



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109778178 A
(43)申请公布日 2019.05.21

(21)申请号 201711101810.6

(22)申请日 2017.11.10

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114号

(72)发明人 陆莹 赵吉宾 王文斌 乔红超
孙博宇 李松夏 胡太友

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 王倩

(51)Int.Cl.
G23C 24/10(2006.01)
G21D 10/00(2006.01)

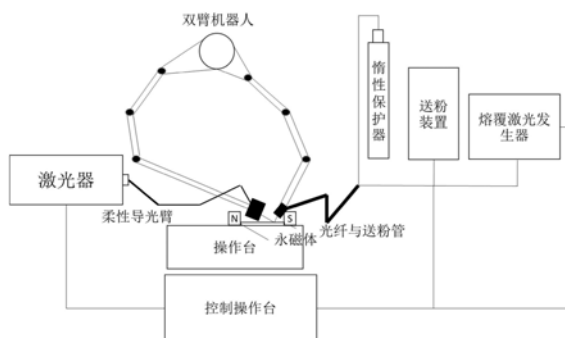
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置和方法

(57)摘要

本发明涉及激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置和方法,装置包括:激光熔覆装置,用于通过第一机械手对工件进行激光熔覆;激光冲击强化装置,与激光熔覆装置连接,用于通过第二机械手对工件进行激光冲击强化;三轴运动机床,用于带动放置工件的操作台,使工件位于激光熔覆装置、激光冲击强化装置操作范围内,实现工件复合表面处理。本发明可将熔覆组织结构由铸态转变为锻态,产生有益的残余压应力层,消除由于凝固冷却而产生的拉应力,有效地抑制疲劳裂纹的萌生。



1. 激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,其特征包括:

激光熔覆装置,用于通过第一机械手对工件进行激光熔覆;

激光冲击强化装置,与激光熔覆装置连接,用于通过第二机械手对工件进行激光冲击强化;

三轴运动机床,用于带动放置工件的操作台,使工件位于激光熔覆装置、激光冲击强化装置操作范围内,实现工件复合表面处理。

2. 根据权利要求1所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,其特征在于所述激光熔覆装置包括CO₂激光器、激光熔覆头、送粉装置、机器人,氩气保护装置;所述第一机械手末端设有激光熔覆头,激光熔覆头与CO₂激光器、送粉装置、氩气保护装置连接;所述CO₂激光器发出的激光、同轴送粉装置输出的粉、氩气保护装置输出的氩气分别经光纤内的管路从激光熔覆头输出,用于实现激光熔覆。

3. 根据权利要求1所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,其特征在于所述激光冲击强化装置包括激光器、柔性导光臂;所述柔性导光臂一端与激光器连接,另一端与第二机械手末端连接;

所述激光器发出的激光经柔性导光臂内部输出至工件熔覆层表面,用于实现激光冲击强化。

4. 根据权利要求1所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,其特征在于所述第二机械手末端设有红外测温仪,用于检测激光强化光束所在位置的熔覆层温度,使其表面温度为800℃-850℃。

5. 激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,其特征包括以下步骤:

1) 检测激光熔覆过程中加工位置的温度,寻找激光冲击强化温度的初始值;

2) 设定激光熔覆的工艺参数和激光冲击强化的工艺参数;

3) 根据加工路径控制两只机器手的同步运动;

4) 开启激光熔覆的送粉装置、氩气保护装置、CO₂激光器;控制第一机械手使激光熔覆头运动到指定位置;

5) 开启激光冲击的激光器,控制第二机械手使柔性导光臂输出激光的一端运动到起始位置;

6) 调整两束光斑的相对位置;

7) 开启CO₂激光器和激光器的两束激光光源,同时控制两只机械手运动,使第一机械手完成熔覆后且检测的激光冲击强化温度达到初始值,开始设定时间的激光冲击强化,完成双束激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理加工。

6. 根据权利要求5所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,其特征在于,其特征在于所述检测激光熔覆过程中加工位置的温度,寻找激光冲击强化温度的初始值包括以下步骤:

根据熔覆的温度与时间的关系曲线,选取用于激光冲击强化温度范围700℃-800℃中的某温度值作为激光冲击强化的初始值温度,并将所对应的时间段内的设定时间作为激光冲击强化时间。

7. 根据权利要求5所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,其特征在于,其特征在于所述调整两束光斑的相对位置指控制激光熔覆的激光光斑与激光强化的激

光光斑相切。

8. 根据权利要求5所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,其特征在于,其特征在于加工过程中实时检测红外测温仪的温度,调整激光冲击光束的光斑位置,步骤如下:

在加工前根据加工轨迹控制机械手完成熔覆过程,并通过红外测温仪测得温度与熔覆激光束位移的关系,并绘制位置-温度曲线;

在曲线中选取温度为800℃对应的位置作为激光冲击光斑的中心位置,激光冲击光斑的中心位置与熔覆激光束的中心位置之间的距离作为强化光斑与熔覆光斑的相对位置,并根据相对位置控制机械手使两光束的光斑相对位置保持固定。

9. 根据权利要求5所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,其特征在于在工件操作台上设置永磁体,通过永磁体实现激光冲击强化等离子体冲击波的约束,包括以下步骤:

(1) 采用高能激光诱导工件表面吸收层产生等离子体冲击波,当激光辐照工件表面时,使工件表面的吸收保护层气化电离,形成的等离子体作为冲击波能量载体;

(2) 利用永磁体形成强磁场约束激光诱导产生的等离子体分离,使正离子附着在牺牲层表面,形成一种带电的等离子体约束层;

(3) 利用强磁场将激光诱导产生的等离子体的正、负离子分离,形成一层带电的约束层;

(4) 通过在操作台上设置的永磁体,使磁场线方向与工件表面一致,等离子体中的正离子作为约束层吸附在牺牲层表面,电子则在磁场的作用下移动工件另一侧,实现对激光冲击强化的等离子体冲击波的约束。

10. 根据权利要求5所述的激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,其特征在于所述磁场线方向与工件表面保持一致具体为:磁场线方向与工件表面平行,且工件表面位于磁场内。

激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置和方法,具体地说是一种利用激光冲击强化对激光熔覆层表面微锻造的装置和方法,是调控激光熔覆层组织和力学性能的有效手段,同时具有非接触、无热影响区、可控性强等突出优点。

