



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203197472 U

(45) 授权公告日 2013. 09. 18

(21) 申请号 201220711357. 7

(22) 申请日 2012. 12. 20

(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 高明 曾晓雁 李祥友 严军  
蒋明 李耿 张臣

(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.

B23K 28/02 (2006. 01)

B23K 26/20 (2006. 01)

B23K 26/08 (2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

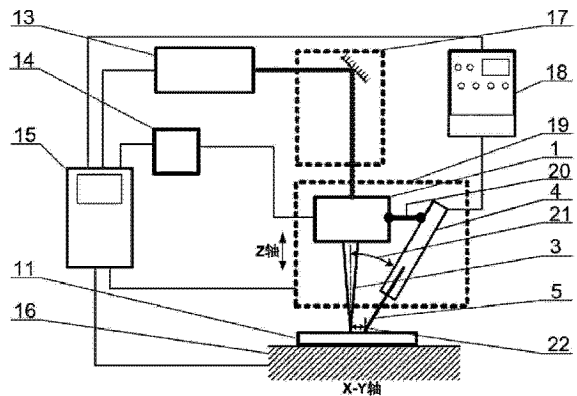
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统

(57) 摘要

本实用新型公开了一种振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统。该系统包括激光器、焊机、振镜控制器、数控系统、运动机构和复合焊接加工头；数控系统分别与激光器、焊机、振镜控制器和运动机构电信号连接，激光器通过传输镜组或传输光纤与振镜聚焦装置光连接；运动机构用于安装复合焊接加工头或工件，实现其运动；振镜控制器和振镜聚焦装置相连，用于设定和控制激光束的扫描图形、振幅和振荡频率；复合焊接加工头用于激光束和电弧的复合。与已有的激光 - 电弧复合焊接和激光扫描焊接相比，本实用新型具有更强的焊缝气孔抑制能力，并提高焊缝强度。



1. 一种振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统,该系统包括激光器、焊机、振镜控制器、数控系统、运动机构和复合焊接加工头;

所述数控系统分别与激光器、焊机、振镜控制器和运动机构电信号连接,激光器通过传输镜组或传输光纤与振镜聚焦装置光连接;所述运动机构用于安装复合焊接加工头或工件,实现其运动;所述振镜控制器和振镜聚焦装置相连,用于设定和控制激光束的扫描图形、振幅和振荡频率;所述复合焊接加工头用于激光束和电弧的复合。

2. 根据权利要求1所述的振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统,其特征在于,所述复合焊接加工头采用旁轴结构,包括振镜聚焦装置、电弧焊枪和调节装置;调节装置用于调节激光束和电弧焊枪的夹角,以及激光 - 电弧间距,调节装置的一端固定于振镜聚焦装置,另一端安装电弧焊枪;所述振镜聚焦装置内安装有用于激光束聚焦和振荡扫描的振镜镜组。

3. 根据权利要求1或2所述的振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统,其特征在于,所述运动机构为三轴工作台或机器人。

## 一种振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型复合焊接技术,具体涉及一种振荡扫描激光束 - 电弧复合焊接系统,尤其适用于金属材料的激光束 - 电弧复合焊接。

### 背景技术

[0002] 激光 - 电弧复合焊接利用激光、电弧两个热源之间的相互作用,具有更好的焊接特性,兼具激光焊接熔深大、接头质量好、效率高、变形小和电弧焊接桥联性好、复杂环境适应能力强的优点,是当前最令人瞩目的金属材料连接技术之一。但是,电弧和激光在焊接特性上的显著差异造成激光 - 电弧复合焊缝在焊缝成形和接头组织均匀性上仍然存在一系列需要克服的技术难题。具体来说,电弧的低能量密度及其热传导特性导致电弧热量主要积聚焊缝的上半部分,由此造成复合焊缝上半部分宽大、晶粒粗大、热影响区宽大,表现出明显的电弧焊缝特征;而焊缝的下半部分区域仍然主要由高能密度的激光深熔焊接来熔化成形成,造成焊缝下半部分细窄、晶粒相对细小、热影响区较窄,表现出明显的激光深熔焊特征。这些成形和微观组织上的不均匀性增加了激光 - 电弧复合焊缝的应力集中程度,对其强韧性,尤其是疲劳强度会产生不利影响。

