



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112059552 B

(45) 授权公告日 2022. 02. 22

(21) 申请号 202010927257.7

审查员 韩腾

(22) 申请日 2020.09.07

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112059552 A

(43) 申请公布日 2020.12.11

(73) 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街  
29号

(72) 发明人 赵国龙 李亮 杨吟飞 胡茂顺

赵威 郝秀清 陈妮 何宁

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

代理人 张天一

(51) Int. Cl.

B23P 15/00 (2006.01)

B23K 26/00 (2014.01)

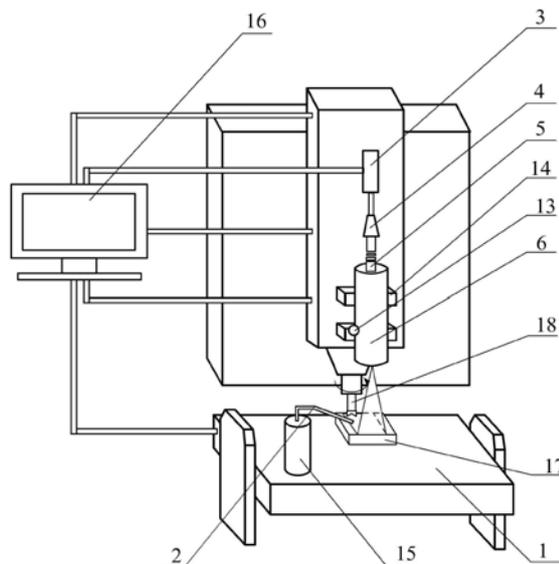
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工方法及装置

(57) 摘要

本发明公开一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工方法,采用条形的激光聚焦在待加工面,并向待加工件通氧气,使待加工件处于富氧环境中,待加工件被辐照区域形成变质层,变质层包括氧化层和过渡层,铣刀随激光移动去除氧化层。本发明还提供一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工装置,包括工作台、输气管、激光光源、扩束镜、光纤耦合组件、光束整形镜头,激光光束经过光束整形镜头整形为条形的激光光束,通过激光和氧气的耦合作用使待加工件发生快速可控的氧化反应,在合适的工艺参数下形成疏松易去除的氧化层,降低切削载荷,延长刀具寿命,提高加工效率;条形的激光扫描面积大,在相同时间内,可氧化更大区域并提高加工效率。



1. 一种用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置,其特征在于:包括工作台、输气管、激光光源、扩束镜、光纤耦合组件、光束整形镜头,所述工作台能够固定待加工件,所述输气管与外部气源相连通,所述输气管能够向待加工件输送氧气,所述激光光源能够发射激光,所述激光光源的激光出射方向正对所述扩束镜设置,激光光束经所述扩束镜改变直径后,进入所述光束整形镜头,所述光束整形镜头能够将激光光束整形为条形的激光光束,所述光束整形镜头朝向待加工件设置,所述光束整形镜头能够调整激光光斑长度,所述光纤耦合组件设置于所述扩束镜与所述光束整形镜头之间;

所述光束整形镜头包括顺序设置的凸透镜、柱面透镜、鲍威尔棱镜和匀化镜片,所述凸透镜靠近所述扩束镜的一侧设置,所述匀化镜片靠近待加工件一侧设置,所述鲍威尔棱镜与所述柱面透镜之间的距离能够调整;

所述光束整形镜头还包括壳体,所述凸透镜、所述柱面透镜、所述鲍威尔棱镜和所述匀化镜片均设置于所述壳体内,所述鲍威尔棱镜可滑动地设置于所述壳体内,所述鲍威尔棱镜与所述壳体相对滑动能够改变所述鲍威尔棱镜与所述柱面透镜之间的间距;

所述鲍威尔棱镜连接有齿条,所述齿条与齿轮相啮合,所述齿轮可转动地设置于所述壳体上,所述壳体上还设置幅宽调节旋钮,所述幅宽调节旋钮与所述齿轮相连;