背景技术

[0002] 激光束的快速加热,使得熔覆层完全熔化,热量来不及传递开来,使得基材温度远低于熔覆层的温度,这就在熔覆层和基材材料间产生很大的温度梯度,在随后的快速凝固过程中产生较大的热应力,微观组织晶界位错、空位增多,原子排列极不规则,形成气孔、夹杂等缺陷。激光冲击采用短脉冲、高峰值功率密度的激光辐射金属表面,产生高温、高压的等离子体,形成高强度压力冲击波,诱导工件表面发生超高应变率塑性形变,通过调整工艺参数和运动机构调控零件表层的强度及应力状态,进而能够调控零件的综合性能,引入残余压应力(大小可控)、引发表面组织晶粒细化(厚度可控);激光冲击部位得以强化,有效的调控裂纹、气孔、夹杂等缺陷,从而达到提高材料机械性能的目的。

发明内容

[0003] 本发明是一种激光同轴送粉熔覆层激光微锻造方法,是一种调控激光熔覆层组织和力学性能的有效手段,有效的消除裂纹、气孔、夹杂等缺陷,从而达到提高材料机械性能的目的,同时具有非接触、无热影响区、可控性强等突出优点。

[0004] 本发明采用的技术方案如下:激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,包括:

[0005] 激光熔覆装置,用于通过第一机械手对工件进行激光熔覆;

[0006] 激光冲击强化装置,与激光熔覆装置连接,用于通过第二机械手对工件进行激光冲击强化;

[0007] 三轴运动机床,用于带动放置工件的操作台,使工件位于激光熔覆装置、激光冲击强化装置操作范围内,实现工件复合表面处理。

[0008] 所述激光熔覆装置包括CO₂激光器、激光熔覆头、送粉装置、机器人,氩气保护装置;所述第一机械手末端设有激光熔覆头,激光熔覆头与CO₂激光器、送粉装置、氩气保护装置连接;所述CO₂激光器发出的激光、同轴送粉装置输出的粉、氩气保护装置输出的氩气分别经光纤内的管路从激光熔覆头输出,用于实现激光熔覆。

[0009] 所述激光冲击强化装置包括激光器、柔性导光臂;所述柔性导光臂一端与激光器连接,另一端与第二机械手末端连接;

[0010] 所述激光器发出的激光经柔性导光臂内部输出至工件熔覆层表面,用于实现激光冲击强化。

[0011] 所述第二机械手末端设有红外测温仪,用于检测激光强化光束所在位置的熔覆层温度,使其表面温度为800℃-850℃。

- [0012] 激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理方法,包括以下步骤:
- [0013] 检测激光熔覆过程中加工位置的温度,寻找激光冲击强化温度的初始值;
- [0014] 设定激光熔覆的工艺参数和激光冲击强化的工艺参数;
- [0015] 根据加工路径控制两只机器手的同步运动;
- [0016] 开启激光熔覆的送粉装置、氩气保护装置、CO₂激光器;控制第一机械手使激光熔覆头运动到指定位置;
- [0017] 开启激光冲击的激光器,控制第二机械手使柔性导光臂输出激光的一端运动到起始位置;
- [0018] 调整两束光斑的相对位置;
- [0019] 开启CO₂激光器和激光器的两束激光光源,同时控制两只机械手运动,使第一机械手完成熔覆后且检测的激光冲击强化温度达到初始值,开始设定时间的激光冲击强化,完成双束激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理加工。
- [0020] 所述检测激光熔覆过程中加工位置的温度,寻找激光冲击强化温度的初始值包括以下步骤:
- [0021] 根据熔覆的温度与时间的关系曲线,选取用于激光冲击强化温度范围700℃-800℃中的某温度值作为激光冲击强化的初始值温度,并将所对应的时间段内的设定时间作为激光冲击强化时间。
- [0022] 所述调整两束光斑的相对位置指控制激光熔覆的激光光斑与激光强化的激光光斑相切。
- [0023] 加工过程中实时检测红外测温仪的温度,调整激光冲击光束的光斑位置,步骤如下:
- [0024] 在加工前根据加工轨迹控制机械手完成熔覆过程,并通过红外测温仪测得温度与熔覆激光束位移的关系,并绘制位置-温度曲线;
- [0025] 在曲线中选取温度为800℃对应的位置作为激光冲击光斑的中心位置,激光冲击光斑的中心位置与熔覆激光束的中心位置之间的距离作为强化光斑与熔覆光斑的相对位置,并根据相对位置控制机械手使两光束的光斑相对位置保持固定。
- [0026] 在工件操作台上设置永磁体,通过永磁体实现激光冲击强化等离子体冲击波的约束,包括以下步骤:
- [0027] (1) 采用高能激光诱导工件表面吸收层产生等离子体冲击波,当激光辐照工件表面时,使工件表面的吸收保护层气化电离,形成的等离子体作为冲击波能量载体;
- [0028] (2) 利用永磁体形成强磁场约束激光诱导产生的等离子体分离,使正离子附着在牺牲层表面,形成一种带电的等离子体约束层;
- [0029] (3) 利用强磁场将激光诱导产生的等离子体的正、负离子分离,形成一层带电的约束层;
- [0030] (4) 通过在操作台上设置的永磁体,使磁场线方向与工件表面一致,等离子体中的正离子作为约束层吸附在牺牲层表面,电子则在磁场的作用下移动工件另一侧,实现对激光冲击强化的等离子体冲击波的约束。
- [0031] 所述磁场线方向与工件表面保持一致具体为:磁场线方向与工件表面平行,且工件表面位于磁场内。

[0032] 本发明具有以下有益效果及优点：

[0033] 1. 本发明适用于调控激光熔覆后熔覆层组织和残余应力，覆层金属表面产生较大的塑性变形，产生有益的残余压应力层，消除由于凝固冷却而产生的拉应力。

[0034] 2. 本发明可使熔覆层表面组织结构由铸态转变为锻态，使其发生晶粒细化，晶体取向发生偏转，甚至形成纳米晶。

[0035] 3. 本发明可有效地抑制疲劳裂纹的萌生，调控熔覆层应力分布和组织形貌，冲击部位晶粒得到细化、表层硬度、耐磨损性能提高，可实现激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理。

[0036] 4. 以等离子体正离子作为约束层进行激光冲击强化，可有效约束等离子体冲击波向金属内部传播。

[0037] 5. 以等离子体正离子作为约束层进行激光冲击强化，相比于未施加约束层的强化（残余应力约为-100MPa），可获得较深的残余应力层（残余应力约为-450MPa）。

[0038] 6. 以等离子体正离子作为约束层进行激光冲击强化，与水作为约束层的强化效果基本相当（水约束强化形成的残余应力约为-500MPa）。

[0039] 7. 采用磁感应强度大于0.5T的板装永磁体，磁感线方向平行于试样表面，使得等离子体中的正离子作为约束层吸附在牺牲层表面，电子则在磁场的作用下移动工件另一侧，实现对激光冲击强化的等离子体冲击波的约束。