[0003] 对已有的激光 - 电弧复合焊接技术来说,焊接铝合金、镁合金、钛合金等轻质合金时容易因激光小孔不稳定而形成焊缝气孔,这一问题在很大程度上制约了该技术在工业领域,尤其是轻质合金结构制造领域的应用和发展。通常来说,激光焊接形成的小孔内部处于一种动态振动状态,小孔内部和其周围熔池的活动非常剧烈。对于轻质合金来说,其中的镁、铝、锌等低熔点、高沸点元素容易因为激光小孔内部的高温环境蒸发而增加激光小孔的不稳定性,由此造成激光小孔闭合形成气泡并形成焊缝气孔,大幅度降低激光焊缝的力学性能。已有的激光 - 电弧复合焊接能够通过电弧介入,并依靠激光 - 电弧相互作用在一定程度上提高激光小孔稳定性,强化熔池流动并提高气泡的逸出能力,从而降低焊缝气孔。但是,在激光 - 电弧复合焊接中,电弧低能量密度的特性决定了电弧的影响难以通过激光 - 电弧相互作用深入熔池下部,导致复合焊接熔池下半部分的流动仍然由激光小孔所主导,基本保持了激光焊接特性,导致该部位的气孔形成倾向仍然很大,这一点在激光 - 电弧复合焊接中厚板时更为显著。综合而言,尽管已有的激光 - 电弧复合焊接技术具有明显优于单一激光和电弧工艺的技术优势,但是在轻质合金焊缝气孔问题上仍然有很大的局限性,从而限制了其应用空间。

[0004] 专利文献 CN1559743A 公开了一种大功率激光旋转扫描焊接方法。该实用新型通过机器人带动激光焊接头运动并使激光束产生旋转,焊件则由另一传动轴带动做直线运动,两个运动相结合形成激光扫描焊接。在低碳钢材料的激光摆动焊接研究中发现:激光束的摆动扫描行为能降低熔池温度梯度、增强对熔池流动的搅拌作用,促进熔池非自发生核、改变柱状晶择优生长方向、细化晶粒、降低焊缝气孔并最终提高接头强韧性。存在的问题是,由机器人或其他机械方式驱动的激光束扫描运动实施难度大,不仅响应时间慢、振动频率过低、稳定性差、激光束扫描路径单一,而且实施该工艺的结构复杂,因此该技术的研究

与应用程度都非常有限。

[0005] 激光振镜是当前最有效的激光振荡扫描技术,它通过镜组中光学镜片的偏转来实现激光束快速定位和位置切换,定位和切换时间几乎为零,振荡频率可达 5000Hz,而且扫描路径可通过计算机程序任意规划,从而能够克服上述激光束机械振动技术的缺点,发挥激光扫描焊接的技术优势。激光振镜扫描焊接能够通过激光束的振荡扫描细化焊缝晶粒、降低裂纹倾向、提高接头强度,但是因为激光焊接熔池过窄、凝固速度过快,以及激光小孔不稳定的特性,该工艺抑制气孔的能力相对有限,焊缝气孔倾向仍然很大,无法满足铝合金、镁合金、钛合金等轻质合金结构的焊接需求。

### 实用新型内容

[0006] 本实用新型的目的在于提供一种振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统,本实用新型可以均匀化焊缝宏观和微观结构、细化晶粒、降低焊缝缺陷,从而提高焊缝的强韧性,焊接能力优于已有的单一工艺。

[0007] 本实用新型提供的一种振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统,该系统包括激光器、焊机、扫描振镜及其控制器、数控系统、运动机构和复合焊接加工头;