所述壳体通过连接机构固定于铣床的机头上,所述光束整形镜头能够随着铣床的主轴运动,且沿铣刀的加工方向,所述光束整形镜头位于铣刀的前方。

2. 根据权利要求1所述的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置,其特征在于:所述输气管连接有氧气罐,所述氧气罐设置于所述工作台上;所述激光光源连接有控制器,所述控制器还能够控制铣床的工作状态。

3. 一种采用权利要求1或2所述的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置的铣削加工方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一、将待加工件的待加工面磨平,去除杂质和污渍;

步骤二、采用条形的激光聚焦在待加工面,并向待加工件通氧气,使待加工件处于富氧环境中,待加工件被辐照区域形成变质层,变质层包括氧化层和过渡层,氧化层位于过渡层的顶部,过渡层位于工件材料的顶部;

步骤三、根据激光扫描速度设置铣刀进给速度,根据氧化层厚度设置轴向切深,铣刀随激光移动去除氧化层,条形的激光继续聚焦在待加工面的过渡层,激光辐照在过渡层,将过渡层变为新的氧化层,铣刀去除新的氧化层,经过多次循环,直至去除量达到加工要求;其中,条形的激光光斑长度大于铣刀的直径。

4. 根据权利要求3所述的铣削加工方法,其特征在于:步骤一中,待加工件在乙醇中超声清洗,以去除杂质和污渍。

5. 根据权利要求3所述的铣削加工方法,其特征在于:步骤二中,向待加工件通氧气时,氧气的流量为5L/min,激光波长为1064nm,激光幅宽为5-12mm。

## 一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及碳纤维增强复合材料加工技术领域,特别是涉及一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工方法及装置。

### 背景技术

[0002] 碳纤维增强碳化硅基复合材料(C<sub>f</sub>/SiC复合材料)是目前用于航空航天高端装备热防护部件、热结构件、高温连接件和耐磨件等最具潜力的新型高温结构材料之一。虽然目前大多数C<sub>f</sub>/SiC复合材料构件是近净尺寸成形,但是针对具有复杂形面的构件,预成形很难达到其表面质量和尺寸形状精度等要求。可知,机械加工仍是实现C<sub>f</sub>/SiC复合材料构件形性协同控制的有效手段。

[0003] 但是,C<sub>f</sub>/SiC复合材料是一种典型的难加工材料,其高硬度导致高切削力、高切削温度和低刀具寿命;材料具有各向异性和非均质性,导致加工不稳定,存在毛刺、凹坑、崩边、撕裂和分层等加工损伤。为解决上述问题,须提高刀具的刚度和强度,具体可以通过更改刀具结构或材料来实现,但是通过修改刀具结构,刀具刚度和硬度得到的提高有限。现有的硬质合金铣刀已经具有较高的刚度和硬度,如果刀具采用金刚石或者陶瓷材料,那么刀具成本上升并伴随刀具可靠性下降等问题,因此通过改变刀具材料提高铣刀的刚度和硬度的方式能力也有限。

[0004] 因此,如何改变现有技术中,C<sub>f</sub>/SiC复合材料加工过程中刀具寿命短、加工效率低的现状,成为了本领域技术人员亟待解决的问题。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工方法及装置,以解决上述现有技术存在的问题,延长C<sub>f</sub>/SiC复合材料的加工刀具的使用寿命,提高加工效率。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:本发明提供一种用于C<sub>f</sub>/SiC复合材料的铣削加工方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤一、将待加工件的待加工面磨平,去除杂质和污渍;

[0008] 步骤二、采用条形的激光聚焦在待加工面,并向待加工件通氧气,使待加工件处于富氧环境中,待加工件被辐照区域形成变质层,变质层包括氧化层和过渡层,氧化层位于过渡层的顶部,过渡层位于工件材料的顶部;

[0009] 步骤三、根据激光扫描速度设置铣刀进给速度,根据氧化层厚度设置轴向切深,铣刀随激光移动去除氧化层,条形的激光继续聚焦在待加工面的过渡层,激光辐照在过渡层,将过渡层变为新的氧化层,铣刀去除新的氧化层,经过多次循环,直至去除量达到加工要求。