[0040] 8. 本发明采用两只机械臂同步运动，根据预处理阶段测定熔覆过程的温度场分布特征，找到最佳的激光冲击强化微锻造的温度对应的位置，确定熔覆光斑与强化光斑两光束的相对随从位置关系，这样确定激光冲击强化最适宜的加工位置。

附图说明

[0041] 图1为激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置结构示意图。

[0042] 图2为激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理双臂机器人示意图。

[0043] 图3为激光诱导熔覆微锻造温度选择原理。

[0044] 图4为激光冲击光斑位置的确定示意图。

[0045] 图5为激光诱导熔覆微锻造工艺流程图。

[0046] 图6是本发明激光冲击强化示意图。

[0047] 图7是本发明等离子体爆炸离子运动示意图。

[0048] 图8在磁场作用下等离子体偏转示意图。

具体实施方式

[0049] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0050] 本发明包括逐点测试激光熔覆的过程中周围的温度，寻找锻造温度的指定位置；根据金属粉末和加工需求，设定激光熔覆的工艺参数（激光功率、光斑直径、熔覆速度、离焦量、送粉速度、扫描速度、预热温度）；根据强化效果和加工需求，设定激光冲击强化的工艺参数（脉冲频率、脉冲宽度、单脉冲能量，光斑直径）；设计加工路径，并对其进行轨迹进行模拟矫正；调控双臂机器人（激光熔覆激光头夹持机器人、激光冲击强化柔性导光臂夹持机器人）的运动速度与运动轨迹，使其保持同步运动；预开启激光熔覆同轴送粉装置、保护气路、

激光熔覆激光。开启激光熔覆指示光,然后将激光熔覆激光头运动到指定位置;将永磁体移动到指定位置,开启红外测温仪;预开启激光冲击用激光器、冷却循环系统。开启指示光,将激光冲击用柔性导光臂运动到制定位置,并将其设定为运动起始位置。调整两束光斑的相对位置,一般情况两束激光光斑相切;利用控制系统软件,开启两束激光光源,并同时开启双臂机器人的运动,完成双束激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理加工;加工过程中实时监控红外测温仪温度监控,如发现强化处激光光斑处的温度低于750℃,实时微调激光冲击光束的光斑位置。加工过程全程视频监控;加工完成后,先关闭熔覆激光光源,然后关闭激光冲击光源。检查试验件加工情况,关闭两台激光器和相关设备。该方法可将熔覆组织结构由铸态转变为锻态,产生有益的残余压应力层,消除由于凝固冷却而产生的拉应力,有效地抑制疲劳裂纹的萌生。

[0051] 如图1、图2所示,本发明涉及一种激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,包括激光熔覆装置、激光冲击强化装置与三轴运动机床,并配有红外测温仪与视频监控,通过工控机将整个装置集成,配有自动加工和参数调用的软件。所述的激光熔覆装置包括CO₂激光器、激光熔覆头、同轴送粉装置、五轴机器人,氩气保护装置等;所述的激光冲击强化装置包括高功率YAG:Nd激光器、柔性导光臂、柔性导光整形系统;激光熔覆方式为同轴送粉激光熔覆;激光冲击强化激光器的脉冲频率为20Hz(可调)、脉冲宽度10-20ns(可调)、单脉冲能量5-30J(可调),光斑直径1-2mm(可调);激光冲击导光头与激光熔覆头同步运动;经过柔性导光臂和光束整形系统将激光束导出,照射至熔覆层表面;利用红外测温仪测试激光强化光束所在位置的熔覆层温度,保证其表面温度在750-800℃之间;控制系统可实现全程的自动化闭环控制与工艺数据库的保存和调取。本发明适用于调控激光熔覆后熔覆层组织和残余应力,覆层金属表面产生较大的塑性变形,组织结构由铸态转变为锻态,产生有益的残余压应力层,消除由于凝固冷却而产生的拉应力,有效地抑制疲劳裂纹的萌生,实现激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理。

[0052] 本发明涉及一种激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理装置,包括激光熔覆装置、激光冲击强化装置与三轴运动机床,并配有红外测温仪与视频监控,CCD定位,自动补偿。通过工控机将整个装置集成,配有自动加工和参数调用的软件。

[0053] 激光熔覆装置包括CO₂激光器、激光熔覆头、同轴送粉装置、五轴机器人,氩气保护装置等;CO₂激光器激光功率3KW-6KW、光斑直径2mm、熔覆速度、离焦量10mm、送粉速度大于600m/s、扫描速度1-20mm/s、预热温度。

[0054] 激光熔覆采用的是同轴送粉激光熔覆,送粉过程要求准确、均匀、稳定、可控,有利于规则的熔覆层外貌形成并提高熔覆质量,同时提高加工效率降低加工成本。

[0055] 激光冲击强化装置包括高功率YAG:Nd激光器、关节式柔性导光臂;其中,关节式柔性导光臂为现有技术,包括柔性金属管、万向接头(内置光路整形镜片如全反射镜等)、光束聚焦输出激光头等。用于被动移动并内部传导激光。

[0056] 激光冲击强化用激光器的脉冲频率为20Hz(可调)、脉冲宽度10-20ns(可调)、单脉冲能量5-30J(可调),光斑直径1-2mm(可调);

[0057] 激光冲击强化激光器的脉冲频率为20Hz,由于激光熔覆冷却速度极快,冷却到800℃大约需要0.6s左右,本发明所用激光器的重复频率可满足时间0.6s的加工的需求。

[0058] 激光冲击导光头与激光熔覆头同步运动;

[0059] 激光冲击强化经过柔性导光臂和光束整形系统将激光束导出,照射至熔覆层表面;

[0060] 激光产生的冲击波是由高功率激光辐照诱导熔覆冷却过程中形成的氧化层(氧化层作为牺牲层),产生等离子冲击波,冲击波的峰值强度大于材料表面的屈服强度,导致熔覆层表面发生塑性变形,引入残余压应力。

[0061] 激光强化约束层有利用永磁体对激光诱导产生的等离子体中的正离子进行约束,使其吸附在试验件表面,约束等离子体冲击波防止其向外扩散,增强冲击波对熔覆表层的作用效果。

[0062] 红外测温仪测试是用来实时测量激光强化光束所在位置的熔覆层温度,保证其表面温度在800-850℃之间,该温度为金属锻造温度,在该温度下变形阻力将急剧减小,变形能也得到很大改善,气孔去除率较高,易发生晶粒细化。通过控制系统调控使冲击激光束作用区域在该温度范围内。

[0063] 控制系统可实现全程的自动化闭环控制与工艺数据库的保存和调取。

[0064] 操作系统软件主要功能包括:激光熔覆工艺参数的设定、激光熔覆激光器的启停、激光熔覆机械臂的运动轨迹实现、激光冲击工艺参数的设定、激光冲击激光器的启停、激光冲击机械臂的运动轨迹实现、温度读取、加工轨迹规划、视频监控、工艺数据库的保存和调取等。