[0008] 所述数控系统分别与激光器、焊机、扫描振镜及其控制器和运动机构电信号连接,激光器通过传输镜组或传输光纤与振镜聚焦装置光连接;所述运动机构用于安装复合焊接加工头或工件,实现其运动;所述振镜控制器和振镜聚焦装置相连,用于设定和控制激光束的扫描图形、振幅和振荡频率;所述复合焊接加工头用于激光束和电弧的复合。

[0009] 在近二十多年里,激光-电弧复合焊接和激光扫描焊接技术都在各自领域取得了迅速发展和显著进步,但是也都存在如上所述的不足之处。本实用新型提出集成这两种方式。这样能够在继续保留两种工艺技术优势的同时,再通过两者的相互作用产生的新物理效应和作用机制,弥补单一工艺的不足,形成增强的加工效果和焊接能力。这是本实用新型提出的核心所在。本实用新型所述的振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统的创新之处和技术优势在于:本实用新型系统可以将激光-电弧复合焊接和激光扫描焊接两种工艺相结合,在继续保留两种工艺技术优势的同时,还能优势互补,产生新的复合效应,形成  $1+1 > 2$  的加工效果,在均匀化焊缝宏观成形、细化晶粒、抑制焊接缺陷方面具有更优异的技术能力,可以提高金属材料焊接特性和焊接质量。本实用新型所述的振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统适用于包括钢材、铝合金、钛合金、钛合金在内的几乎所有金属材料焊接结构的高质量制造,可以大幅度提高生产效率、减少制造成本,是一种绿色环保、高效清洁的先进制造技术。

### 附图说明

[0010] 图 1 是振荡扫描激光束-电弧复合焊接的原理图。

[0011] 图 2 是激光束振荡扫描的 X-Y-Z 坐标示意图。

[0012] 图 3a、图 3b、图 3c 是激光束扫描的典型图形和实际焊接轨迹。

[0013] 图 4 是基于三轴工作台的振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统。

[0014] 图 5 是基于机器人的振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统。

[0015] 图中,1. 振镜聚焦装置,2. 振镜镜组,3. 激光束,4. 电弧焊枪,5. 焊丝或钨针,

6. 焊缝,7. 实际焊接轨迹,8. 电弧,9. 电弧作用点,10. 拼缝,11. 工件,12. 激光束振荡扫描图形,13. 激光器,14. 振镜控制器,15. 数控系统,16. 三轴工作台,17. 传输镜组,18. 焊机,19. 复合焊接加工头,20. 调节装置,21. 激光束和电弧焊枪夹角,22. 激光-电弧间距(激光束中心和焊丝或钨针尖端的间距),23. 机器人,24. 传输光纤。

### 具体实施方式

[0016] 本实用新型基于试验发现、理论研究和工程实践,提供一种适用于金属材料的振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统。本实用新型能够在保持激光-电弧复合焊接和激光扫描焊接技术优势的同时,产生新的复合效应,从而具备增强的加工效果和焊接能力。

[0017] 如图 1 所示,振荡扫描激光束-电弧复合焊接方法具体包括下述步骤:

[0018] 第 1 步调节激光和电弧的空间位置,使两者位于有效复合范围内。其中,激光束和电弧焊枪夹角 21 的调节范围为  $20^{\circ}$ - $50^{\circ}$ ,优选范围为  $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$ ;激光-电弧间距 22 的调节范围为 0.5-6mm,优选范围为 1-4mm;激光束离焦量的调节范围为 -4-4mm,优选范围为 -2-2mm。

[0019] 第 2 步激光束 3 和电弧 8 按照设定参数共同作用于工件 11 并形成一焊接熔池,开始实施振荡扫描激光束-电弧复合焊接,形成焊缝并完成材料焊接。此时,激光束和电弧一起跟随复合焊接加工头在大范围空间内沿拼缝作直线或曲线运动;与此同时,激光束围绕电弧作用点在局部微小范围内做振荡扫描运动,通过激光束的振荡扫描行为强化激光-电弧相互作用(包括等离子体协同效应和焊接熔池内的热流耦合效应),促进熔滴过渡、提高电弧稳定性、增强熔池对流,从而均匀化焊缝成形、细化晶粒、抑制焊缝气孔等冶金缺陷并提高焊缝强韧性。