[0010] 优选地,步骤一中,待加工件在乙醇中超声清洗,以去除杂质和污渍。

[0011] 优选地,步骤二中,向待加工件通氧气时,氧气的流量为5L/min,激光波长为1064nm,激光幅宽为5-12mm。

[0012] 优选地,步骤三中,条形的激光光斑长度大于铣刀的直径。

[0013] 本发明还提供一种实现上述用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工方法的加工装置,包括工作台、输气管、激光光源、扩束镜、光纤耦合组件、光束整形镜头,所述工作台能够固定待加工件,所述输气管与外部气源相连通,所述输气管能够向待加工件输送氧气,所述激光光源能够发射激光,所述激光光源的激光出射方向正对所述扩束镜设置,激光光束经所述扩束镜改变直径后,进入所述光束整形镜头,所述光束整形镜头能够将激光光束整形为条形的激光光束,所述光束整形镜头朝向待加工件设置,所述光束整形镜头能够调整激光光斑长度,所述光纤耦合组件设置于所述扩束镜与所述光束整形镜头之间。

[0014] 优选地,所述光束整形镜头包括顺序设置的凸透镜、柱面透镜、鲍威尔棱镜和匀化镜片,所述凸透镜靠近所述扩束镜的一侧设置,所述匀化镜片靠近待加工件一侧设置,所述鲍威尔棱镜与所述柱面透镜之间的距离能够调整。

[0015] 优选地,所述光束整形镜头还包括壳体,所述凸透镜、所述柱面透镜、所述鲍威尔棱镜和所述匀化镜片均设置于所述壳体内,所述鲍威尔棱镜可滑动地设置于所述壳体内,所述鲍威尔棱镜与所述壳体相对滑动能够改变所述鲍威尔棱镜与所述柱面透镜之间的间距。

[0016] 优选地,所述鲍威尔棱镜连接有齿条,所述齿条与齿轮相啮合,所述齿轮可转动地设置于所述壳体上,所述壳体上还设置幅宽调节旋钮,所述幅宽调节旋钮与所述齿轮相连。

[0017] 优选地,所述壳体通过连接机构固定于铣床的机头上,所述光束整形镜头能够随着铣床的主轴运动,且沿铣刀的加工方向,所述光束整形镜头位于铣刀的前方。

[0018] 优选地,所述输气管连接有氧气罐,所述氧气罐设置于所述工作台上;所述激光光源连接有控制器,所述控制器还能够控制铣床的工作状态。

[0019] 本发明相对于现有技术取得了以下技术效果:本发明提供一种用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工方法,采用条形的激光聚焦在待加工面,并向待加工件通氧气,使待加工件处于富氧环境中,待加工件被辐照区域形成变质层,变质层包括氧化层和过渡层,铣刀随激光移动去除氧化层,条形的激光继续聚焦在待加工面的过渡层,激光辐照过渡层,将过渡层变为新的氧化层,铣刀去除新的氧化层,多次循环直至去除量达到加工要求。本发明还提供一种用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置,包括工作台、输气管、激光光源、扩束镜、光纤耦合组件、光束整形镜头,激光光束经过光束整形镜头整形为条形的激光光束,通过激光和氧气的耦合作用使待加工件发生快速可控的氧化反应,在合适的工艺参数下形成疏松易去除的氧化层,降低切削载荷,延长刀具寿命,提高加工效率;条形的激光扫描面积大,在相同时间内,可氧化更大区域并提高加工效率。另外,待加工件经过激光诱导氧化后成为疏松、多孔的氧化物,在铣削时所需的能量减少,与传统铣削相比,在相同切削工艺参数下,铣削力降低,加工表面质量提高。

## 附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例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例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