[0065] 该设备的操作流程如下:

[0066] 第一步:根据粉末材料和加工需求,设定激光熔覆工艺参数,包括激光功率、光斑直径、熔覆速度、离焦量、送粉速度、扫描速度、预热温度;

[0067] 第二步:根据强化效果和加工需求,设定激光冲击强化的工艺参数,包括脉冲频率、脉冲宽度、单脉冲能量,光斑直径;

[0068] 第三步:设计加工路径,并对其进行轨迹进行模拟矫正;调控双臂机器人(激光熔覆激光头夹持机器人、激光冲击强化柔性导光臂夹持机器人)的运动速度与运动轨迹,使其保持同步运动。

[0069] 第四步:预开启激光熔覆同轴送粉装置、保护气路、激光熔覆激光。开启激光熔覆指示光,然后将激光熔覆激光头运动到指定位置;将永磁体移动到指定位置,开启红外测温仪。

[0070] 第五步:预开启激光冲击用激光器、冷却循环系统。开启指示光,将激光冲击用柔性导光臂运动到制定位置,并将其设定为运动起始位置。调整两束光斑的相对位置,一般情况下两束激光光斑相切。

[0071] 第六步:利用控制系统软件,开启两束激光光源,并同时开启双臂机器人的运动,完成双束激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理加工。

[0072] 第七步:加工过程中实时监控红外测温仪温度监控,如发现强化处激光光斑处的温度低于750℃,实时微调激光冲击光束的光斑位置。加工过程全程视频监控。

[0073] 第八步:加工完成后,先关闭熔覆激光光源,然后关闭激光冲击光源。检查试验件加工情况,然后关闭两台激光器和相关设备。

[0074] 如图5所示,一种激光同轴送粉熔覆层激光微锻造方法,包括逐点测试激光熔覆的过程中周围的温度,寻找锻造温度的指定位置(与激光熔覆用激光光束的相对位置);预处

理阶段,利用红外测温仪测试激光熔覆逐点温度(0.03 μm 一点),自动生成熔覆温度场曲线分布图,标定锻造温度(800 $^{\circ}\text{C}$ 左右)温度位置,将激光冲击光斑中心指定到该位置。

[0075] (1) 根据金属粉末和加工需求,设定激光熔覆的工艺参数(激光功率、光斑直径、熔覆速度、离焦量、送粉速度、扫描速度、预热温度);

[0076] (2) 根据强化效果和加工需求,设定激光冲击强化的工艺参数,激光冲击强化激光器的脉冲频率为20Hz(可调)、脉冲宽度10-20ns(可调)、单脉冲能量5-30J(可调),光斑之间1-2mm(可调);

[0077] (3) 根据加工需要和参数选取,设计加工路径,并对其进行轨迹进行模拟矫正;

[0078] (4) 调控双臂机器人(激光熔覆激光头夹持机器人、激光冲击强化柔性导光臂夹持机器人)的运动速度与运动轨迹,使其保持同步运动;

[0079] (5) 预开启激光熔覆同轴送粉装置、保护气路、激光熔覆激光。

[0080] (6) 开启激光熔覆指示光,然后将激光熔覆激光头运动到指定位置;

[0081] (7) 将永磁体移动到指定位置,强磁场的约束使激光诱导产生的等离子体(正离子、负离子)分离,形成一种透明带电的等离子体约束层,主要作用是约束产生的等离子体冲击波,增强冲击波对靶材的作用效果;

[0082] (8) 开启红外测温仪,实时监控冲击激光束处的温度;

[0083] (9) 预开启激光冲击用激光器、冷却循环系统。

[0084] (10) 开启指示光,将激光冲击用柔性导光臂运动到制定位置,并将其设定为运动起始位置。

[0085] (11) 调整两束光斑的相对位置,一般情况两束激光光斑相切;

[0086] (12) 利用控制系统软件,开启两束激光光源,并同时开启双臂机器人的运动,完成双束激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理加工;

[0087] (13) 加工过程中实时监控红外测温仪温度监控,如发现强化处激光光斑处的温度低于750 $^{\circ}\text{C}$,实时微调激光冲击光束的光斑位置。

[0088] (14) 加工过程全程视频监控;

[0089] (15) 加工完成后,先关闭熔覆激光光源,然后关闭激光冲击光源。

[0090] (16) 检查试验件加工情况,关闭两台激光器和相关设备。

[0091] 所述的激光冲击激光束的脉冲频率满足如下时间尺度,由于激光熔覆冷却到锻造温度(700 $^{\circ}\text{C}$ 左右)的时间极短(约0.6~0.8s左右),因此激光冲击强化激光器的脉冲频率达到10Hz以上。如图3所示。

[0092] 如图4所示,激光冲击光斑选择标准:在加工前利用红外测温仪测定按照加工轨迹和对激光熔覆相对位置与温度之间的关系,并绘制位置-温度曲线,在纵坐标找到800 $^{\circ}\text{C}$ 对应的位置,该位置应为激光冲击光斑的中心位置,以此确定强化光斑与熔覆光斑的相对位置。

[0093] 所述的激光冲击过程是通过激光熔覆金属粉末熔融后冷却过程中形成的氧化层作为激光熔覆的牺牲层,当短脉冲、高峰值功率密度激光冲击激光束的辐射金属表面,产生高温、高压的等离子体,形成高强度压力冲击波,导致工件表面发生超高应变率塑性形变。

[0094] 所述的激光冲击强化约束层,是通过强磁场约束使激光诱导产生的等离子体(正离子、负离子)分离,形成一种透明带电的等离子体约束层,主要作用是约束产生的等离子

体冲击波,增强冲击波对靶材的作用效果。

[0095] 该方法是通过调整工艺参数和运动机构调控零件表层的强度及应力状态,进而能够调控零件的综合性能,引入残余压应力(大小可控)、引发表面组织晶粒细化(厚度可控);激光冲击部位得以强化,有效的调控裂纹、气孔、夹杂等缺陷,从而达到提高材料机械性能的目的。可将熔覆组织结构由铸态转变为锻态,产生有益的残余压应力层,消除由于凝固冷却而产生的拉应力,有效地抑制疲劳裂纹的萌生。

[0096] 本发明公开了一种激光同轴送粉熔覆层激光微锻造方法具体如下:

[0097] 试验参数的选定:

[0098] 逐点测试激光熔覆的过程中周围的温度,寻找锻造温度的指定位置;预处理阶段,利用红外测温仪测试激光熔覆逐点温度(间距 $0.03\mu\text{m}$),自动生成熔覆温度场曲线分布图,标定锻造温度(800°C 左右)温度位置,将激光冲击光斑中心指定到该位置。