[0020] 在此步骤中,激光功率范围为 500-20000W,优选范围为 3000-10000W;电弧电流范围为 30-500A,优选范围为 150-320A;焊接速度(复合焊接头带动激光束和电弧在大范围空间内的移动速度)的范围为 0.2-30m/min,优化范围为 2-6m/min。根据图 2 所示的坐标系,激光束振荡扫描的位移范围为:X 轴方向 -4-8mm,优化范围为 -2-3mm;Y 轴方向 -10-10mm,优化范围为 -5-5mm;Z 轴方向 -5-5mm,优化范围为 -2-2mm。激光束的振荡频率为 5-2000Hz,优化范围为 20-500Hz。上述振荡扫描激光束在 X-Y-Z 轴的位移参数确定后,激光束振荡扫描图形 12 为如图 3a,图 3b 和图 3c 所示的直线、圆形、三角形等几何形状。

[0021] 通过优选激光束围绕电弧作用点在局部微小范围内振荡扫描的位移参数,可以控制激光束在电弧电流处于峰值阶段时靠近熔滴,通过光致等离子体对熔滴的热辐射作用帮助熔滴脱离焊丝;激光束在熔滴脱离焊丝的瞬间远离熔滴落点位置,从而提高电弧熔滴过渡的稳定性。另一方面,调节激光束振荡频率和上述位移振幅能够调控激光束在焊接熔池内的搅拌强度,并调控焊接熔池内液态金属的流动方向,增强复合焊接熔池内,尤其下半部分液态金属的流动,从而均匀化焊缝成形、细化晶粒,解决已有激光-电弧复合焊接工艺的焊缝上半部分晶粒粗化问题,并抑制焊缝气孔缺陷,最终提高焊缝强韧性。

[0022] 如图 4 和图 5 所示,本实用新型所述振荡扫描激光束-电弧复合焊接系统的主要装置为:激光器 13、焊机 18、振镜控制器 14、数控系统 15、运动机构、传输镜组 17 或传输光纤 24、复合焊接加工头 19。

[0023] 所述数控系统 15 分别与激光器 13、焊机 18、振镜控制器 14、运动机构的通讯组件相连,用于这些设备的开启和关闭,以及工艺参数的设定和程序编制。运动机构为三轴工作

台 16 或机器人 23。所述激光器 13 为 CO<sub>2</sub> 气体激光器或光纤、DISC、Nd:YAG 等固体激光器中的一种,用于产生激光束 3,激光束以连续或脉冲方式输出。所述传输镜组 17 或传输光纤 24 用于激光束的传输,一端和激光器 13 相连,另一端和振镜聚焦装置 2 相连。所述焊机 18 为熔化极气体保护焊机、钨极氩弧焊机、等离子体弧焊机等焊机的一种,用于产生电弧 8。所述三轴工作台 16 或机器人 23 用于实现复合焊接加工头 19 或工件 11 在大范围空间内的运动。所述振镜控制器 14 和振镜聚焦装置 1 相连,用于设定和控制激光束 3 的扫描图形、振幅、振荡频率。

[0024] 所述复合焊接加工头 19 安装在三轴工作台 16 或机器人 23 上,用于集成振镜聚焦装置 1 和电弧焊枪 4,调节两者的相对位置,保证振荡扫描激光束 3 和电弧 8 的有效复合。

[0025] 复合焊接加工头 19 采用旁轴结构,包括振镜聚焦装置 1、电弧焊枪 4、调节装置 20。调节装置 20 的一端固定于振镜聚焦装置 1,另一端安装电弧焊枪 4,它通过滑轨和旋转机构调节激光束和电弧焊枪的夹角 21,以及激光-电弧间距 22。所述振镜聚焦装置 1 内安装有振镜镜组 2,振镜镜组用于激光束的聚焦和振荡扫描。所述电弧焊枪 4 内装有焊丝或钨针 5,焊丝或钨针 5 的尖端和工件表面相接触的交点即为电弧作用点 9,电弧作用点 9 用于确定激光-电弧间距 22,以及设定激光束振荡扫描参数的参考位置。