- [0021] 图1为本发明的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置的结构示意图；
- [0022] 图2为本发明的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置的部分结构示意图；
- [0023] 图3为 $C_f/SiC$ 复合材料激光诱导氧化机理示意图；
- [0024] 其中,1为工作台,2为输气管,3为激光光源,4为扩束镜,5为光纤耦合组件,6为光束整形镜头,7为凸透镜,8为柱面透镜,9为鲍威尔棱镜,10为匀化镜片,11为齿条,12为齿轮,13为幅宽调节旋钮,14为连接机构,15为氧气罐,16为控制器,17为待加工件,18为铣刀,19为氧化层,20为过渡层。

### 具体实施方式

[0025] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0026] 本发明的目的是提供一种 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工方法及装置,以解决上述现有技术存在的问题,延长 $C_f/SiC$ 复合材料的加工刀具的使用寿命,提高加工效率。

[0027] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0028] 请参考图1-3,其中,图1为本发明的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置的结构示意图,图2为本发明的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置的部分结构示意图,图3为 $C_f/SiC$ 复合材料激光诱导氧化机理示意图。

[0029] 本发明提供一种用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工方法,包括如下步骤:

[0030] 步骤一、将待加工件17的待加工面磨平,去除杂质和污渍;

[0031] 步骤二、采用条形的激光聚焦在待加工面,并向待加工件17通氧气,使待加工件17处于富氧环境中,待加工件17被辐照区域形成变质层,变质层包括氧化层19和过渡层20,氧化层19位于过渡层20的顶部,过渡层20位于待加工件17材料的顶部;

[0032] 步骤三、根据激光扫描速度设置铣刀18进给速度,根据氧化层19厚度设置轴向切深,铣刀18随激光移动去除氧化层19,条形的激光继续聚焦在待加工面的过渡层20,条形的激光辐照过渡层20,将过渡层20变为新的氧化层19,铣刀18去除新的氧化层19,经过多次循环,直至去除量达到加工要求。

[0033] 本发明的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工方法,通过激光和氧气的耦合作用使待加工材料发生快速可控的氧化反应,在合适的工艺参数下形成疏松易去除的氧化层19,降低切削载荷,延长刀具寿命,提高加工效率。条形的激光扫描面积大,在相同时间内,可氧化更大区域并提高加工效率。同时,待加工件17经过激光诱导氧化后成为疏松、多孔的氧化物,在铣削时所需的能量减少,与传统铣削相比,在相同切削工艺参数下,铣削力降低,加工表面质量提高。

[0034] 在进行加工之前,待加工件17在乙醇中超声清洗,以去除杂质和污渍,避免杂质等物影响加工质量。

[0035] 在本具体实施方式中,向待加工件17通氧气时,氧气的流量为5L/min,确保待加工件17处于富氧环境中,激光波长为1064nm,激光幅宽为5-12mm,在实际生产中,氧气流量以

及激光参数可以根据生产要求确定。

[0036] 另外,在步骤三中,条形的激光光斑长度大于铣刀18的直径,铣刀18随着条形的激光光束运动,去除氧化层19,条形的激光光束继续氧化待加工区域,铣刀18继续去除氧化层19,直至满足加工量,需要说明的是,在加工完成后,去除待加工件17加工面的过渡层20,保证加工质量。

[0037] 本发明还提供一种用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置,包括工作台1、输气管2、激光光源3、扩束镜4、光纤耦合组件5、光束整形镜头6,工作台1能够固定待加工件17,输气管2与外部气源相连通,输气管2能够向待加工件17输送氧气,激光光源3能够发射激光,激光光源3的激光出射方向正对扩束镜4设置,激光光束经扩束镜4改变直径后,进入光束整形镜头6,光束整形镜头6能够将激光光束整形为条形的激光光束,光束整形镜头6朝向待加工件17设置,光束整形镜头6能够调整激光光斑长度,光纤耦合组件5设置于扩束镜4与光束整形镜头6之间。

[0038] 本发明的用于 $C_f/SiC$ 复合材料的铣削加工装置,激光光束经过光束整形镜头6整形为条形的激光光束,输气管2能够向待加工件17输送氧气,通过激光和氧气的耦合作用使待加工件17发生快速可控的氧化反应,在合适的工艺参数下形成疏松易去除的氧化层19,降低切削载荷,延长刀具寿命,提高加工效率。