[0099] 根据金属粉末和加工需求,设定激光熔覆的工艺参数(激光功率、光斑直径、熔覆速度、离焦量、送粉速度、扫描速度、预热温度);

[0100] 根据强化效果和加工需求,设定激光冲击强化的工艺参数(脉冲频率、脉冲宽度、单脉冲能量,光斑直径);

[0101] 激光冲击激光束的脉冲频率满足如下时间尺度,由于激光熔覆冷却到锻造温度(700°C 左右)的时间极短(约 $0.6\sim 0.8\text{s}$ 左右),激光冲击强化激光器的脉冲频率应达到 10Hz 以上。

[0102] 加工路径规划:

[0103] 加工路径规划包括:建立加工模型、加工轨迹自动规划、仿真模型的导入与生成、参数优化策略的制定,离线编程系统通过软件在电脑里重建整个工作场景的三维虚拟环境,借助软件的动作指令控制机器人在虚拟环境里的运动,生成激光冲击强化的运动控制指令,再经过软件仿真与调整轨迹生成机器人程序,输入到机器人控制器中。开发的激光冲击强化加工离线编程系统具有编程智能化、操作简单、节约在线整定时间等优势,适应自动化生产要求。

[0104] 加工预准备:

[0105] 调控双臂机器人(激光熔覆激光头夹持机器人、激光冲击强化柔性导光臂夹持机器人)的运动速度与运动轨迹,使其保持同步运动;

[0106] 开启激光熔覆同轴送粉装置、保护气路、激光熔覆激光。

[0107] 开启激光熔覆指示光,然后将激光熔覆激光头运动到指定位置;

[0108] 将永磁体移动到指定位置,开启红外测温仪;

[0109] 预开启激光冲击用激光器、冷却循环系统。

[0110] 开启指示光,将激光冲击用柔性导光臂运动到制定位置,并将其设定为运动起始位置。

[0111] 开始加工:

[0112] 调整两束光斑的相对位置,一般情况两束激光光斑相切;

[0113] 利用控制系统软件,开启两束激光光源,并同时开启双臂机器人的运动,完成双束激光诱导等离子冲击熔覆层的复合表面处理加工;

[0114] 加工过程中实时监控红外测温仪温度监控,如发现强化处激光光斑处的温度低于

750℃,实时微调激光冲击光束的光斑位置。

[0115] 加工过程全程视频监控,监测功能主要体现为激光冲击加工相关参数的实时显示和记录,从而使操作人员可以实时观测激光加工系统的当前运行数据。该模块分别对激光器和机器人实行监测,分别包括控制管理子模块、数据通信子模块、故障处理子模块、数据处理子模块等。报警功能可以实现激光器报警、冷却水装置报警以及机器人报警功能。

[0116] 加工完成后,先关闭熔覆激光光源,然后关闭激光冲击光源。检查试验件加工情况,关闭两台激光器和相关设备。

[0117] 时间尺度要求:

[0118] 激光冲击激光束的脉冲频率满足如下时间尺度,由于激光熔覆冷却到锻造温度(700℃左右)的时间极短(约0.6~0.8s左右),激光冲击强化激光器的脉冲频率应达到10Hz以上。

[0119] 空间尺度要求:

[0120] 保证两束激光的相对距离和随同运动精度。

[0121] 激光冲击吸收层的材质和厚度:

[0122] 激光冲击过程是通过激光熔覆金属粉末熔融后冷却过程中形成的氧化层作为激光熔覆的牺牲层,当短脉冲、高峰值功率密度激光冲击激光束的辐射金属表面,产生高温、高压的等离子体,形成高强度压力冲击波,导致工件表面发生超高应变率塑性形变。

[0123] 激光冲击约束层要求:

[0124] 激光冲击强化约束层,是通过强磁场约束使激光诱导产生的等离子体(正离子、负离子)分离,形成一种透明带电的等离子体约束层,主要作用是约束产生的等离子体冲击波,增强冲击波对靶材的作用效果;

[0125] 实施例1

[0126] 本发明针对Ti合金粉末熔覆层激光微锻造进行较优条件为:

[0127] 根据Ti合金金属粉末和加工需求,设定激光熔覆的工艺参数:

[0128] 激光功率2kW、光斑直径3mm、扫描速度10mm/s、预热温度500℃,高纯氩气保护);

[0129] 根据Ti合金强化效果和加工需求,设定激光冲击强化的工艺参数:

[0130] 脉冲频率15Hz、脉冲宽度14ns、单脉冲能量7J、光斑直径2mm;

[0131] 经过为了对比激光熔覆后冲击未冲击的调控残余应力效果,本发明还针对相同处理的试样在激光熔覆后未冲击情况下的性能,工艺参数相同,并与进行对比,对其进行显微硬度和残余应力的测试,测试结果如下表所示:

[0132] 表一

[0133]

	显微硬度	残余应力
激光熔覆未冲击	325	265
激光熔覆冲击	378	-122

[0134] 实施例2

[0135] 本发明针对Ti合金粉末熔覆层激光微锻造进行较优条件为:

[0136] 根据Ti合金金属粉末和加工需求,设定激光熔覆的工艺参数:

[0137] 激光功率2kW、光斑直径2mm、扫描速度5mm/s、预热温度300℃,高纯氩气保护);

[0138] 根据Ti合金强化效果和加工需求,设定激光冲击强化的工艺参数:

[0139] 脉冲频率15Hz、脉冲宽度14ns、单脉冲能量7J、光斑直径2mm;

[0140] 经过为了对比激光熔覆后冲击未冲击的调控残余应力效果,本发明还针对相同处理的试样在激光熔覆后未冲击情况下的性能,工艺参数相同,并与进行对比,对其进行显微硬度和残余应力的测试,测试结果如下表所示:

[0141] 表二

[0142]	显微硬度	残余应力
[0143]	激光熔覆未冲击	287
[0143]	激光熔覆冲击	189
[0143]		306
[0143]		-165

[0144] 一种基于激光冲击强化等离子体冲击波约束方法,包括以下步骤:

[0145] (1) 高能激光(功率密度达到 10^9W/s)诱导工件表面吸收层产生等离子体冲击波,当高功率密度的激光辐照材料表面时,直接使吸收保护层气化电离,形成高温、高压的等离子体,等离子体是由带点的正离子、负离子(其中包括正离子、负离子、电子、自由基和各种活性基团组成)宏观成电中性,形成的等离子体是冲击波能量载体。