[0026] 本实用新型系统的工作过程为:

[0027] 第 1 步,通过调节装置 20 调节激光束 3、电弧焊枪 4 和工件 11 的相对位置,保证激光和电弧在空间上位于有效复合范围内。

[0028] 第 2 步,通过数控系统 15 设定激光功率、电弧电流和焊接速度;同时通过振镜控制器 14 设定激光束 3 振荡扫描的位移和频率。

[0029] 第 3 步,按照上述设定参数开启激光器 13 和焊机 18,产生激光束和电弧,实施振荡扫描激光束-电弧复合焊接任务,形成焊缝 6,实际焊接轨迹 7 为激光束和电弧共同沿拼缝 10 进行的宏观运动和激光束围绕电弧作用点 9 振荡扫描的微观运动叠加而成的复杂曲线。

[0030] 图 4 所示系统尤其适用于直缝和环缝结构的振荡扫描激光束-电弧复合焊接。图 5 所示系统尤其适用于三维曲面复杂结构的振荡扫描激光束-电弧复合焊接。

[0031] 实施例 1

[0032] 工件材料为 8mm 厚度的 6082-T6 变形铝合金,焊接方式为平板拼焊。

[0033] 在本实施例中,操作平台为六轴机器人系统,激光光源为 10000W 光纤激光器,电弧热源为 500A 脉冲数字控制熔化极惰性气体焊机,激光束通过光纤传输至振镜,振镜焦距为 300mm。

[0034] 本实施例振荡激光束-电弧复合焊接的工艺参数为:激光束和电弧焊枪的夹角为 30°,激光-电弧间距为 4mm,激光束离焦量为 -2mm,激光功率为 10000W,电弧电流为 320A,焊接速度为 6m/min;激光束在 X 方向的振荡扫描位移范围为 -2-3mm,在 Y 轴方向的扫描位移为 -5-5mm,在 Z 轴方向的扫描位移为 -2-2mm,振荡频率为 500Hz。

[0035] 采用上述工艺参数焊接完成后(采用直径 1.6mm 的 5087 铝镁焊丝),所得焊缝成形美观饱满,无咬边、气孔、裂纹等缺陷,焊缝抗拉强度为 270MPa,比已有的激光-电弧复合焊接工艺提高 25%。在循环次数 107 次、置信度 95% 的情况下,本实用新型所得焊缝的疲劳强度为 120MPa,比已有的激光-电弧复合焊接工艺提高 20%,比已有的激光扫描焊接工艺提高

50%。实施例 2

[0036] 工件材料为 2mm 厚度的 AZ31B 变形镁合金,焊接方式为平板拼焊。

[0037] 在本实施例中,操作平台为六轴机器人系统,激光光源为 2000W 的 DISC 激光器,电弧热源为 200A 钨极氩弧焊机,激光束通过光纤传输至振镜,振镜焦距为 250mm。

[0038] 本实施例振荡激光束-电弧复合焊接的工艺参数为:激光束和电弧焊枪的夹角为  $40^\circ$ ,激光-电弧间距为 1mm,激光束离焦量为 2mm,激光功率为 500W,电弧电流为 150A,焊接速度为 2m/min,激光束在 X 方向的振荡扫描位移为 -1-2mm,在 Y 轴方向的扫描位移为 -3-3mm,在 Z 轴方向的扫描位移为 -1-1mm,振荡频率为 20Hz。

[0039] 采用上述工艺参数焊接完成后,所得到的焊缝成形美观饱满,无咬边、气孔、裂纹等焊接缺陷。在拉伸测试中,标准试样断裂于母材位置;采用在焊缝位置开缺口方式测得的焊缝实际抗拉强度为 265MPa,比已有的激光-电弧复合焊接工艺提高 10%,比已有的激光扫描焊接工艺提高 30%。

