱形 40Cr 钢为基体,基体直径为 360mm。采用 6KW 的 Nd:YAG 激光器,粘结相为钴基合金,陶瓷相为 WC。WC 的重量百分比为 20%。成形层厚度为 5-200mm 不等,成型后硬度为 60-70HRC,耐磨性较基体提高 10-15 倍,疲劳抗力提高 3-5 倍。

[0076] 实施步骤:

[0077] ①将退火态的基体除锈后清洗,装夹在数控机床的水平平台上的三爪卡盘和顶针

上,使感应线圈与基体为同心加热,如图 8 所示。

[0078] ②采用 6KW 的 Nd:YAG 激光器。调节好激光束的离焦量,使其光斑为 1mm×10mm 的矩形,光斑的长边和基体的轴线平行。

[0079] ③感应线圈通过夹具与升降套筒固定。调节感应线圈的位置,使激光束的光斑刚好位于感应线圈进光口的中心,并使之与基体的间隙为 10mm,如图 7 所示。在感应线圈上安装导磁体以提高加热效率。将感应线圈与感应电源通过水冷铜缆连接。

[0080] ④采用旁轴送粉嘴,调节送粉嘴的位置,使送粉角度为 60°,送粉嘴与基体的距离为 15mm,粉末刚好可以送进熔池。

[0081] ⑤将温度显示控制器和感应电源的控制接口连接,红外传感器安装在升降套筒上。使红外传感器瞄准基体上的一个测温点。将感应加热温度设定在 700℃。

[0082] ⑥设定激光器的功率为 6KW、送粉速率为 110g/min、扫描速度为 2.4m/min、多道搭接率为 60%。

[0083] ⑦用分层软件将零件的三维模型转化成一系列的厚度为 1.4mm 的圆环,每一层信息转化成 G 代码输入计算机内存,用以驱动数控平台。扫描路径为一系列的螺旋线。

[0084] ⑧同步开启感应电源、激光器、温度显示与控制器、送粉器、和数控平台,在保护气氛下,激光束和感应热源共同作用,将粉末和部分基体熔化形成熔池,凝固后形成沉积层。基体在数控平台驱动下按一定的轨迹运动,使沉积层按照一定的形状生成。

[0085] ⑨激光-感应复合工艺制造完一层后,升降套筒带动感应线圈、红外传感器及送粉嘴向上 z 轴运动 1.4mm,重复步骤⑧,如此循环,逐层生成三维零件。

[0086] 实施例五

[0087] 采用激光-感应复合熔化成形方法及装置制备钛合金零件,如附图 5 所示。通过 CAD 分层软件和数控系统控制,在 Ti6Al4V 基体上逐层生成钛合金零件。所成型零件致密度好,表面精度高,力学性能略优于相同材质锻件。

[0088] 实施步骤:

[0089] ①将基体喷砂后清洗,装夹在数控机床的水平平台上。

[0090] ②开启 5KW 横流 CO₂ 激光器,打开准直。激光束经反射铜镜导入聚焦透镜聚焦后垂直入射到基体上。调节激光束的离焦量,使光斑直径为 1mm。

[0091] ③感应线圈安装在升降套筒上。调节感应线圈的水平位置,使激光束的光斑刚好位于感应线圈进光口的中心,如图 6 示。在感应线圈上安装导磁环以提高加热效率。调整感应线圈的竖直位置,使之与基体的间隙为 6mm。将感应线圈与感应电源通过水冷铜缆连接。

[0092] ④调节同轴送粉嘴的位置,使粉末的交点位于激光束的轴线上并与基体的距离为 15mm。将同轴送粉嘴与送粉器连接。通入保护气体 Ar,流量为 5l/min。

[0093] ⑤将温度控制器的输出端口和感应电源的控制端口连接,红外传感器固定在升降套筒上,并瞄准基体上的一个测温点。将感应加热温度设定在 400℃。

[0094] ⑥设定激光器的功率为 1KW、送粉速率为 10g/min、扫描速度为 1.5m/min、多道搭接率为 20%。

[0095] ⑦用分层软件将零件的三维模型转化成一系列的厚度为 0.5mm 的二维信息,每一层信息转化成 G 代码输入计算机内存,用以驱动数控平台。

[0096] ⑧同步开启感应电源、激光器、温度控制器、送粉器、和数控平台,在保护气氛下,激光束和感应热源共同作用,将粉末和部分基体熔化形成熔池,凝固后形成沉积层。基体在数控平台驱动下按一定的轨迹运动,使沉积层按照一定的形状生成。