[0146] (2) 利用强磁永磁体形成强磁场(磁感应强度大于0.5T)约束激光诱导产生的等离子体(正离子、负离子)分离,使正离子附着在牺牲层(铝箔或者黑胶带)表面,形成一种带电的等离子体约束层。

[0147] (3) 从时间先后上,由于激光诱导产生的等离子体后产生冲击波,但是其时间间隔极小,可以忽略不计。

[0148] (4) 等离子体存在的时间尺度(10ms-50ms)要远大于激光脉冲宽度(10ns-50ns),利用强磁场将激光诱导产生的等离子体正负离子分离,形成一层带电的约束层,激光冲击强化时间尺度可以达到等离子体自持稳态的时空矢量场。

[0149] 所述高能激光的功率密度为 10^9W/s 。所述强磁场的磁感应强度大于0.5T。所述牺牲层为铝箔或者黑胶带。永磁体为N极或者S极。所述磁场线方向与工件表面保持一致具体为:磁场线方向与工件表面平行,且工件表面位于磁场内。

[0150] 利用永磁体,磁场线方向与试样表面保持一致,等离子体中的正离子作为约束层吸附在牺牲层表面,电子则在磁场的作用下移动另一侧。永磁体的N极与S极的位置和距离取决于试样与激光的相对位置关系。例如,永磁体为片状,分别做为N极和S极永磁体相对设置,固定于操作台上,使磁场线与试样表面平行,且试样表面位于磁场线中。

[0151] 1、以等离子体正离子作为约束层进行激光冲击强化,可有效约束等离子体冲击波向金属内部传播。

[0152] 2、以等离子体正离子作为约束层进行激光冲击强化,相比于未施加约束层的强化(残余应力约为-100MPa),可获得较深的残余应力层(残余应力约为-450MPa)。

[0153] 3、以等离子体正离子作为约束层进行激光冲击强化,与水作为约束层的强化效果基本相当(水约束强化形成的残余应力约为-500MPa)。

[0154] 4、采用磁感应强度大于0.5T的永磁体,磁感线方向平行于试样表面,使得等离子体中的正离子作为约束层吸附在牺牲层表面,电子则在磁场的作用下移动工件另一侧,实

现对激光冲击强化的等离子体冲击波的约束。

[0155] 如图6所示,利用强磁场的约束使激光诱导产生的等离子体(正离子、负离子)分离,使正离子附着在牺牲层(铝箔或者黑胶带)表面,形成一种透明带电的等离子体约束层,主要作用是约束产生的等离子体冲击波,增强冲击波对靶材的作用效果。由于等离子体存在的时间尺度要远大于激光脉冲宽度,所以利用强磁场将激光诱导产生的等离子体正负离子分离形成一层约束层。

[0156] 当功率密度大于 $10^9\text{W}/\text{cm}^2$ 时,就会出现等离子体,激光冲击强化过程属于最后一种,当高功率密度的激光辐照材料表面时,直接使吸收保护层气化电离,形成高温、高压的等离子体,等离子体是由带点的正离子、负离子(其中包括正离子、负离子、电子、自由基和各种活性基团组成)宏观成电中性,形成的等离子体是冲击波能量载体。等离子体的存在要满足一定的空间和时间矢量条件的,才能达到等离子体自持稳态的时空矢量场。

[0157] 如图7、图8所示,当高功率密度激光照射到靶材表面,表面牺牲层吸收激光能量,表面温度升高,当温度超过牺牲层气化温度时,牺牲层表面发生气化现象,并伴随物质喷射。之后,牺牲层表面和喷射物质继续吸收激光能量,导致喷射物质进一步电离,最后形成等离子体,等离子体的形成过程与激光本身因素和牺牲层表面特征有关,通过建立模型和解析,确定等离子体的作用时间在数百纳秒附近。等离子体作为物质的一种聚集状态,其空间尺度远大于德拜长度,存在时间尺度远大于等离子体响应时间,为该方法的实现提供的时间与空间的可能性。在此情况下,等离子体的机体相互作用起主要作用,在较大尺度上正负电荷大致相等,满足所谓的准中性条件,因此等离子体存在判据为:

$$[0158] \quad \text{等离子体的空间尺度 } l, l \gg \lambda_D, \lambda_D = \left(\frac{kT_e \epsilon_0}{e^2 n_e} \right)^{1/2}$$

$$[0159] \quad \text{等离子体的时间尺度 } \tau, \tau \gg \tau_p, \tau_p = \left(\frac{\lambda_D}{kT_e / m_e} \right)^{1/2}$$

$$[0160] \quad \text{等离子体参数 } \Lambda, \Lambda \gg 1, \Lambda \approx 4 \pi n_0 \lambda_D^3 \propto \left(T^3 / n_0 \right)^{1/2}$$

[0161] 其中, λ_D 表示德拜长度, τ_p 表示电子走完一个振幅所需的时间(等离子体电中性成立的最小时间尺度), k 表示玻尔兹曼常数, T 表示离子的热力学温度, e 表示电子电荷。 ϵ_0 表示真空介电常数。

