



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103737176 B

(45)授权公告日 2016.08.31

(21)申请号 201310747032.3

(22)申请日 2013.12.30

(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 李耿 王磊 张臣
李祥友 王泽敏

(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 26/21(2014.01)

B23K 26/348(2014.01)

B23K 26/70(2014.01)

(56)对比文件

CN 103128423 A,2013.06.05,

CN 101176954 A,2008.05.14,

CN 203265895 U,2013.11.06,

CN 1946509 A,2007.04.11,

CN 102310280 A,2012.01.11,

WO 2007079650 A1,2007.07.19,

US 2005236379 A1,2005.10.27,

审查员 弋慧丽

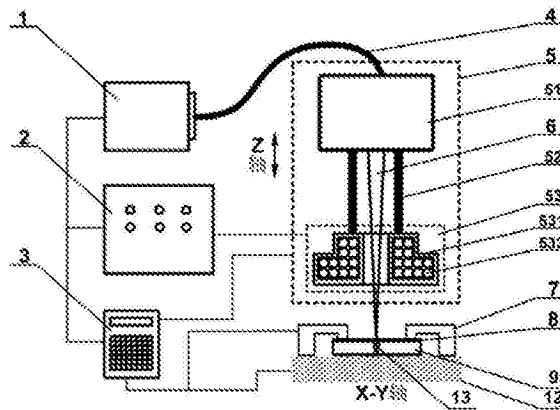
权利要求书2页 说明书12页 附图7页

(54)发明名称

一种激光电磁脉冲复合焊接方法与设备

(57)摘要

本发明公开了一种激光电磁脉冲复合焊接方法及设备。所述方法可用于激光缝焊与激光点焊工艺,是在激光束作用到工件上进行激光焊接的过程中,将脉冲强磁场施加到焊接区域,和焊接形成光致等离子体、熔池流场、应力应变场发生相互作用,并完成焊接任务。设备包括激光器、电磁脉冲发生器、数控系统、光学传输系统和激光电磁脉冲复合加工头。复合加工头用于集成激光束和脉冲强磁场,调节电磁转换装置和工件的间距;它安装在加工机床上。本发明可以降低结构变形、提高焊接质量和加工效率,解决已有单一焊接工艺制造金属材料结构时无法克服的技术问题。



1. 一种激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,该方法是在焊接过程中,先将激光束作用到工件上形成激光光致等离子体和焊接熔池,利用电磁脉冲发生器产生脉冲强磁场,再将脉冲强磁场在焊接过程中施加于焊接熔池及其周围区域,改变焊接过程中产生的非协调应变,均匀化接头区域的应力分布状态,并和光致等离子体、熔池流场和接头应力应变场发生相互作用,强化焊接熔池内的熔体流动,细化焊缝晶粒,抑制焊缝缺陷并释放残余应力,并通过调节脉冲电磁场感应强度和方向,控制激光焊接过程中所形成光致等离子体的运动方向,使其偏离激光入射点,从而降低光致等离子体对激光的屏蔽效应,提高激光能量的利用效率和过程稳定性,提升接头质量并降低结构变形。

2. 根据权利要求1所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,采用振镜聚焦系统时,激光束在工件表面沿半径方向的摆动幅度为0.5mm~5mm。

3. 根据权利要求1所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,产生所述脉冲强磁场的电磁脉冲线圈和工件表面的垂直间距为0.5mm~80mm。

4. 根据权利要求1所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,产生所述脉冲强磁场的电磁脉冲线圈和工件表面的垂直间距为2mm~20mm。

5. 根据权利要求1所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,所述焊接为点焊时,单点焊接时间为0.05s~10s;所述焊接为缝焊时,焊接速度为0.5m/min~30m/min。

6. 根据权利要求1所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,所述焊接为点焊时,单点焊接时间为0.2s~3s;所述焊接为缝焊时,焊接速度为1m/min~6m/min。

7. 根据权利要求1至4中任一所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,激光束的功率为300W~15000W;作用于工件表面的激光光斑直径为0.1mm~10mm;脉冲磁场感应强度为0.01T~80T;磁场脉宽为1 μ s~3s。

8. 根据权利要求1至4中任一所述的激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,激光束的功率为1500W~5000W;作用于工件表面的激光光斑直径为0.5mm~5mm;脉冲磁场感应强度为0.05T~10T;磁场脉宽为100 μ s~500ms。

9. 一种激光电磁脉冲复合焊接设备,包括激光器、电磁脉冲发生器、数控系统、光学传输系统和激光电磁脉冲复合加工头;

所述激光器为固体激光器或气体激光器,所述光学传输系统分别与激光器和激光聚焦系统相连,用于激光束的传输;所述电磁脉冲发生器用于产生脉冲强磁场,所述激光电磁脉冲复合加工头用于集成激光束和脉冲强磁场;所述数控系统分别与激光器和电磁脉冲发生器的电信号连接,用于控制激光器和电磁脉冲发生器工作,使通过激光电磁脉冲复合加工头出射的激光束和脉冲强磁场共同作用于工件上;

所述激光电磁脉冲复合加工头包括激光聚焦系统、复合焊接位置调节装置和电磁转换装置,电磁转换装置中部设有用于激光束穿过的通孔,激光聚焦系统用于激光束的聚焦,所述复合焊接位置调节装置的一端固定安装在激光聚焦系统上,另一端活动安装电磁转换装置,电磁转换装置能够通过复合焊接位置调节装置移动以调节其与待加工工件之间的间距。

10. 根据权利要求9所述的激光电磁脉冲复合焊接设备,其特征在于,所述电磁转换装置包括集磁器和电磁脉冲线圈;集磁器为中空结构,电磁脉冲线圈套装在集磁器上。

11. 根据权利要求9所述的激光电磁脉冲复合焊接设备,其特征在于,所述激光聚焦系

统的聚焦方式为激光振镜扫描聚焦、透镜聚焦或铜镜反射聚焦；所述激光聚焦系统和电磁转换装置采用同轴或旁轴设计。

12. 根据权利要求9所述的激光电磁脉冲复合焊接设备,其特征在于,它还包括所述激光束热源旁加装的电弧热源,热源作为次级热源。

一种激光电磁脉冲复合焊接方法与设备

技术领域

[0001] 本发明属于焊接技术,具体涉及一种激光电磁脉冲复合焊接方法与设备,尤其适用于金属材料薄壁结构的激光电磁脉冲复合点焊与缝焊。

背景技术

[0002] 焊接是金属材料结构件的重要加工手段,在车辆、航空航天、船舶、建筑、桥梁、压力容器等制造领域有着广泛应用。激光焊接技术是利用具有高能密度特性的激光作为热源加热熔化工件来实施焊接的方法,具有焊接速度快、变形小、接头质量好、热影响区小,以及适用于各种金属材料,且易于实现自动化的一系列优点,其中激光缝焊与激光点焊工艺已经成为当前先进制造技术发展的热点。比如,空中客车A318、A340和A380等机型的机身制造中即采用激光焊接技术,不但大大简化了制造工艺,而且使机身减重18%,成本下降近25%。在汽车白车身(低碳钢、镀锌板等材料)的制造中,激光点焊工艺已经成为取代铆接、电阻点焊和电弧点焊的首选工艺。

[0003] 尽管激光焊接热输入和热影响远小于传统的电阻焊和电弧焊工艺,但是作为一种熔焊工艺,其最大问题是热输入导致的热变形仍然存在,在很多情况下仍然严重影响构件装配精度和结构整体性能,尤其是疲劳性能。其次,激光焊接铝合金、镁合金、钛合金等金属材料时,会因为材料本身对激光的吸收率偏低、以及低熔点、高沸点合金元素的存在而造成激光小孔在焊接过程中不稳定,在某些情况下还有凝固速度过快、合金元素高温蒸发的问题。这些问题导致焊接接头容易形成气孔、裂纹、成形不良等冶金缺陷,严重影响接头力学性能。已经开展的研究表明,在单一激光焊接条件下,无论是焊接热变形还是轻质焊接激光接头的冶金缺陷都难得到有效控制。而且,因为热量持续累积且激光小孔处于动态移动之中,这些不利影响在激光连续缝焊中更为突出。因此,如何改善激光焊接冶金行为和接头应力应变分布状态,提高接头组织性能并降低结构变形,是促进激光焊接技术发展的关键。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种激光电磁脉冲复合焊接方法与设备,本发明可以提高激光能量利用效率、强化熔池流动、改善焊缝组织性能,还可以改善激光焊接过程中的应力分布状态,降低结构变形,从而大幅度提高焊缝质量、结构制造精度和加工效率。

[0005] 本发明提供的一种激光电磁脉冲复合焊接方法,其特征在于,焊接过程中先将激光束作用到工件上形成激光光致等离子体和焊接熔池,再将脉冲强磁场在焊接过程中施加于焊接熔池及其周围区域,并和光致等离子体、熔池流场和接头应力应变场发生相互作用,以提升接头质量并降低结构变形。

[0006] 上述技术方案复合焊接方法采用下述任一种或任几种方式进行改进:

[0007] (1)激光功率为300W~15000W,更优选的范围为1500W~5000W。对于点焊,单点焊接时间为0.05s~10s,更优选的范围为0.2s~3s;对于缝焊,焊接速度为0.5m/min~30m/min,更优选的范围为1m/min~6m/min。