[0040] 实施例 3

[0041] 工件材料为 5mm 厚度的 TC4 钛合金圆筒,焊接方式为环缝拼接。

[0042] 在本实施例中,操作平台为三轴数控加工平台,激光光源为 8000W 的  $\text{CO}_2$  板条激光器,电弧热源为 500A 脉冲数字控制熔化极惰性气体焊机,激光束通过光学传输镜组传输至振镜,振镜焦距为 400mm。

[0043] 本实施例振荡激光束-电弧复合焊接的工艺参数为:激光束和电弧焊枪的夹角为  $35^\circ$ ,激光-电弧间距为 2.5mm,激光束离焦量为 0,激光功率为 4000W,电弧电流为 200A,焊接速度为 2.5m/min,激光束在 X 方向的振荡扫描位移为 -1-1mm,在 Y 轴方向的扫描位移为 -3-3mm,在 Z 轴方向的扫描位移为 -2-2mm,振荡频率为 200Hz。

[0044] 上述实施例为本实用新型的较佳实施方式,但本实用新型的实施方式并不受上述实施例的限制。其它任何未背离本实用新型精神实质及原理所做的改变、修饰、替代、组合、简化,均应视为等效置换方式,包含在本实用新型保护范围之内。

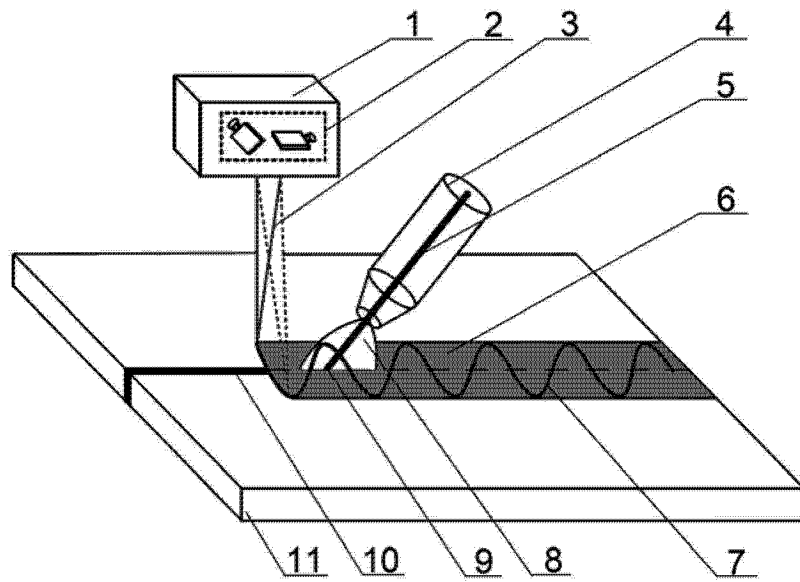


图 1