[0097] ⑨激光-感应复合工艺制造完一层后,工件向下移动 0.5mm,重复步骤⑧,如此循环,逐层生成三维零件。

[0098] 以上所述为本实用新型的较佳实施例而已,但本实用新型应该局限于该实施例和附图所公开的内容。所以凡是不脱离本实用新型所公开的精神下完成的等效或修改,都落入本实用新型保护的范围。

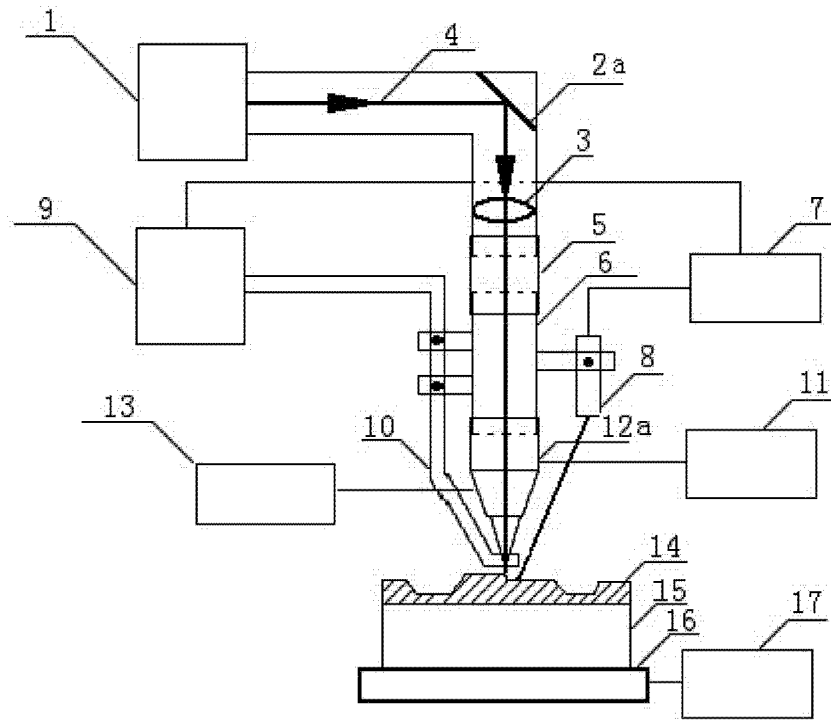


图 1

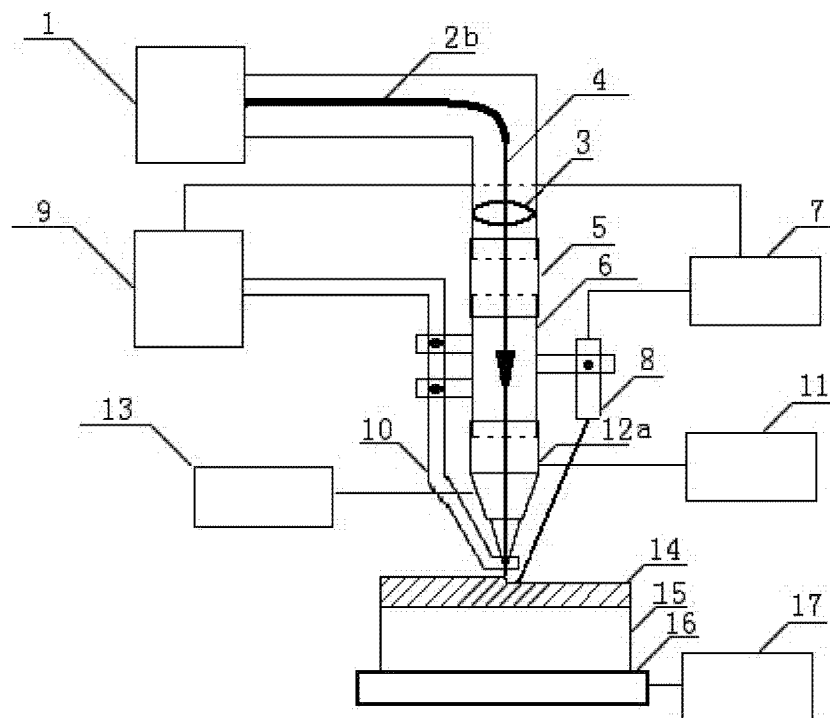


图 2