[0008] (2)在激光焊接过程中,激光电磁脉冲复合加工头可以沿Z轴(垂直于工件表面的方向)上下移动使作用于工件表面的激光光斑处于变焦状态,激光光斑直径为0.1mm~10mm,更优选的范围为0.5mm~5mm。

[0009] (3)在激光焊接过程中,可以采用振镜聚焦系统使激光束在工件表面沿半径方向摆动,以扩大激光束的作用范围,并增强熔池流动,提高焊缝质量。激光束的摆幅为0.5mm~5mm,并且可以以圆形、椭圆形、矩形、三角形、八字形等图形方式进行摆动,但不局限于这些形式。

[0010] (4)所述激光焊接工艺可以填充材料来改善焊接冶金过程,提高焊缝质量,填充材料以薄膜、粉末或丝材的形式进行添加。

[0011] (5)所述激光焊接工艺除了单纯激光焊接方法外,还可以在激光热源旁加装电弧热源作为次级热源,采用效率更高、焊接缺陷更少的激光-电弧复合焊接方法来提高焊缝质量。

[0012] (6)电磁转换装置和工件表面的间距为0.5mm~80mm,更优选的范围为2mm~20mm;脉冲磁场感应强度为0.01T~80T,更优选的范围为0.05T~10T,磁场脉宽为1 μ s~3s,更优选的范围为100 μ s~500ms。产生所述脉冲强磁场的电磁脉冲线圈和工件表面的垂直间距为0.5mm~80mm,更优选的范围为2mm~20mm。

[0013] 本发明提供的激光电磁脉冲复合焊接设备,其特征在于,包括激光器、电磁脉冲发生器、数控系统、光学传输系统和激光电磁脉冲复合加工头;

[0014] 所述激光器为固体激光器或气体激光器,所述光学传输系统分别与激光器和激光聚焦系统相连,用于激光束的传输;所述电磁脉冲发生器用于产生脉冲强磁场,所述激光电磁脉冲复合加工头用于集成激光束和脉冲强磁场;所述数控系统分别与激光器和电磁脉冲发生器的电信号连接,用于控制激光器和电磁脉冲发生器工作,使通过激光电磁脉冲复合加工头出射的激光束和脉冲强磁场共同作用于工件上。

[0015] 所述激光电磁脉冲复合加工头包括激光聚焦系统、复合焊接位置调节装置和电磁转换装置,电磁转换装置中部设有用于激光束穿过的通孔,激光聚焦系统用于激光束的聚焦,所述复合焊接位置调节装置的一端固定安装在激光聚焦系统上,另一端活动安装电磁转换装置,电磁转换装置能够通过复合焊接位置调节装置移动以调节其与待加工工件之间的间距。

[0016] 作为上述激光电磁脉冲复合焊接设备技术方案的进一步改进,所述激光聚焦系统的聚焦方式为激光振镜扫描聚焦,或者透镜聚焦,或者铜镜反射聚焦。所述激光振镜扫描聚焦方式能够通过振镜扫描镜组中光学镜片的偏转来实现激光束在工件表面的快速扫描,控制焊缝形貌和微观组织。

[0017] 作为上述关于激光电磁脉冲复合焊接设备技术方案的进一步改进,可在所述激光热源旁加装电弧热源作为次级热源,组成焊接效率更高、缺陷更少的激光-电弧复合焊接方法来提高焊缝质量,所采用的电弧热源形式包括惰性气体钨极氩弧焊(TIG)、熔化极惰性/活性气体保护焊(MIG/MAG)、埋弧焊等。

[0018] 作为上述关于激光电磁脉冲复合焊接设备技术方案的进一步改进,可在所述激光聚焦系统旁加装填充材料系统,填充材料以薄膜、粉末或丝材的形式进行添加。

[0019] 作为上述关于激光电磁脉冲复合焊接设备技术方案的进一步改进,所述电磁转换

装置包括集磁器和电磁脉冲线圈;集磁器为中空结构,电磁脉冲线圈套装在集磁器上。

[0020] 本发明利用脉冲强磁场和激光焊接过程或焊缝的相互作用,能够克服已有激光焊接方法的缺点,实现金属材料,尤其是薄壁结构的高效率、高精度和高质量制造。具体而言,本发明具有如下技术效果:

[0021] (1)本发明是基于试验发现、理论研究和工程实践首次提出的一种激光电磁脉冲复合焊接方法与设备,既可以应用于激光缝焊工艺,也可以应用于激光点焊工艺。该方法在激光焊接过程中施加脉冲强磁场,脉冲强磁场和激光光致等离子、液态熔池和焊缝区域的应力应变场发生相互作用,有利于提高激光能量的利用效率,强化焊接熔池内的熔体流动,细化焊缝晶粒,抑制焊缝缺陷并释放残余应力,从而提升焊缝组织性能并降低结构变形,适用于已有焊接工艺在焊缝组织性能、结构变形都难以满足应用需求的情况。

[0022] (2)本发明所述方法在焊接过程中或焊后存在脉冲强磁场和激光光致等离子体、焊接熔池流场、焊缝应力应变场的相互作用,并由此形成一系列新效应、新机制,以及增强的加工效果,解决现有激光焊接方法加工金属材料时难以克服的焊缝质量控制和结构变形问题。

[0023] (3)本发明所述激光电磁脉冲复合焊接方法能够通过调节脉冲电磁场感应强度和方向,控制激光焊接过程中所形成光致等离子体的运动方向,使其偏离激光入射点,从而降低光致等离子体对激光的屏蔽效应,提高激光能量的利用效率和过程稳定性。相比较于已有的激光焊接方法,本发明的激光能量利用效率可提高10-30%。

[0024] (4)本发明所述方法的脉冲强磁场产生的感生电磁力能够在焊接过程中驱动熔池内液态金属,并产生沿磁场方向的定向流动,这种流动会和熔池内已有的由表面张力、重力、等离子体冲力等作用力驱动的熔池流动发生相互作用。通过调节磁场感应强度和方向,这种由感生电磁力驱动的方向和强度可控的熔池流动能够强化激光焊接熔池流动搅拌效应,并在抵消表面张力、重力、等离子体冲力等驱动力的作用后使之有序化,从而优化焊接熔池的冶金过程和凝固结晶行为。再结合激光-电弧复合焊接方法,可以发挥其熔深大、焊接质量好的优点,同时克服由于复合焊接热输入高引起的晶粒粗化、焊接变形等问题,达到改善焊缝成形,均匀化微观结构,细化晶粒,降低焊缝冶金缺陷(气孔、中心缩孔、裂纹)并提高接头力学性能的目的。和已有激光焊接方法相比,本发明所得到的焊缝的冶金缺陷形成倾向会降低50~100%,晶粒尺寸缩小30~80%。

[0025] (5)本发明所述方法和设备能够在激光焊接过程中,通过脉冲强磁场在工件表面形成的电磁力使接头及其周围区域发生塑性变形,改变焊接过程中产生的非协调应变,均匀化接头区域的应力分布状态,从而降低因焊接热力效应而形成的应力集中和结构变形程度,并提高接头疲劳强度。特别是本发明能够以在线方式快速准确的达到上述加工效果,远优于传统焊接中诸如锤击、机械振动、焊后缓冷(时效法)、热处理等耗时耗力,且大型构件操作困难的离线式焊接应力消除方法。

[0026] (6)本发明所述设备可以采用振镜扫描聚焦方式,或者利用激光聚焦系统在焊接过程沿Z轴(垂直于工件表面的方向)的上下移动来改变作用于工件表面的激光光斑大小,用于点焊工艺可以根据零部件的加工需求设计焊点形状和搭接界面的焊缝面积,有利于提高焊缝力学性能,特别是疲劳性能。用于缝焊工艺可以提高对对接焊装配间隙的容忍度,提高焊接过程工艺稳定性。

[0027] (7)因为上述新效应和增强的加工效果,本发明用于点焊工艺,可以替代常用的铆接和电阻点焊工艺,加工效率比铆接工艺提高5~10倍,比电阻点焊提高2~3倍,所得点焊焊缝的强度优于铆接工艺,且结构变形可以得到有效控制。和已有的激光点焊工艺相比,本发明的点焊焊缝的强度(包括搭接接头的拉伸剪切强度和对接接头的抗拉强度)提高20%以上,疲劳强度提高30%以上。本发明用于缝焊工艺,和已有的激光焊接方法相比,接头抗拉强度提高10%以上,疲劳强度提高20%以上。

[0028] (8)本发明适用于包括铝合金、镁合金、钛合金、高温合金、钢材在内的绝大部分金属材料;不但可用于加工规整的圆筒、平板薄壁结构件,还可用于椭圆、汽车白车身等复杂曲面结构的焊接制造。

[0029] (9)激光电磁脉冲复合焊接方法可以大幅度减轻结构质量,简化工艺流程,提高加工质量和生产效率,降低制造成本、劳动强度和噪音污染,是一种绿色环保、高效清洁的先进制造技术,能够满足当前航空航天、车辆制造、空间技术等领域对结构轻量化、绿色制造的迫切需求,是取代铆接技术的最佳选择之一。