[0039] 条形的激光光束扫描面积大,在相同时间内,可氧化更大区域并提高加工效率;与条形的激光光束相比,点激光有较多缺点。扫描相同长度路径时,点激光在扫描路径上需多次重叠,C纤维与SiC基体所接触的边角处获得不连续的能量输入,使得不同路径上的氧化层19和过渡层20厚度不一致,去除氧化层19过程中会加剧刀具磨损。线激光代替点激光后能够克服点激光的缺陷,线激光实现了激光大面积扫描,又保证了激光对作用区域材料的连续能量输入(点激光会导致材料的氧化层19的不一致,条形激光作用下的氧化层19一致性较高),可以获得厚度一致的氧化层19和过渡层20,为C纤维增速氧化奠定基础。被条形的激光光束辐照后,由于C纤维较SiC基体氧化速率较快,周围的C纤维氧化后,SiC基体露出,增大了可氧化表面积,提高了基体材料的氧化速率;气态氧化物的逸出为氧气向材料内部传输提供通道,达到增速氧化的目标。

[0040] 具体地,光束整形镜头6包括顺序设置的凸透镜7、柱面透镜8、鲍威尔棱镜9和匀化镜片10,凸透镜7靠近扩束镜4的一侧设置,匀化镜片10靠近待加工件17一侧设置,鲍威尔棱镜9与柱面透镜8之间的距离能够调整。通过柱面透镜8和鲍威尔棱镜9将微小圆形光斑整形为能量分布相对均匀的宏观条形激光,然后利用匀化镜片10进一步均匀条形激光能量分布,通过光束整形镜头6能够减小激光能量的损耗且获得能量分布均匀的条形激光光束。在本具体实施方式中,光束整形镜头6的组合焦距为200-400mm。

[0041] 在本具体实施方式中,光束整形镜头6还包括壳体,凸透镜7、柱面透镜8、鲍威尔棱镜9和匀化镜片10均设置于壳体内,鲍威尔棱镜9可滑动地设置于壳体内,鲍威尔棱镜9与壳体相对滑动能够改变鲍威尔棱镜9与柱面透镜8之间的间距,凸透镜7、柱面透镜8、鲍威尔棱镜9和匀化镜片10均安装于壳体内,壳体为各个部件提供了安装基础,提高了光束整形镜头6的结构稳定性。

[0042] 为了便捷地改变鲍威尔棱镜9与柱面透镜8之间的距离,鲍威尔棱镜9连接有齿条11,鲍威尔棱镜9通过卡箍与齿条11相连,齿条11与齿轮12相啮合,齿轮12可转动地设置于

壳体上,壳体上还设置幅宽调节旋钮13,幅宽调节旋钮13与齿轮12相连,转动幅宽调节旋钮13,即可改变激光的幅宽。当激光平均功率密度一定时,根据待加工件17所需的功率密度和刀具直径,通过幅宽调节旋钮13能够较精确地改变条形激光的幅宽,实现能量的高效利用以及材料的高效加工;通过调节激光扫描速度、激光平均功率密度等参数可以获取所需的氧化物的微观组织和结构,工艺可控性高。

[0043] 更具体地,壳体通过连接机构14固定于铣床的机头上,光束整形镜头6能够随着铣床的主轴运动,且沿铣刀18的加工方向,光束整形镜头6位于铣刀18的前方,确保加工顺利进行。另外需要说明的是,激光光源3、扩束镜4以及光纤耦合组件5均与光束整形镜头6相配合,确保条形的激光光束能够氧化待加工件17。

[0044] 进一步地,输气管2连接有氧气罐15,氧气罐15设置于工作台1上,在本发明的其他具体实施方式中,输气管2能够随着加工过程的进行而变换方向,确保待加工件17处于富氧环境中。激光光源3连接有控制器16,控制器16还能够控制铣床的工作状态,降低操作人员劳动负担,提高加工工作效率。