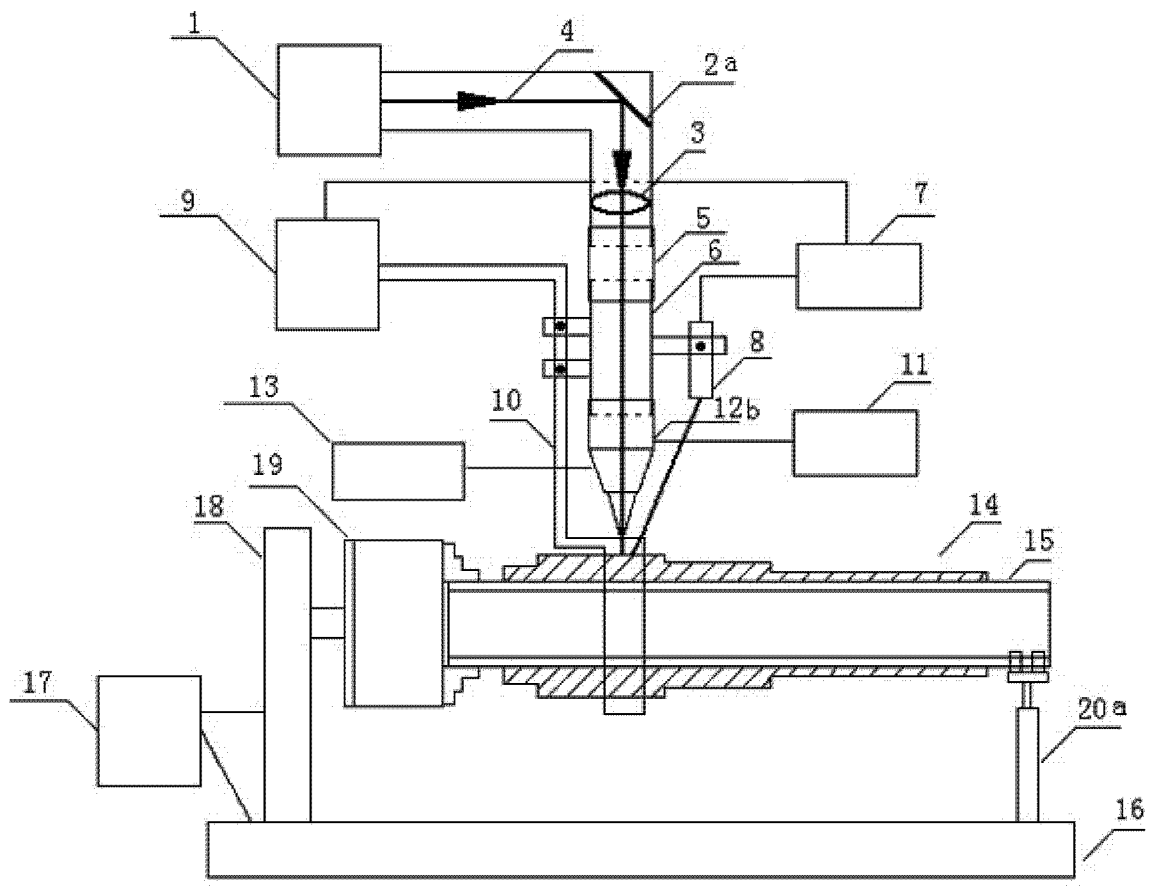


图 3

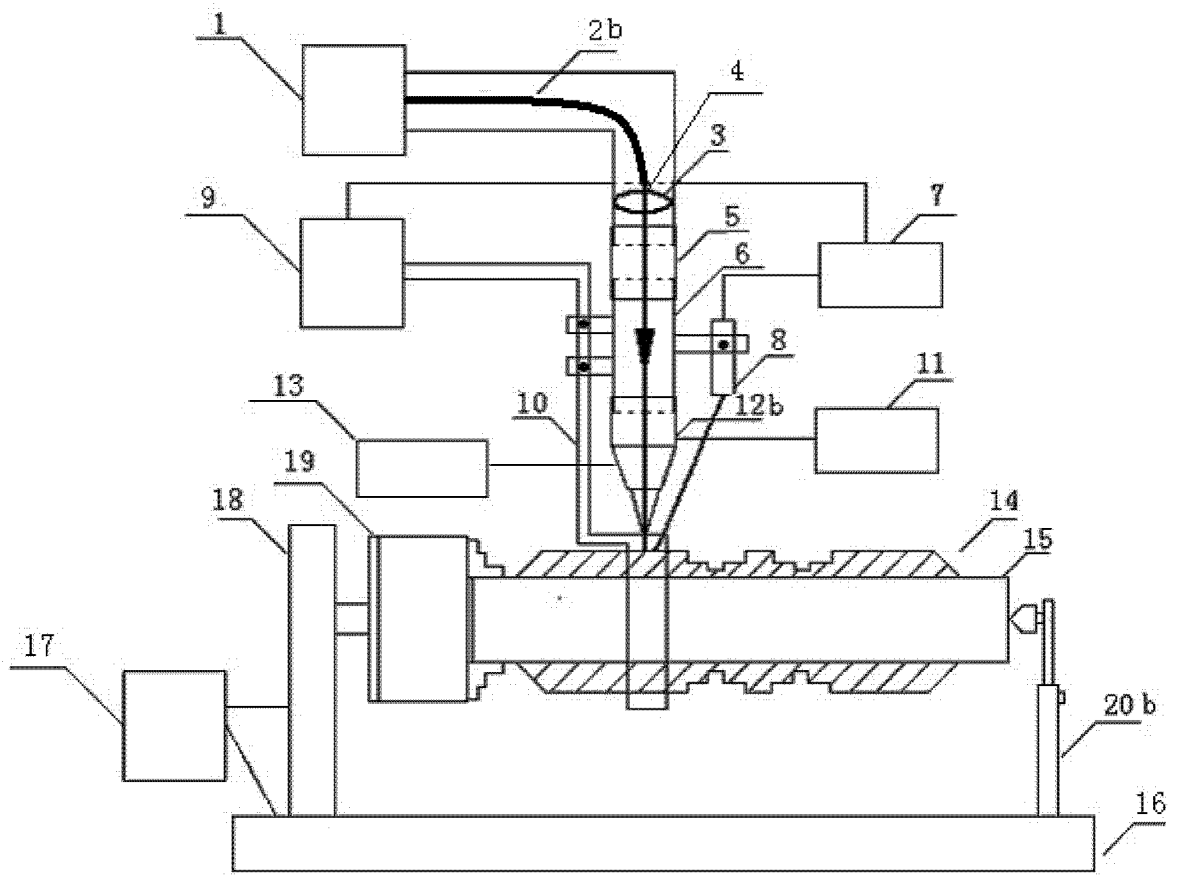


图 4

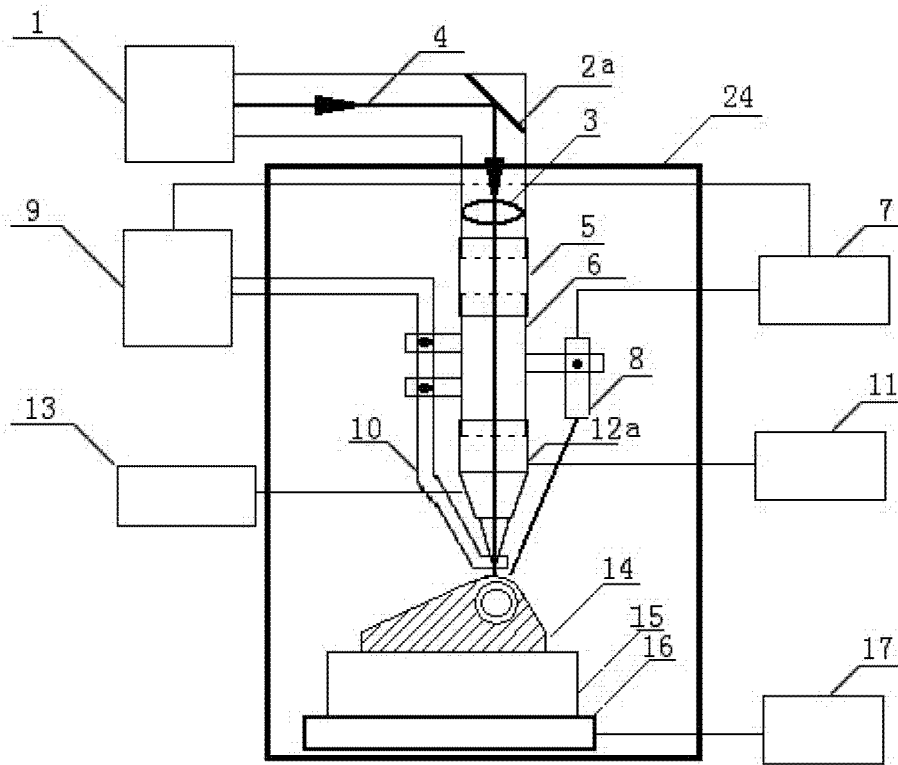


图 5