附图说明

[0030] 图1为激光电磁脉冲复合点焊焊缝的表面形状。

[0031] 图2为激光电磁脉冲复合点焊焊缝的截面形状。

[0032] 图3为激光电磁脉冲复合缝焊焊缝的截面形状。

[0033] 图4为已有激光点焊工艺的加工效果图。

[0034] 图5为激光电磁脉冲复合点焊工艺的加工效果图。

[0035] 图6为已有激光缝焊工艺的加工效果图。

[0036] 图7为激光电磁脉冲复合缝焊工艺的加工效果图。

[0037] 图8为激光电磁脉冲复合焊接装置的原理示意图(点焊)。

[0038] 图9为激光电磁脉冲复合焊接装置的原理示意图(缝焊)。

[0039] 图10为采用激光振镜扫描聚焦方式的激光电磁脉冲复合点焊示意图。

[0040] 图11为采用激光振镜扫描聚焦方式的激光电磁脉冲复合缝焊示意图。

[0041] 图12为采用透射聚焦方式的激光电磁脉冲复合点焊示意图。

[0042] 图13为采用透射聚焦方式的激光电磁脉冲复合缝焊示意图。

[0043] 图14为采用铜镜反射聚焦方式的激光电磁脉冲复合点焊示意图。

[0044] 图15为采用铜镜反射聚焦方式的激光电磁脉冲复合缝焊示意图。

[0045] 图16为采用激光-电弧复合焊接工艺的激光电磁脉冲复合点焊示意图。

[0046] 图17为采用激光-电弧复合焊接工艺的激光电磁脉冲复合缝焊示意图。

[0047] 图18为圆筒结构件激光电磁脉冲复合点焊设备示意图。

[0048] 图19为平板结构件激光电磁脉冲复合点焊设备示意图。

[0049] 图20为用于环缝焊接的激光电磁脉冲复合缝焊设备示意图。

[0050] 图中,1.激光器,2.电磁脉冲发生器,3.数控系统,4.光学传输系统,5.激光电磁脉冲复合加工头,51.激光聚焦系统,511.激光振镜扫描聚焦镜组,512.透镜聚焦镜组,513.铜镜反射聚焦镜组,52.复合焊接位置调节装置,53.电磁转换装置,531.集磁器,532.电磁脉冲线圈,54.电弧焊枪,6.激光束,7.夹紧装置,8.填充材料,9.工件,91.已有激光点焊工艺

加工后的工件,92.激光电磁脉冲复合点焊工艺加工后的工件,93.已有激光缝焊工艺加工后的工件,94.激光电磁脉冲复合缝焊工艺加工后的工件,10.激光点焊焊缝,101.未熔透点焊焊缝,102.全熔透点焊焊缝,11.点焊脉冲强磁场作用区,12.加工机床,13.激光缝焊焊缝,131.未熔透缝焊焊缝,132.全熔透缝焊焊缝,14.缝焊脉冲强磁场作用区。

具体实施方式

[0051] 脉冲强磁场成形技术是利用脉冲强磁场进行金属材料塑性成形加工的新型高效率加工方法:成形加工头悬浮于工件上方,当脉冲电流经过加工头内部的线圈时产生脉冲强磁场,引发金属工件内部形成感生涡流磁场,进而在工件内部形成电磁力以实现对金属材料的塑性加工。脉冲电磁力对工件表面产生的瞬间峰值压力可达近400MPa,变形区内金属流动的速度可达300m/s,是一种效率极高的塑形加工方法。因为上述技术特点,脉冲强磁场成形技术能够实现金属材料的在线加工和校形。

[0052] 激光焊接和电磁脉冲成形技术本身是两个独立技术,在并行发展至今的二三十年内,两者在各自领域都取得了很大的进展。但是,激光焊接和电磁脉冲成形这两种工艺相结合以后,之间存在的一系列新效应和新作用机理,以及由此形成增强的加工效果还缺乏认识。本发明正是基于试验发现、理论研究和工程实践,提供一种适用于金属材料,尤其是薄壁结构的激光电磁脉冲复合焊接方法及设备,以解决当前焊接工艺所面临的工程问题,实现金属材料的高质量、高效率和高精度焊接加工。

[0053] 本发明提供的一种激光电磁脉冲复合焊接方法是激光器产生激光束作用到工件上形成激光光致等离子体和焊接熔池;脉冲强磁场在焊接过程中施加于焊接熔池及其周围区域,和激光光致等离子体、焊接熔池流场、焊缝区域的应力应变场发生相互作用,通过多场耦合效应实施焊接任务。此时,脉冲强磁场可以控制激光光致等离子体的运动方向,使其偏离激光入射点,消除光致等离子体对激光束的屏蔽效应,提高激光束的能量利用效率;可以强化熔池内液态金属的流动,使熔池流动有序化,从而改善焊缝的凝固结晶行为,优化焊缝成形,细化晶粒并抑制焊缝缺陷(气孔、中心缩孔、裂纹等),提高焊缝力学性能;还可以在工件表面形成电磁力,使焊缝及其周围区域发生塑性变形,抑制焊接过程中产生的非协调应变,均匀化焊缝应力分布状态,降低因焊接热力效应而产生的应力集中和结构变形。

[0054] 本发明所述激光电磁脉冲复合焊接方法是将激光焊接方法和脉冲强磁场加工工艺有机结合起来,通过两者的相互作用来提高激光能量的利用效率,通过强化熔池流动,提高焊缝质量和加工效率;特别重要的是通过控制焊缝区域的应力应变和残余应力分布状态,降低结构变形,形成远优于已有单一工艺的加工效果。

[0055] 本发明方法的实现过程为:

[0056] 激光器产生激光束作用到工件上形成激光光致等离子体和焊接熔池;脉冲强磁场在焊接过程中施加到焊接熔池及其周围区域,并和激光光致等离子体、焊接熔池流场、焊缝应力应变场发生相互作用,通过多场耦合实施激光电磁脉冲复合焊接任务。此时,脉冲强磁场可以控制激光焊接过程中光致等离子体的运动方向,消除光致等离子体对激光束的屏蔽效应,提高激光能量利用率和加工效率;可以强化激光点焊内熔池流动,改善熔池冶金凝固行为,优化焊缝成形、细化晶粒,抑制冶金缺陷(气孔、中心缩孔、裂纹等),从而提高焊缝力学性能;还可以在工件表面形成电磁力,使焊缝区域发生塑性变形,改变焊接过程中产生的非

协调应变,均匀化焊缝应力分布状态,降低或消除因焊接热力效应而产生的结构变形。

[0057] 在点焊脉冲强磁场作用区11内形成的激光点焊焊缝10的表面形状为如图1所示的实心圆形、C型、S型和I型,但不局限于这四种情况;工件9上的点焊焊缝截面形状为如图2所示的未熔透焊缝101和全熔透焊缝102两种形式。工件9上的激光缝焊接头的截面形状为如图3所示的未熔透接头131和全熔透接头132两种形式。

[0058] 图4为已有激光点焊工艺的加工效果图,图5为激光电磁脉冲复合点焊工艺的加工效果图。对比两图可以看到,因为焊接热应力,采用已有激光点焊工艺加工后的工件91有明显变形,采用激光电磁脉冲复合点焊工艺加工的工件92在结构尺寸上和加工前保持一致,几乎没有变形;其次,在激光点焊焊缝10周边区域会形成一个脉冲强磁场作用区11。

[0059] 图6为已有激光焊接方法的加工效果图,图7为激光电磁脉冲复合缝焊工艺的加工效果图。对比两图可以看到,因为焊接热应力,采用已有激光缝焊工艺加工后的工件93有明显变形,采用激光电磁脉冲复合缝焊工艺加工的工件94在结构尺寸上和加工前保持一致,几乎没有变形;其次,在激光缝焊接头13周边区域会形成一个脉冲强磁场作用区14。

[0060] 如图8、图9所示,本发明所述的激光电磁脉冲复合焊接设备包括激光器1、电磁脉冲发生器2、数控系统3、光学传输系统4、激光电磁脉冲复合加工头5。

[0061] 所述激光器1为固体激光器或气体激光器,用于产生激光束6。所述光学传输系统4为传输光纤或者由镜片组成的导光系统,它们分别与激光器1和激光聚焦系统51相连,用于激光束的传输。所述电磁脉冲发生器2用于产生脉冲强磁场。所述数控系统3分别与激光器1和电磁脉冲发生器2和加工机床的电信号连接,用于这些设备的开启和关闭,工艺参数的设定和程序编制。所述激光电磁脉冲复合加工头5用于集成激光束和脉冲强磁场,使两者作用于同一位置,能够通过复合焊接位置调节装置52调节电磁转换装置53和工件9表面的间距。

[0062] 工作时,激光电磁脉冲复合加工头或待加工工件安装在所述加工机床上,以调整激光电磁脉冲复合加工头和待加工工件之间的位移。

[0063] 根据实际情况可以采用不同类型的加工机床,分别与激光电磁脉冲复合加工头5、夹紧装置7和工件9连接,由数控系统3控制三者的位置移动。

[0064] 作为上述关于激光电磁脉冲复合焊接设备技术方案的改进,所述激光电磁脉冲复合加工头5采用一体化结构设计,包括激光聚焦系统51、复合焊接位置调节装置52和电磁转换装置53;电磁转换装置53中部设有通孔,激光束能够穿过该通孔作用于工件上。所述激光聚焦系统51用于激光束的聚焦,可以根据焊接要求选取如图10、图11所示的激光振镜扫描镜组511,或者如图12、13所示投射聚焦镜组512,或者如图14、图15所示的发射聚焦镜组513。激光聚焦系统51固定安装在复合焊接位置调节装置52的一端,电磁转换装置53活动安装在复合焊接位置调节装置52上。