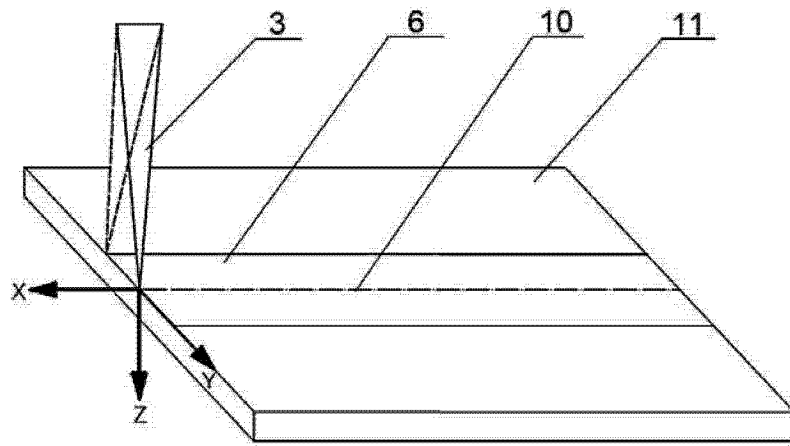


图 2

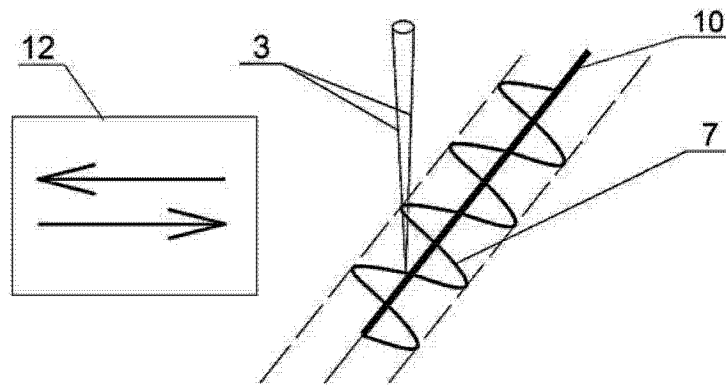


图 3a



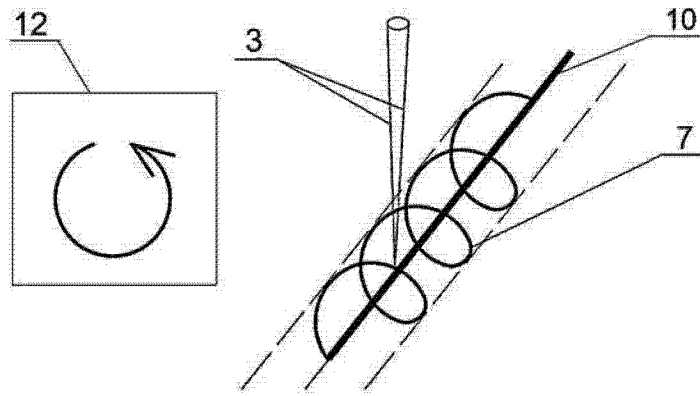


图 3b

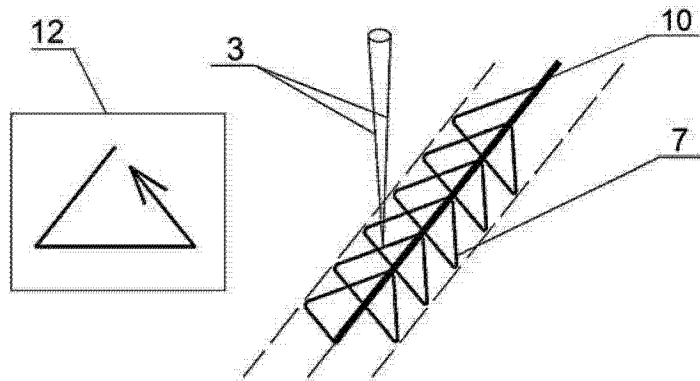


图 3c

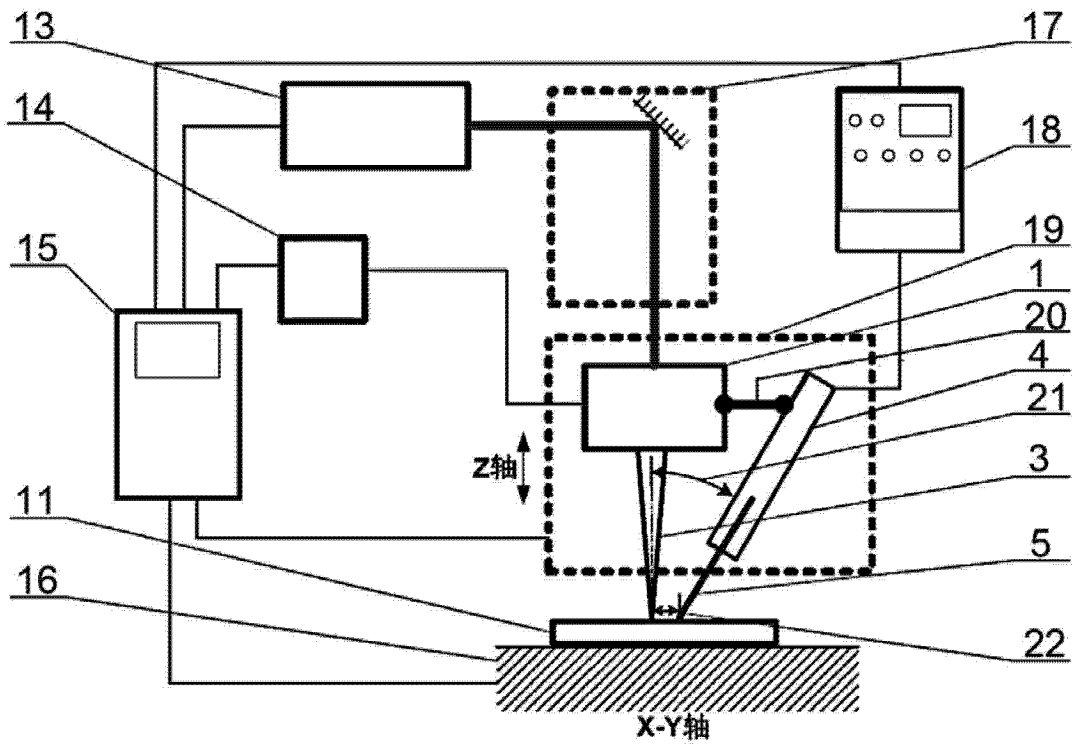


图 4

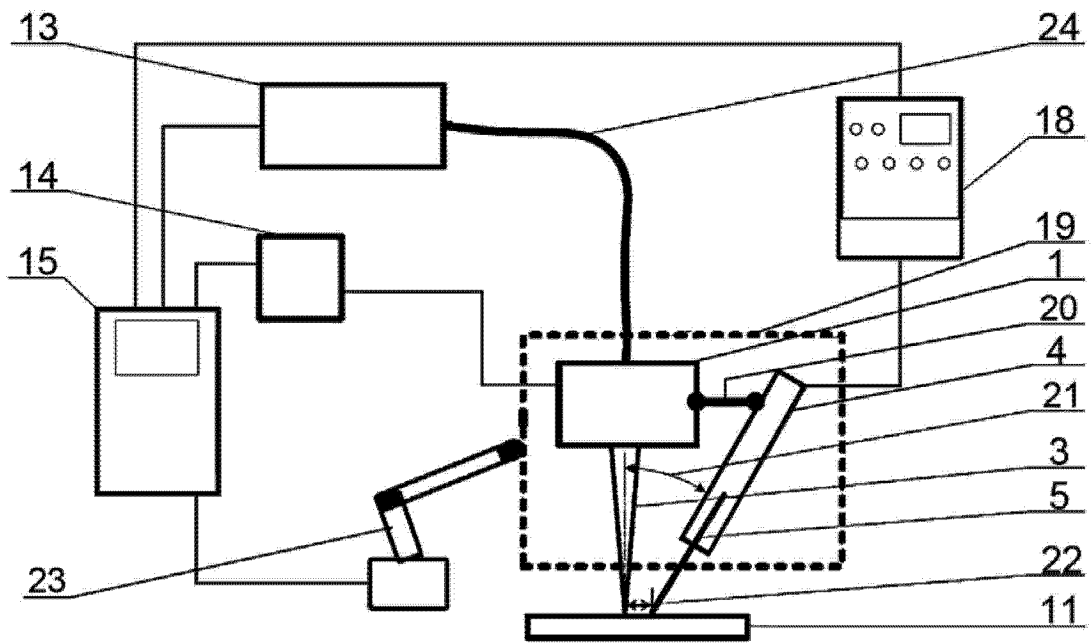


图 5