[0162] Λ 表示德拜球内存在的带电粒子数, n_e 表示电子密度, m_e 表示电子质量, n_0 表示中性物质密度。

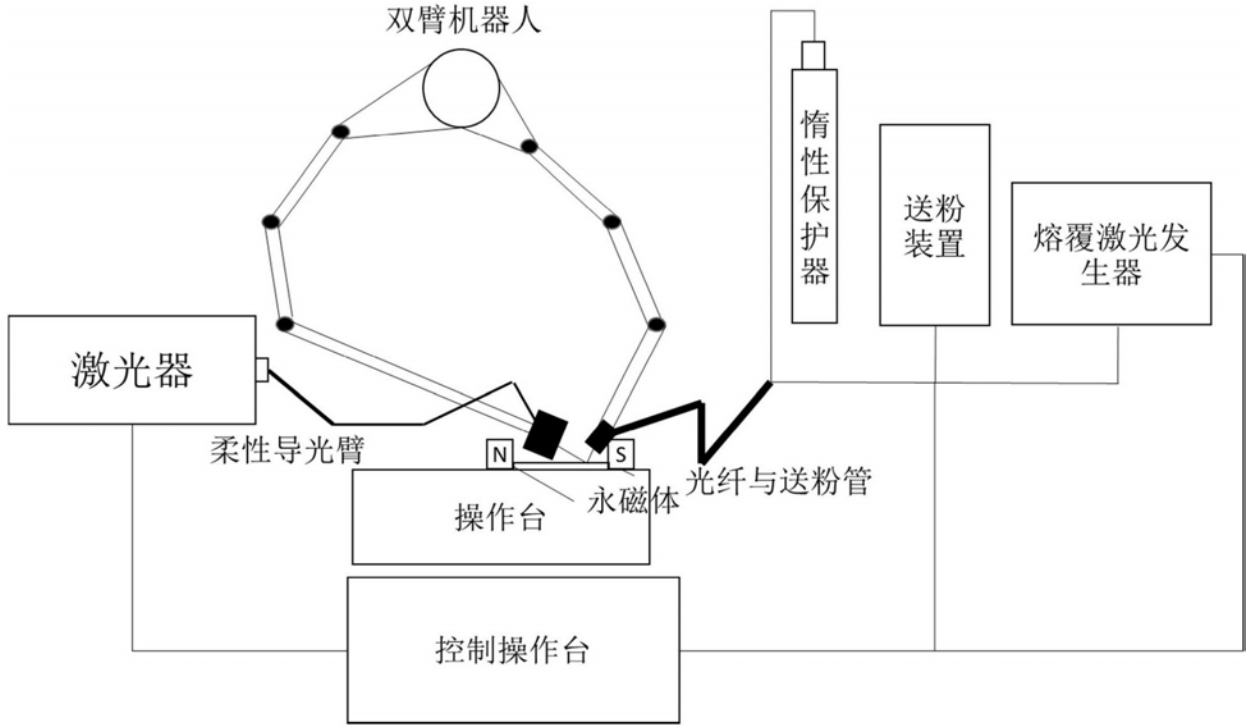


图1

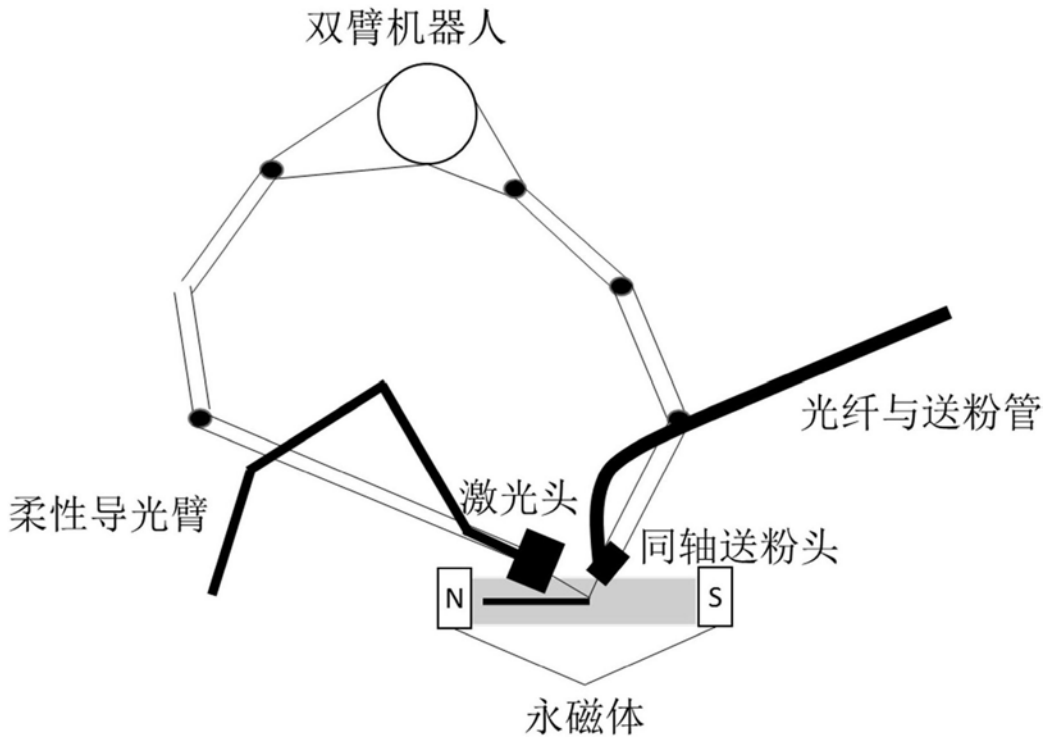


图2

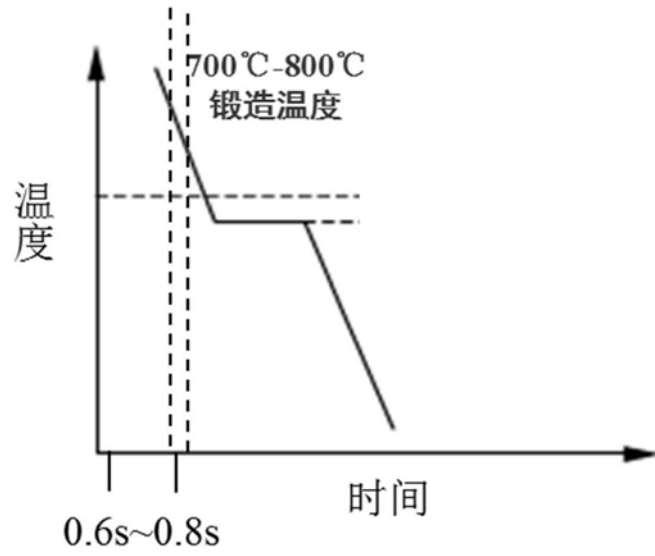


图3