[0065] 所述复合焊接位置调节装置52用于控制电磁转换装置53沿Z轴(垂直于工件表面的方向)的上下移动以调节其与工件9表面的间距,从而调整脉冲强磁场作用在工件上的电磁力的大小,在焊接过程中还能够调节作用在工件表面的激光光斑的大小。复合焊接位置调节装置52可以采用气缸、丝杆、齿轮齿条等形式的Z轴移动机构来实现装置的移动,但不局限于这些形式。

[0066] 所述电磁转换装置53用于将电流转换为强磁场,它包括集磁器531和电磁脉冲线圈532。电磁脉冲线圈532通过线圈电流产生脉冲强磁场。集磁器531用于电磁脉冲线圈532

的安装,同时在其内部产生感生电流,强化脉冲磁场。集磁器531为中空结构,激光束6能够穿过其中空部分进行焊接。

[0067] 作为上述关于激光电磁脉冲复合焊接设备技术方案的改进,可以选用如图16、图17所示的激光-电弧复合焊接装置。本发明实施过程中电弧焊枪54用于和激光束复合构成激光-电弧复合焊接方法来提高焊缝质量,所述电弧焊枪54用于产生电弧,它固定安装在激光电磁脉冲复合加工头上。

[0068] 在本发明实施过程中夹紧装置7用于定位装夹工件,它可单独使用;也可安装在加工机床上,由数控系统3和加工机床控制其运动。在完成工件定位装夹后,再利用本发明装置进行激光电磁脉冲复合焊接。

[0069] 本发明所述设备进行激光点焊工作的过程为:

[0070] 第1步,利用夹紧装置7定位装夹工件9,利用数控系统3和加工机床12移动激光电磁脉冲复合加工头5至焊接位置

[0071] 第2步,通过数控系统3设定激光功率、单点焊接时间、激光光斑直径、激光束在工件表面上沿半径方向的摆幅、焊点形状、电磁转换装置和工件表面的间距、磁场感应强度和脉宽。

[0072] 第3步,按照上述设定参数开启激光器1和电磁脉冲发生器2,产生激光束和脉冲强磁场,实施激光电磁脉冲复合点焊,并完成焊接任务。

[0073] 本发明所述设备进行激光缝焊工作的过程为:

[0074] 第1步,利用夹紧装置7装夹工件9,利用数控系统3和加工机床12移动激光电磁脉冲复合加工头5至焊接位置。

[0075] 第2步,通过数控系统3设定激光功率、焊接速度、工件表面的激光光斑直径、激光束沿半径方向的摆幅、电磁转换装置和工件表面的垂直间距、磁场强度和脉宽。

[0076] 第3步,按照上述设定参数开启激光器1和电磁脉冲发生器2,产生激光束和脉冲强磁场,激光束和脉冲强磁场作用于同一位置,直至完成焊接任务。

[0077] 为了方便不同形状工件的加工,本发明装置的结构可以作适应性的变化,图18-20列举了其中几种。

[0078] 如图18所示,圆筒结构件激光电磁脉冲复合点焊设备示意图,可根据所加工的圆筒结构采用特定的夹紧装置7与加工机床12,夹紧装置7分为内外两部分且与加工机床12相连,分别置于圆筒结构件需要连接的接缝的内外两侧,并施加压力使待焊部位平整。通过加工机床12控制点焊位置的移动,通过激光电磁脉冲复合加工头5完成圆筒结构件点焊操作。

[0079] 如图19所示为平板结构件激光电磁脉冲复合点焊设备示意图,采用夹紧装置7单独装夹工件9,通过加工机床12控制激光电磁脉冲复合加工头5在工件上方移动完成平板结构件的点焊操作。

[0080] 如图20所示为用于环缝焊接的激光电磁脉冲复合缝焊设备示意图,通过夹紧装置7压紧待焊工件9,加工机床12与夹紧装置7相连,在焊接过程中可以使夹紧装置7与工件9同时转动,通过激光电磁脉冲复合加工头5完成环缝焊接操作。

[0081] 实施例1

[0082] 本实例焊接工件9为板厚2mm、直径3.5m、高3m的2219铝合金圆筒结构件,焊接要求为上下搭接点焊(搭接后焊点位置厚4mm),采用如图18所示的激光电磁脉冲复合点焊设备,

选用光纤激光器和激光振镜扫描聚焦方式(可通过激光束摆动扫描控制焊点形状和面积),激光焦距为300mm,焊缝的焊点形状为实心圆形,截面特征为未熔透形式。

[0083] 本实例采用的工艺参数为:激光功率5000W、激光光斑直径3mm、单点焊接时间0.2s、激光束沿半径方向的摆幅0.5mm、电磁转换装置和工件表面的间距10mm、脉冲磁场感应强度50mT、磁场脉宽500ms。

[0084] 焊接完成后,所得到的焊缝成形美观,无中心缩孔、咬边、气孔和裂纹缺陷。圆筒结构高度方向和圆度精度偏差和加工前相比不超过0.2%,优于产品装配要求。和已有的激光点焊工艺相比,本发明激光能量利用效率提高30%,焊缝晶粒尺寸约缩小80%,内应力峰值降低60%,点焊接头的拉伸剪切强度为14.3kN/点,提高120%。在循环次数 10^7 次、置信度95%的情况下,焊缝疲劳强度提高80%。计入装夹时间后,本发明的整体加工效率比已有铆接工艺提高10倍。

[0085] 实施例2

[0086] 本实例焊接工件为板厚1mm、长2m、宽1m的5A06铝合金平板结构件,焊接要求为上下搭接点焊(搭接后焊点位置厚2mm),焊接装置示意图如图19所示,选用光纤激光器和振镜扫描聚焦方式,激光焦距为300mm,焊缝的焊点形状为实心圆形,截面特征为未熔透形式。

[0087] 本实例采用的工艺参数为:激光功率1500W、激光光斑直径0.5mm、单点焊接时间3s、激光束沿半径方向的摆幅5mm、电磁转换装置和工件表面的间距2mm、脉冲磁场感应强度300mT、磁场脉宽500ms。

[0088] 焊接完成后,所得到的焊缝成形美观,无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷。结构尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.2%,优于产品装配要求。和已有的激光点焊工艺相比,本发明激光能量利用率提高10%,焊缝晶粒尺寸约缩小30%,内应力峰值降低32%,接头拉伸剪切强度为12.5kN/点,提高20%;在循环次数 10^7 次、置信度95%的情况下,焊缝疲劳强度提高30%。计入装夹时间后,本发明的整体加工效率比已有铆接工艺提高10倍。

[0089] 实施例3

[0090] 本实例焊接工件9为板厚4mm的6082铝合金平板结构件,焊接要求为对接点焊,焊接装置示意图如图19所示,选用DISK固体激光器和振镜扫描聚焦方式,激光焦距为350mm,焊缝的焊点形状为实心圆形,截面特征为全熔透形式。

[0091] 本实例采用的工艺参数为:激光功率3500W、激光光斑直径0.8mm、单点焊接时间1s、激光束沿半径方向的摆幅2mm、电磁转换装置和工件表面的间距4mm、脉冲磁场感应强度120mT、磁场脉宽1s。

[0092] 焊接完成后,所得到的焊缝成形美观,无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷,结构尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.2%,优于产品装配要求。和已有的激光点焊工艺相比,本发明的激光能量利用效率提高20%,焊缝晶粒尺寸缩小60%,接头抗拉强度为257MPa,提高22%;在循环次数 10^7 次、置信度95%的情况下,焊缝疲劳强度提高80%。计入装夹时间后,本发明的整体加工效率比已有铆接工艺提高10倍。

[0093] 实施例4

[0094] 本实例焊接工件为板厚8mm的2219铝合金平板结构件,焊接要求为对接缝焊,选用光纤激光器和激光振镜扫描聚焦方式,激光焦距为300mm,接头截面特征为全熔透形式。

[0095] 本实例采用的工艺参数为:激光功率5000W、激光光斑直径0.3mm、焊接速度1m/

min、激光束沿半径方向的摆幅0.5mm、电磁转换装置和工件表面的垂直间距10mm、脉冲磁场强度0.01T、磁场脉宽1s。

[0096] 焊接完成后,所得到的接头成形美观,无咬边、气孔、裂纹等缺陷。加工后的平板结构的尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.2%,优于产品装配要求。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明激光能量利用效率提高30%,接头晶粒尺寸约缩小80%,内应力峰值降低60%,接头抗拉强度为352MPa,提高30%。在循环次数 10^7 次、置信度95%的情况下,接头疲劳强度为96MPa,比已有激光焊接方法提高60%。

[0097] 实施例5

[0098] 本实例焊接工件为板厚0.5mm的1Cr18Ni9Ti不锈钢圆筒结构件,焊接要求为对接缝焊,采用图20所述的环缝复合缝焊装备,选用光纤激光器和振镜扫描聚焦方式,激光焦距为300mm,接头截面特征为全熔透形式。

[0099] 本实例采用的工艺参数为:激光功率1500W、激光光斑直径5mm、焊接速度1m/min、激光束沿半径方向的摆幅3mm、电磁转换装置和工件表面的垂直间距2mm、脉冲磁场强度0.3T、磁场脉宽100ms。