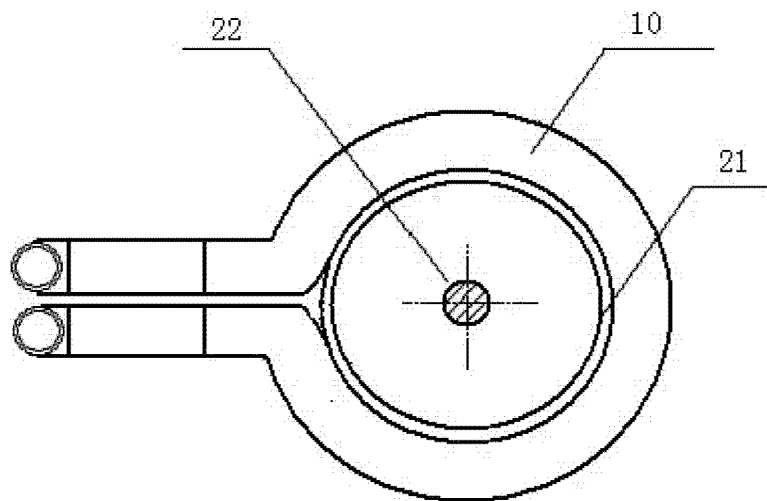


图 6

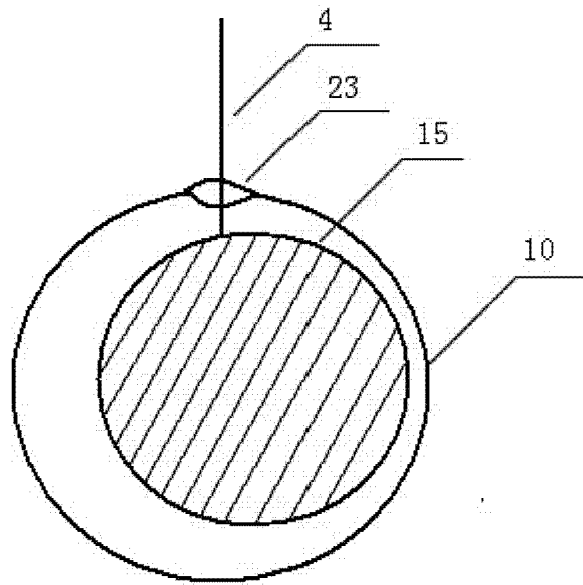


图 7

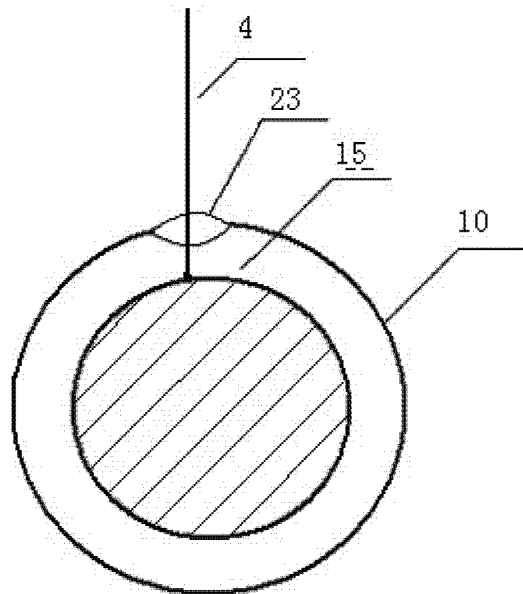


图 8