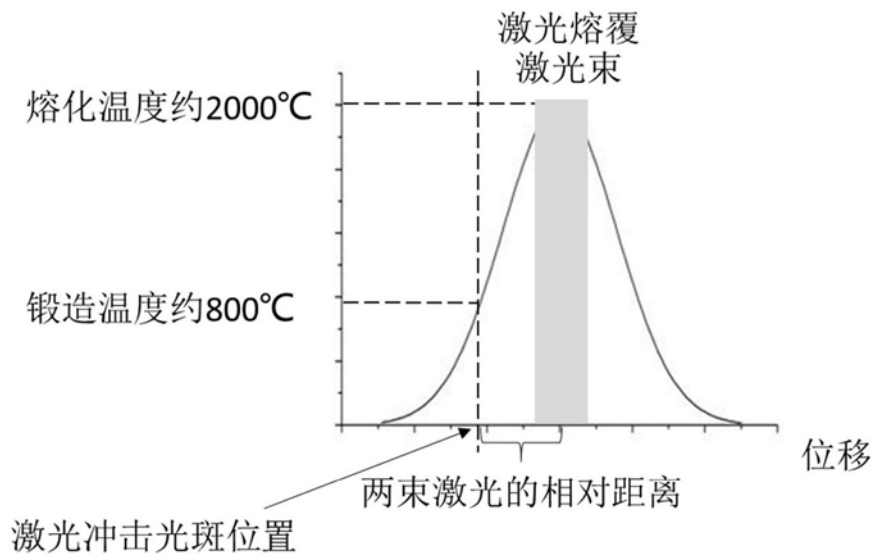


图4

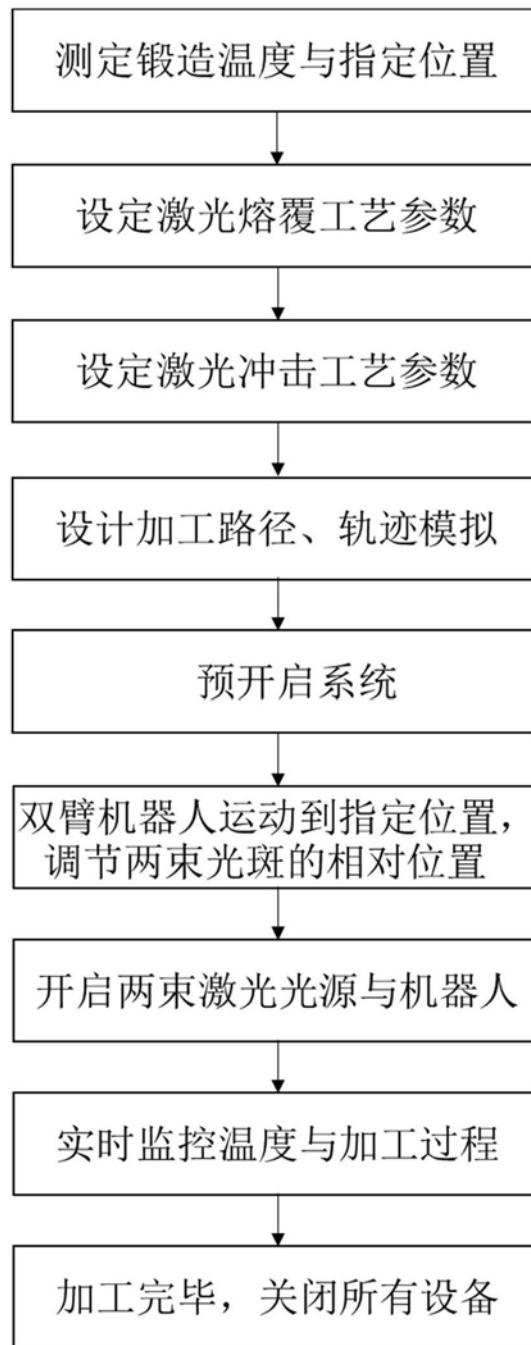


图5

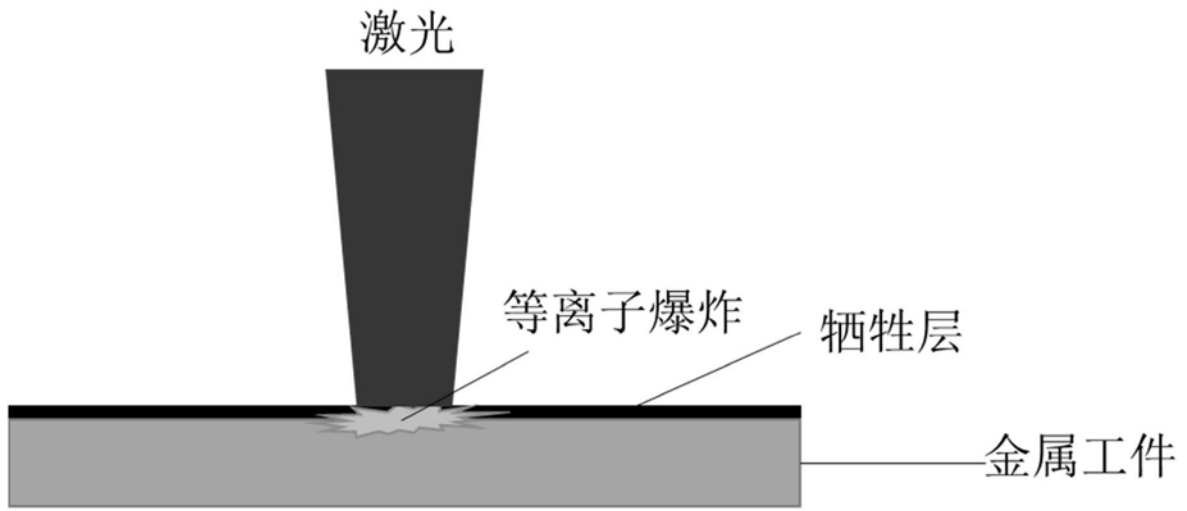


图6

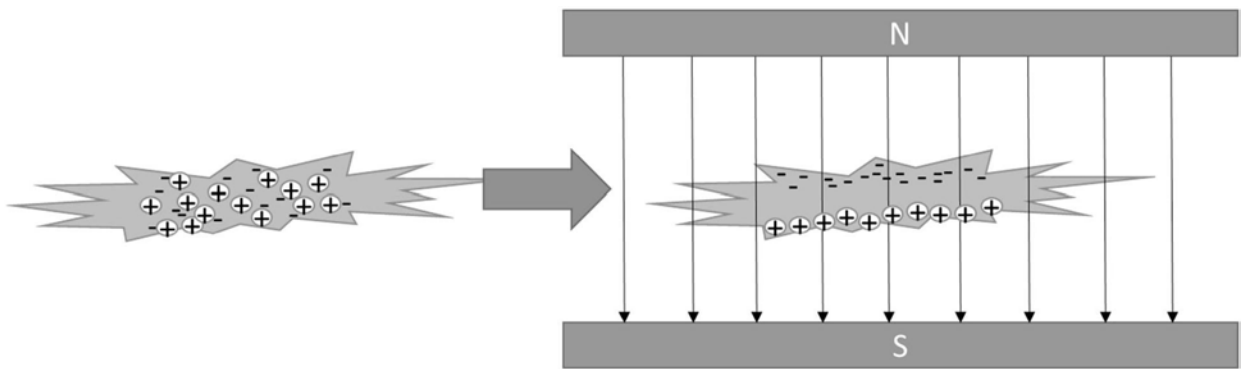


图7

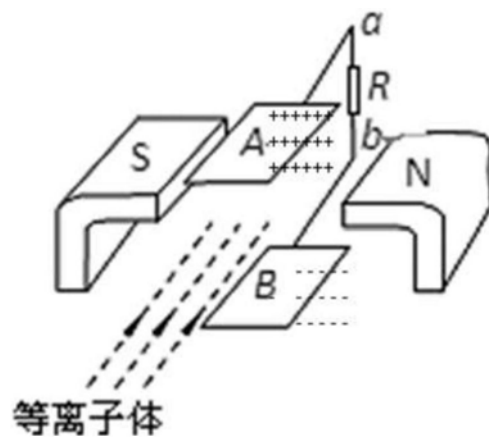


图8