[0100] 焊接完成后,所得到的接头成形美观,无咬边、气孔、裂纹等缺陷。圆筒结构尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.2%,优于产品装配要求。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明激光能量利用率提高10%,接头晶粒尺寸约缩小30%,内应力峰值降低32%,接头断裂于母材。

[0101] 实施例6

[0102] 本实例焊接工件为板厚3mm的2219铝合金圆筒结构件,焊接要求为环缝搭接(搭接位置焊接厚度6mm),采用如图20所示的复合缝焊装备,选用DISK固体激光器和振镜扫描聚焦方式,激光焦距为350mm,接头截面特征为未熔透形式。

[0103] 本实例采用的工艺参数为:激光功率3500W、激光光斑直径1.2mm、焊接速度1.5m/min、激光束沿半径方向的摆幅5mm、电磁转换装置和工件表面的间距5mm、脉冲磁场强度0.6T、磁场脉宽45ms。

[0104] 焊接完成后,所得到的接头成形美观,无咬边、气孔、裂纹等缺陷,结构尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.2%。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明激光能量利用效率提高30%,接头晶粒尺寸约缩小80%,拉伸剪切强度为457MPa,提高50%。

[0105] 下面以列表方式来说明各实施例的工艺参数组合。表中符号P代表激光功率,D代表激光光斑直径,R代表激光束在工件表面上沿半径方向的摆幅, t_w 代表单点焊接时间,v代表焊接速度, δ 代表电磁转换装置和工件表面的间距,H代表脉冲磁场感应强度,TON代表磁场脉宽;D值为一个区间表示焊接过程中作用于工件表面的激光光斑直径在该区间范围内变化。

[0106]

实例序号	焊接方法	P (W)	D (mm)	t _w (s)	R (mm)	δ (mm)	v (m/min)	H (T)	TON (ms)
实例 7	点焊	300	0.1	0.05	3	0.5	-	0.01	1000
实例 8	点焊	15000	10	0.5	0	20	-	0.8	500
实例 9	点焊	7000	0.4~2	10	0	1.5	-	0.5	500
实例 10	点焊	1400	0.8	2	0	35	-	0.05	600
实例 11	缝焊	3500	0.8	-	0	8	1.5	10	0.2
实例 12	缝焊	800	1	-	0	3	0.5	0.3	3
实例 13	缝焊	6000	5	-	0	80	30	80	0.001
实例 14	缝焊	3000	0.5~2	-	0	4	6	0.8	1
实例 15	缝焊	5200	0.8	-	2	1.5	0.6	1	0.01
实例 16	缝焊	1000	0.5	-	0	1	1	0.1	100

[0107] 实施例7

[0108] 本实施例焊接工件为板厚0.4mm的1Cr18Ni9Ti不锈钢平板构件,焊接要求为上下搭接点焊(搭接后焊点位置厚0.8mm);选用2000W的光纤激光器和振镜扫描聚焦方式,激光焦距为350mm。焊缝的焊点形状为C型,截面特征为未熔透形式。

[0109] 本实例采用上表中的工艺参数完成焊接后,能够得到无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷的点焊焊缝。和已有的激光点焊工艺相比,本发明所得焊缝的内应力峰值降低30%,在拉伸剪切测试中,接头撕裂于母材。计入装夹时间后,本发明的整体加工效率比已有铆接工艺提高5倍。

[0110] 实施例8

[0111] 本实例焊接工件为板厚10mm的AZ31镁合金平板构件,焊接要求为对接点焊;选用10000W光纤激光器和透射聚焦方式,激光焦距为300mm。接头的焊点形状为实心圆形,截面特征为全熔透形式。为了改善接头质量,工件表面预置了一层0.1mm厚的稀土薄膜。

[0112] 本实例采用上表中的工艺参数完成焊接后,能够得到无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷的接头。和已有的激光点焊工艺相比,本发明所得接头晶粒尺寸缩小50%,内应力峰值降低42%,点焊接头的抗拉强度为242MPa,提高20%,平板构件的翘曲变形程度减少50%。

[0113] 实施例9

[0114] 本实例焊接工件为板厚5mm的LC9铝合金平板构件,焊接要求为上下搭接点焊(搭接后焊点位置厚10mm);选用8000W光纤激光器和铜镜反射聚焦方式,激光焦距为400mm。焊缝的焊点形状为实心圆形,截面特征为未熔透形式。

[0115] 本实例采用上表中的工艺参数完成焊接后,能够得到无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷,成形美观的点焊焊缝,结构尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.5%。和已有的激光点焊工艺相比,本发明所得焊缝晶粒尺寸缩小70%,内应力峰值降低60%,拉伸剪切强度为9.2kN/点,提高45%。

[0116] 实施例10

[0117] 本实例焊接工件为板厚1.2mm的镀锌板平板构件,焊接要求为上下搭接点焊(搭接后焊点位置厚2.4mm);选用SLAB板条式CO₂气体激光器和铜镜反射聚焦方式,激光焦距为300mm,焊缝的焊点形状为I型,截面特征为未熔透形式。为了提高焊缝质量,该实例的焊接工艺采用激光-TIG电弧复合焊接方法。

[0118] 本实例采用上表中的工艺参数,并配合电流范围为120~300A内的电弧进行复合点焊后,能够得到成形美观、无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷的点焊焊缝。和已有的激光点焊工艺相比,本发明所得焊缝内应力峰值降低80%,接头拉伸剪切强度为7.5kN/点,提高35%,平板构件的翘曲变形程度减少100%。

[0119] 实施例11

[0120] 本实例焊接工件为板厚4mm的2219铝合金平板构件,焊接要求为对接缝焊,选用光纤激光器和透射聚焦方式,激光焦距为250mm,接头截面特征为全熔透形式。

[0121] 本实例采用上表中的工艺参数完成焊接后,发现构件仍然存在较大的变形,不能满足应用需求。为了降低结构变形,本实例在关闭激光的情况下,重新运行程序在焊缝区域再次施加脉冲强磁场。全部工艺完成后,所得到的接头无咬边、气孔、裂纹等缺陷。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明激光能量利用率提高20%,接头晶粒尺寸约缩小30%,所得接头内应力峰值降低150%,接头抗拉强度为315MPa,提高20%,平板构件的翘曲变形程度减少200%。

[0122] 实施例12

[0123] 本实例焊接工件为板厚2mm的AZ31镁合金平板构件,焊接要求为上下搭接缝焊(搭接后焊接位置厚4mm);选用DISK固体激光器和透射聚焦方式,激光焦距为200mm,接头截面特征为未熔透形式。

[0124] 本实例采用上表中的工艺参数完成焊接后,接头无咬边、气孔、裂纹等缺陷。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明所得接头内应力峰值降低80%,拉伸剪切强度为168MPa,提高30%,平板构件的翘曲变形程度减少100%;在循环次数10⁷次、置信度95%的情况下,接头疲劳强度为65MPa(循环次数10⁵次、置信度95%),提高30%。

[0125] 实施例13

[0126] 本实例焊接工件为板厚2.5mm的5A06铝合金圆筒构件,焊接要求为对接缝焊;选用光纤固体激光器和铜镜反射聚焦方式,激光焦距为250mm,接头为未熔透形式。为了提高接头质量,该实例采用激光-电弧复合焊接方法,电弧焊接类型为钨极惰性气体保护焊(TIG)。

[0127] 本实例采用上表中的工艺参数,并配合电流范围为120~300A内的电弧完成焊接后,所得到的接头无咬边、气孔、裂纹等缺陷,结构尺寸精度偏差和加工前相比不超过0.2%。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明所得接头内应力峰值降低100%,接头抗拉强度为313MPa,提高28%,平板构件的翘曲变形程度减少125%;在循环次数10⁷次、置信度95%的情况下,接头疲劳强度为78MPa,提高75%。

[0128] 实施例14

[0129] 本实例焊接工件为板厚2.5mm的TA15钛合金平板构件,焊接要求为上下搭接缝焊(搭接后焊缝位置厚5mm);选用轴快流CO₂气体激光器和透射聚焦方式,激光焦距为150mm,焊缝的焊点形状为实心圆形,截面特征为未熔透形式。

[0130] 本实例采用上表中的工艺参数能够得到成形美观,且无中心缩孔、咬边和气孔等

缺陷的点焊焊缝。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明所得焊缝内应力峰值降低40%,接头在拉伸剪切测试中撕裂于母材,平板构件的翘曲变形程度减少65%;在循环次数 10^7 次、置信度95%的情况下,焊缝疲劳强度提高30%。

[0131] 实施例15

[0132] 本实例焊接工件为板厚5mm的7075铝合金平板构件,焊接要求为上下搭接缝焊(搭接后焊缝位置厚10mm);选用光纤激光器和振镜扫描聚焦方式,激光焦距为300mm,焊缝的焊点形状为实心圆形,截面特征为未熔透形式。

[0133] 本实例采用上表中的工艺参数能够得到成形美观,且无中心缩孔、咬边和气孔等缺陷的点焊焊缝。和已有的激光缝焊工艺相比,本发明所得焊缝内应力峰值降低100%,接头拉伸剪切强度提高30%,平板构件的翘曲变形程度减少150%;而且,在循环次数 10^7 次、置信度95%的情况下,焊缝疲劳强度提高80%。

[0134] 实施例16

[0135] 本实例焊接工件为板厚1.5mm的7075铝合金平板构件,焊接要求为对接缝焊,选用1000W二极管固体激光器和透射聚焦方式,激光焦距为250mm,接头截面特征为全熔透形式。