[0045] 在本具体实施方式中,激光参数包括激光扫描速度,激光平均功率密度和条形激光尺寸,其中平均功率密度优选为 $1.9 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$ ,条形激光尺寸包括幅宽和宽度,条形激光长度大于铣刀18的直径,宽度为 $60 \mu\text{m}$ ,激光扫描速度 $4 \text{ mm/s}$ ,处于富氧环境下。

[0046] 铣刀18为直径 $10 \text{ mm}$ 的两齿PCD立铣刀。

[0047] 铣削参数包括主轴转速、进给速度和轴向切深,分为粗加工及精加工参数。粗加工中:主轴转速为 $10000 \text{ r/min}$ ,进给速度与激光扫描速度相同,轴向切深与氧化层厚度相同。精加工中,主轴转速为 $10000 \text{ r/min}$ ,进给速度为 $2 \text{ mm/s}$ ,轴向切深为 $0.2 \text{ mm}$ 。

[0048] 本发明的用于 $\text{C}_f/\text{SiC}$ 复合材料的铣削加工方法及装置,除了可用于加工 $\text{C}_f/\text{SiC}$ 复合材料,还可以用于钛合金、高温合金、硬质合金、铝基碳化硅等难加工材料的加工。

[0049] 本发明中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

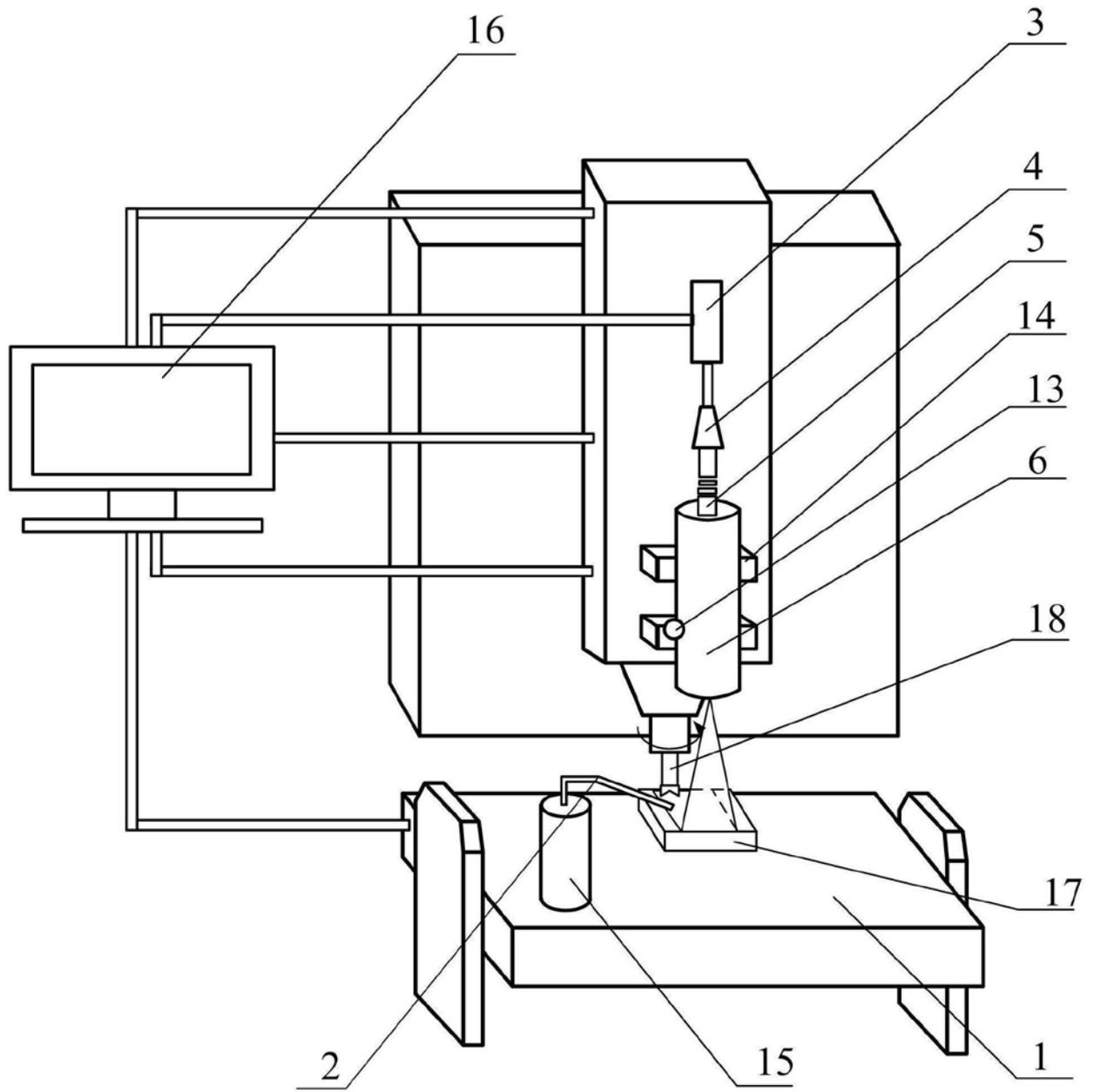


图1

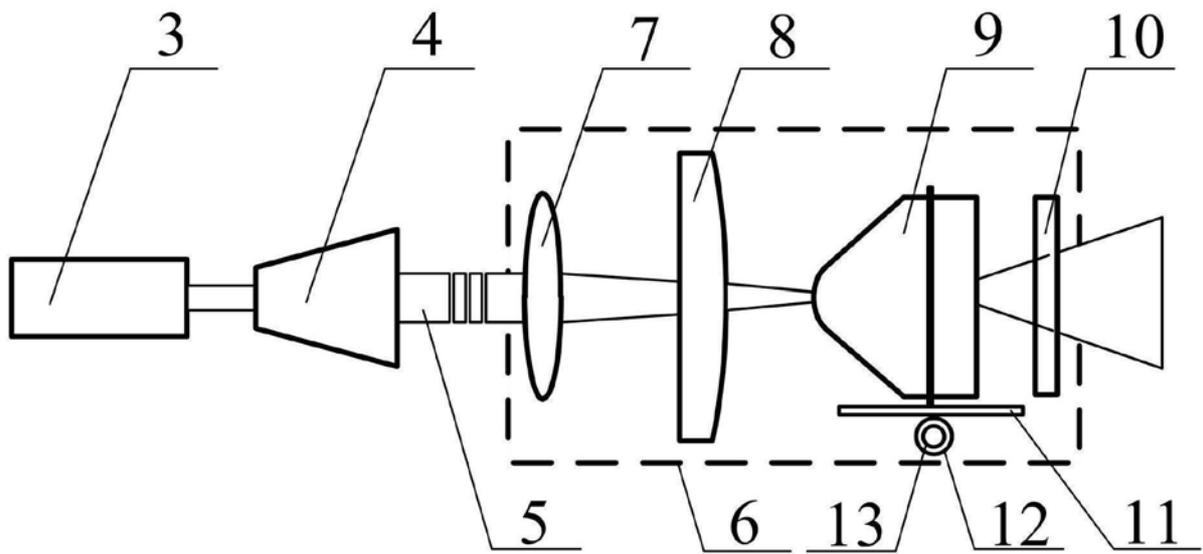


图2

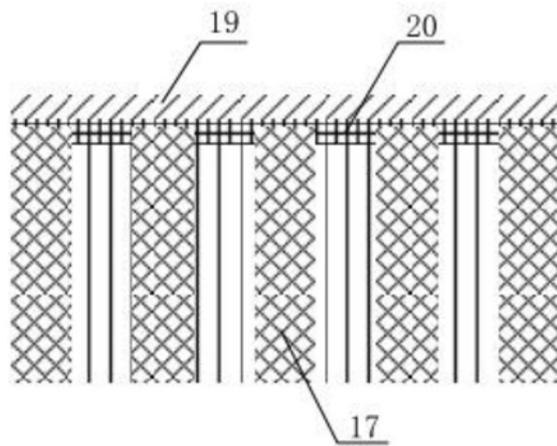


图3