[0136] 本实例采用上表中的工艺参数完成焊接后,所得到的接头无咬边、气孔、裂纹等缺陷。和已有的激光焊接方法相比,本发明所得接头内应力峰值降低150%,接头抗拉强度为410MPa,提高20%,平板构件的翘曲变形程度减少200%。

[0137] 上述实施例为本发明的较佳实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制。其它任何未背离本发明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,包含在本发明保护范围之内。

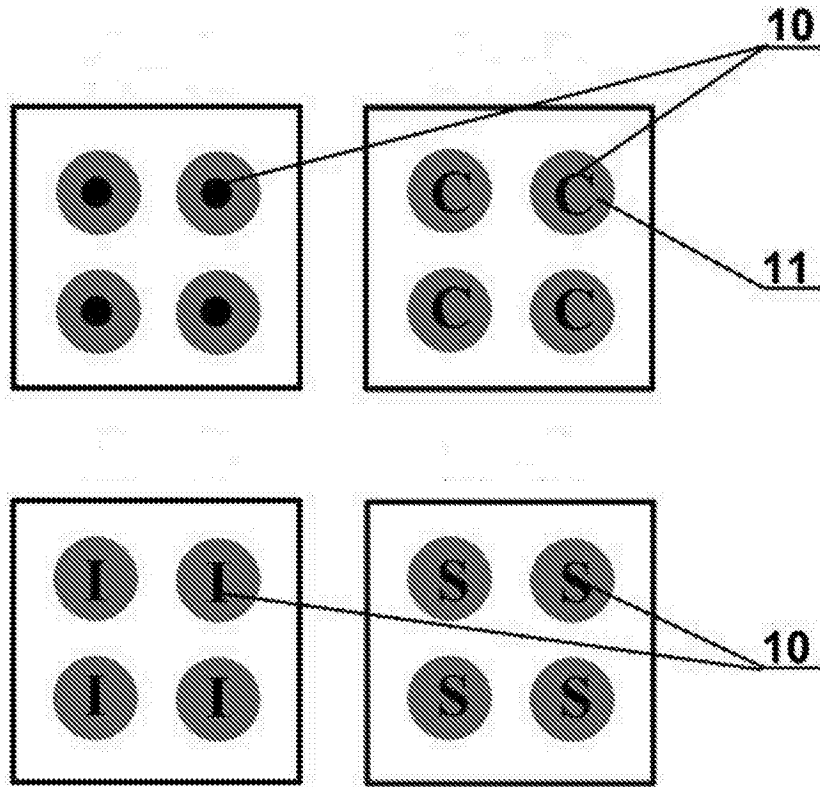


图1

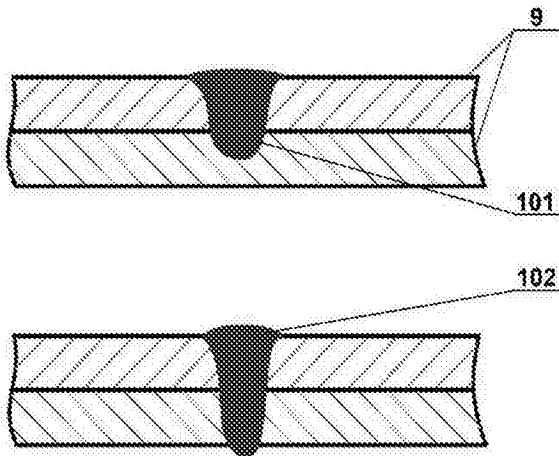


图2

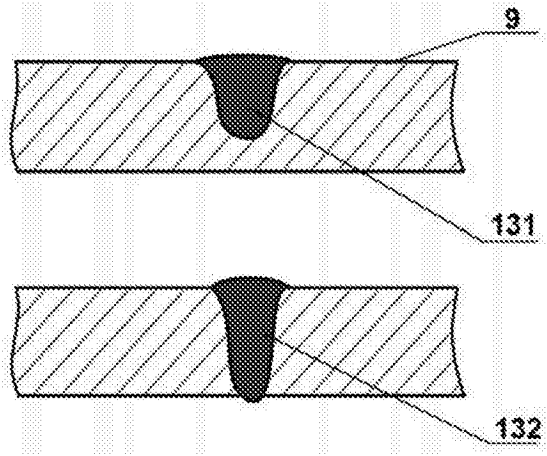


图3

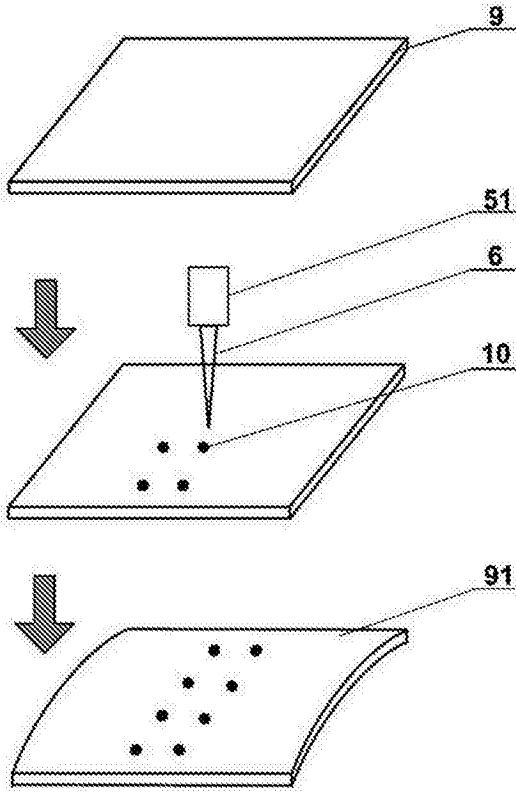


图4

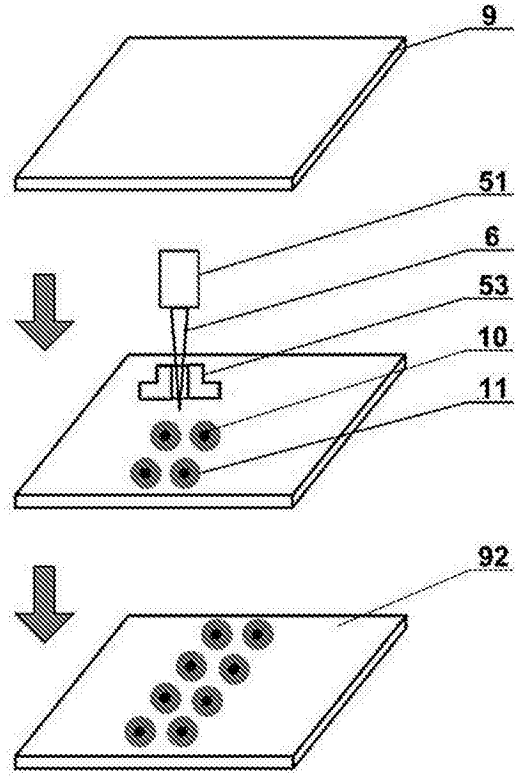


图5

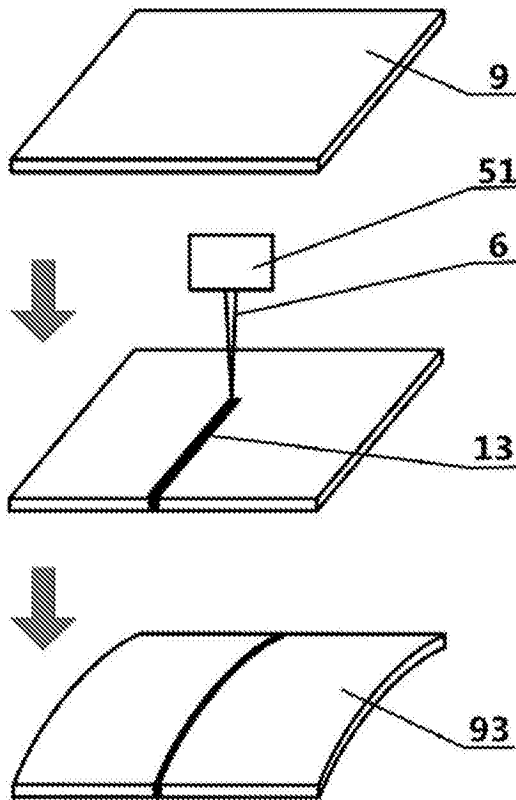


图6

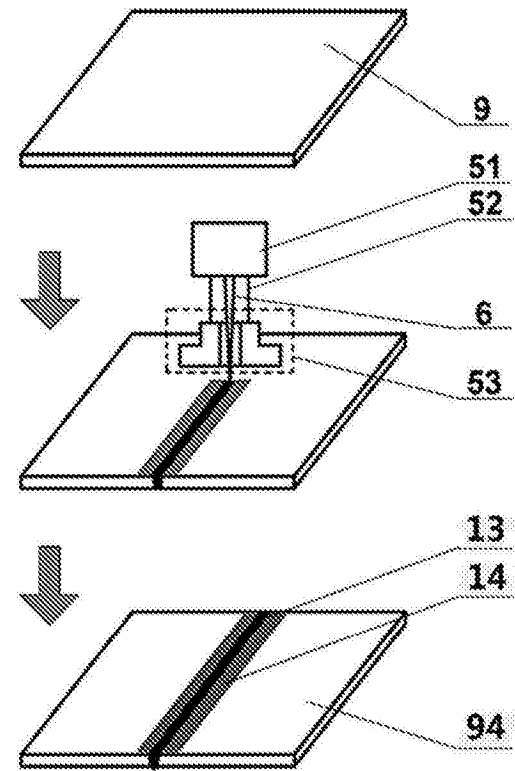


图7

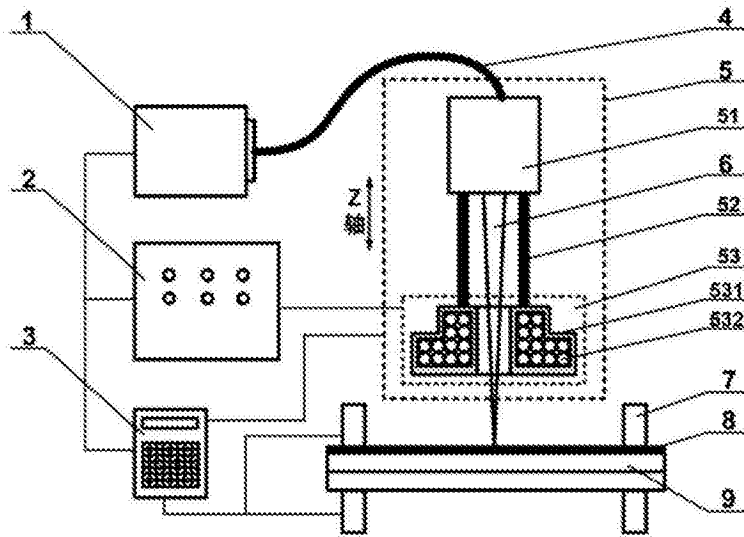


图8

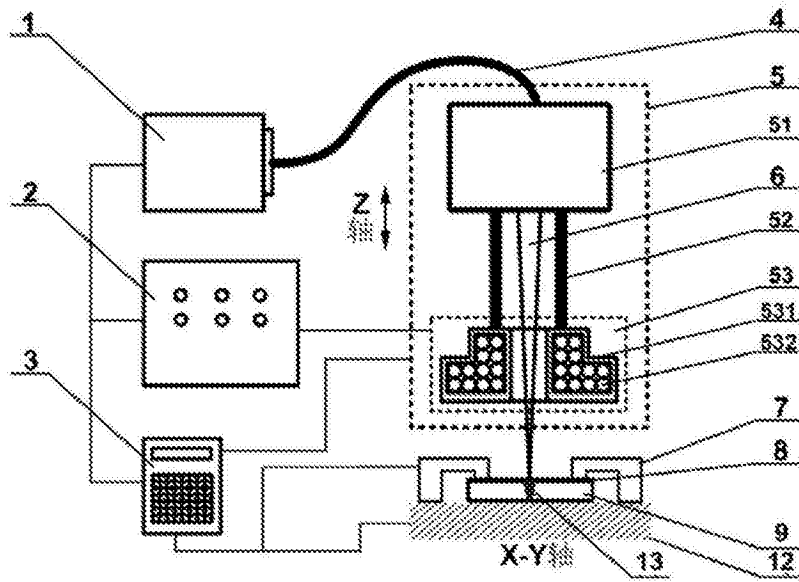


图9

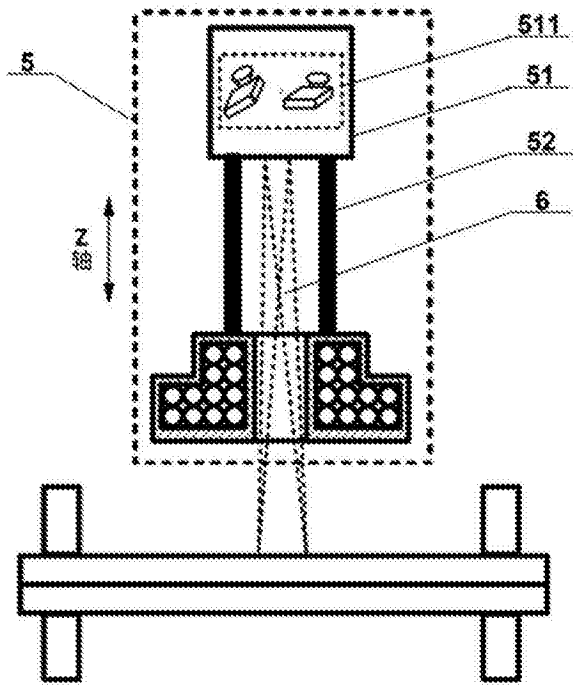


图10

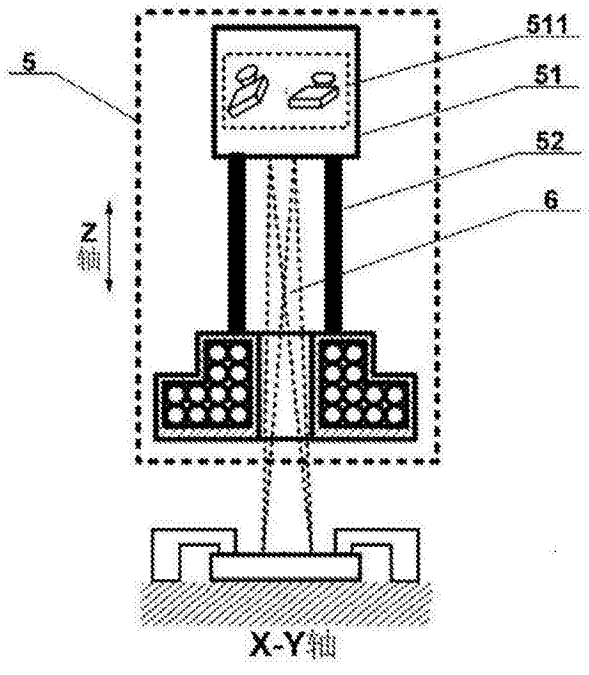


图11

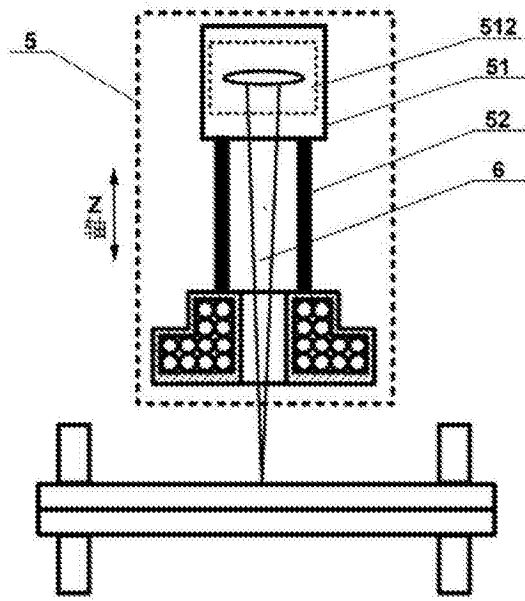


图12

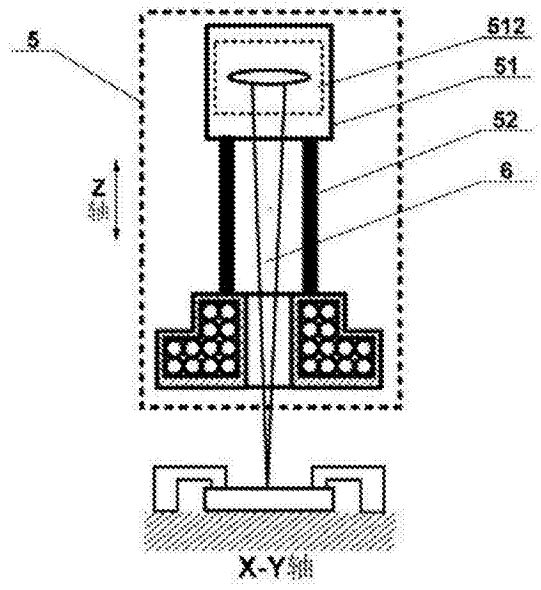


图13

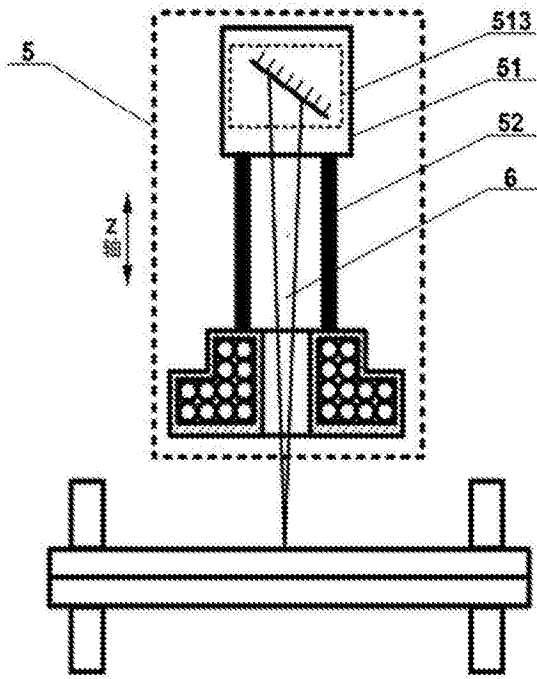


图14

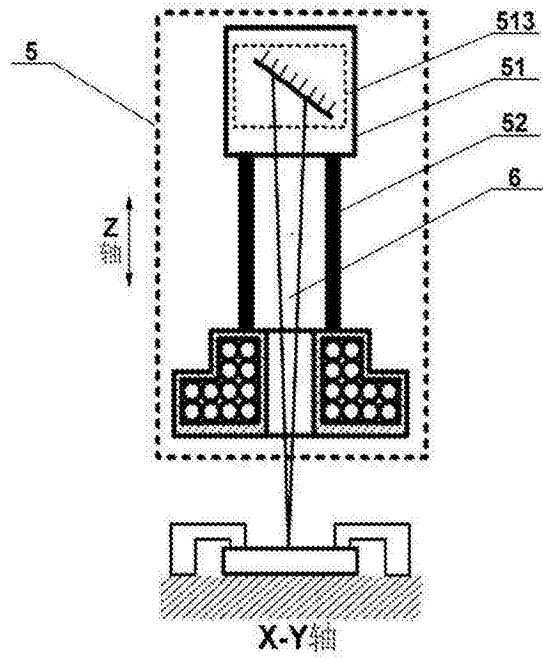


图15

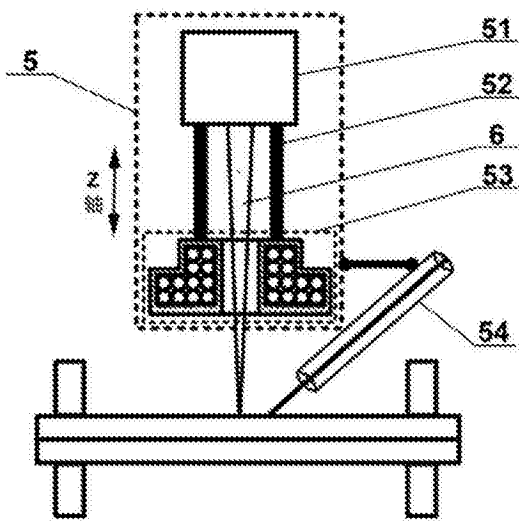


图16

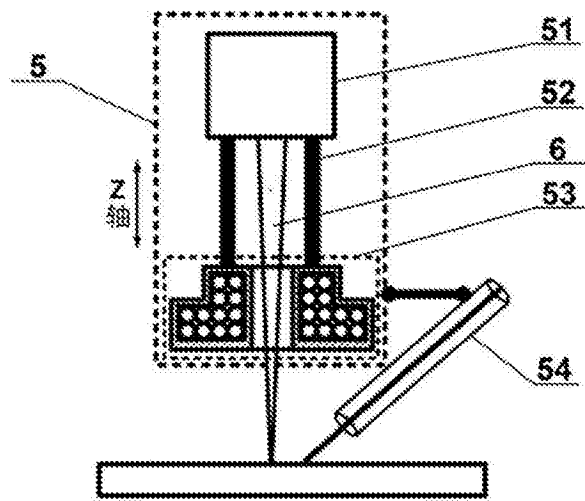


图17

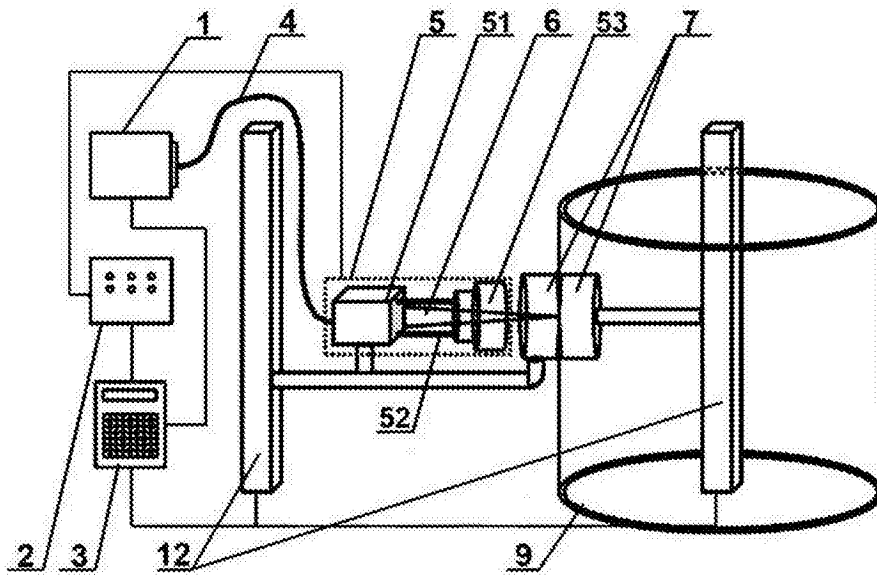


图18

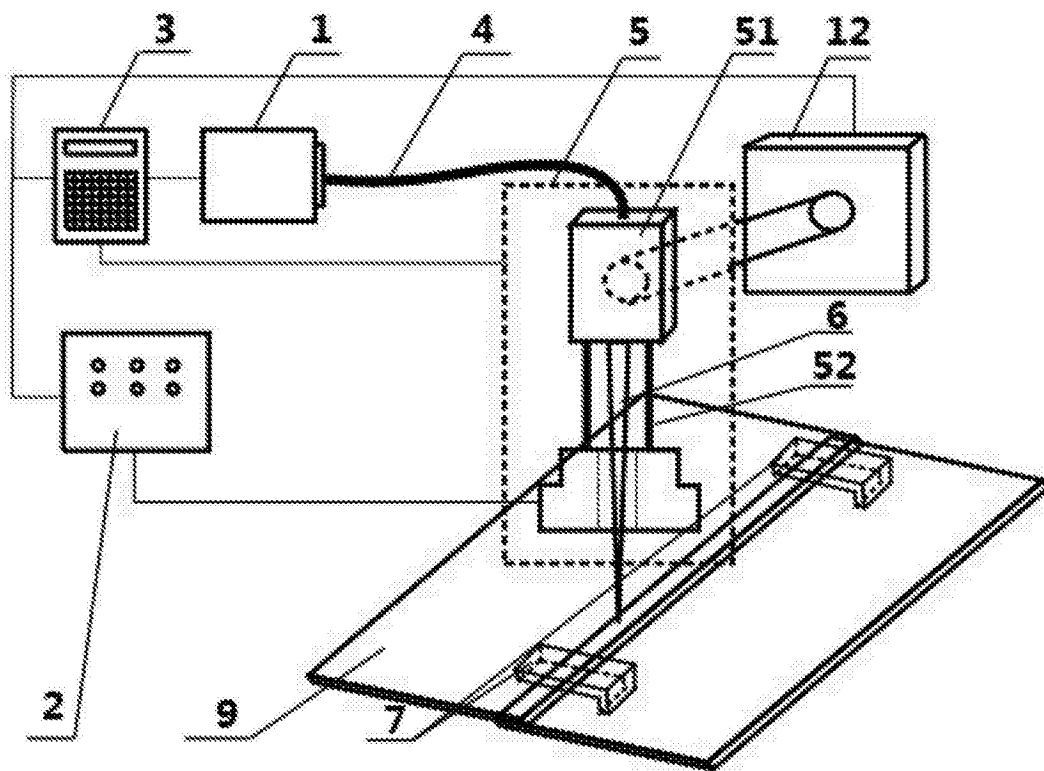


图19

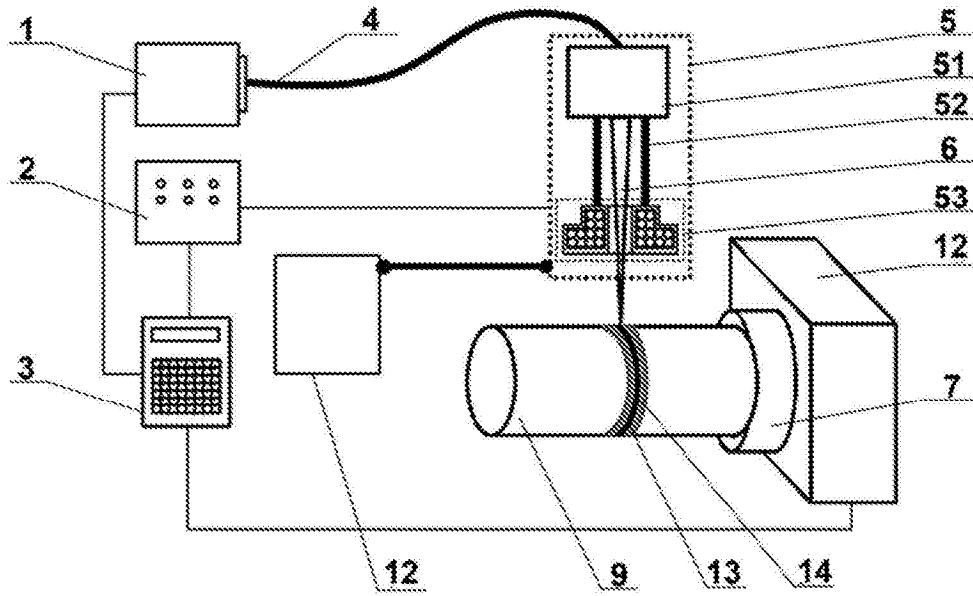


图20