



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104625412 B

(45)授权公告日 2017.02.01

(21)申请号 201410818119.X

(22)申请日 2014.12.24

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104625412 A

(43)申请公布日 2015.05.20

(73)专利权人 江苏科技大学
地址 212003 江苏省镇江市梦溪路2号

(72)发明人 胥国祥 胡庆贤 刘文 张卫卫
刘朋

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

代理人 李晓静

(51) Int. Cl.
B23K 26/348(2014.01)

(56)对比文件

CN 103817413 A, 2014.05.28,
CN 101811231 A, 2010.08.25,
CN 104245221 A, 2014.12.24,
JP 6-142978 A, 1994.05.24,
CN 1806995 A, 2006.07.26,

审查员 董娜娜

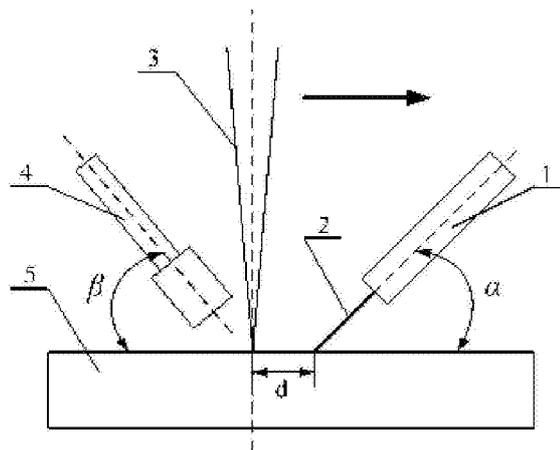
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法

(57)摘要

本发明公开了一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其中采用激光与冷金属过渡电弧作为复合热源,通过熔化铜合金焊丝进行堆焊,铜合金制品由堆焊层逐层叠加。本发明的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,激光与CMT电弧的有效耦合,解决了铜合金送丝方式激光增材制造时粘丝、顶丝、层间未熔合等问题,同时也克服了采用TIG电弧增材制造时热源移动速度慢以及热影响区较宽等缺点,使得复合热源移动速度快,焊接过程稳定,成形良好,质量较高,加工效率明显提升,工艺可靠性增加;此外,由于激光不被用于熔化焊丝,且电弧的其预热提高了铜合金对激光的吸收率,从而降低了该工艺对激光功率的要求。



1. 一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其中采用激光与冷金属过渡电弧作为复合热源,通过熔化铜合金焊丝进行堆焊,铜合金制品由堆焊层逐层叠加,其特征在于,包括以下步骤:

(1)将激光与冷金属过渡电弧组成复合热源,焊丝作为熔化极由冷金属过渡电弧焊枪送出,冷金属过渡电弧焊枪位于基板上方,冷金属过渡电弧焊枪外设有保护气喷嘴,激光焊枪发射的激光照射在基板上;

(2)保护气喷嘴预通保护气一定时间后,在基板上选定起弧位置,先启动冷金属过渡电弧,再启动激光,根据焊道布局进行第一层激光-冷金属过渡复合焊堆焊,每道堆焊层高为0.5-2mm,层宽为2-6mm;

(3)完成第一焊接层后,关闭激光和冷金属过渡电弧,保护气喷嘴继续送保护气3-5s,然后将复合焊枪提高0.5-2mm,将其移至适当位置,再在第一焊层上进行如步骤(2)所述操作以进行第二层堆焊焊件;

(4)重复步骤(3),直至完成铜合金制品的制造;

所述步骤(1)或步骤(2)堆焊层包含多道焊缝,完成前一道焊缝后,冷金属过渡电弧焊枪和激光焊枪侧移1-3mm后进行下一道堆焊,两道焊缝搭接宽度为1-3mm。

2. 根据权利要求1所述的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其特征在于:所述步骤(1)中冷金属过渡电弧焊枪的中轴线与基板上表面的夹角为 $60-70^{\circ}$,保护气喷嘴的中轴线与基板上表面的夹角为 $40-60^{\circ}$,激光与基板的法线方向夹角为 $5-15^{\circ}$,冷金属过渡电弧在基板上的斑点与激光在基板上的斑点距离为0-3mm。

3. 根据权利要求1所述的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其特征在于:所述步骤(1)和步骤(2)中激光功率为400-800W,激光的离焦量为0-3mm,焊接电流为50-150A,焊接电压8-17V,冷金属过渡电弧焊枪的送丝速度2.5-6m/min,冷金属过渡电弧焊枪的焊接速度1-2m/min。

4. 根据权利要求1所述的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其特征在于:所述步骤(2)和步骤(3)中保护气为纯氩或纯氦及其两者混合气体。

5. 根据权利要求1所述的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其特征在于:所述步骤(2)和步骤(3)中保护气喷嘴的保护气体流量15-25L/min,冷金属过渡电弧焊枪喷出焊保护气体,焊保护气体的流量为15-25L/min。

6. 根据权利要求1所述的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其特征在于:所述步骤(1)中的焊丝为铜合金焊丝,铜合金焊丝为ERCuSi-A或ERCuAl-A2,焊丝直径为1.0mm-2.0mm。

7. 根据权利要求1所述的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其特征在于:所述步骤(1)中基板为QSi3-1青铜合金。

一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种铜合金焊接方法,具体涉及一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法。

背景技术

[0002] 目前铜/铜合金制品/部件主要采用铸造和机械加工方式制造,其中机械加工方法尽管加工精度高,但存在材料利用率低、工序繁多复杂、生产周期长、制造成本高等问题;而铸造方法则易产生组织缺陷,影响焊接等后续生产工艺,因此,目前两种制造工艺都无法满足新品快速研制及批量生产的进度要求。金属增材制造技术是在CAD软件驱动下,利用热源熔化金属材料,逐层沉积叠加形成部件的方法,具有生产周期短、成本低、节省材料、制造速度快、受部件几何形状影响小等优点,已成为快速制造金属部件越来越有吸引力的解决方案,适合铜合金制品/部件的快速成形以及零件的修复。

[0003] 在金属增材制造过程中,熔化的金属材料主要分为粉末状和丝材状。相对于前者,后者材料利用率高、金属沉积率快,组织致密性好、经济性强,且无粉尘污染,因此,受到人们越来越多的重视。而增材制造中采用的热源主要有激光、TIG电弧、电子束等。其中激光热源由于能量密度高、作用范围小、能量精确可控且不需要真空,成为目前增材制造中采用最为广泛的热源,但在激光送丝增材制造时,粘丝、顶丝、层间未熔合等问题严重,工艺稳定性较差;TIG电弧热源作用面积大且制造成本较低,适于采用丝状材料,但电弧能量密度低、热流分布可控性较差、热影响区较大,且电弧形态受其运行速度限制较大,热源移动速度慢;而电子束由于成本高、且需要真空条件,使其应用受到限制。可以看出,现有送丝方式金属增材制造技术都存在各自的不足,无法满足优质、高效的要求。

[0004] 而对于铜合金材料,由于其热导率较大,且对激光的反射率很高,因此,采用送丝方式激光增材制造工艺时,除存在上述问题外,激光热效率较低,需要更高功率峰值的激光器功,从而进一步提高成本。而采用TIG电弧热源时,需要较大热输入,从而导致更大的焊接应力及热影响区范围,晶粒长大严重,严重损害制品/部件力学性能和机械性能。此外,铜及铜合金熔融金属流动性强,若热源功率过大,熔池成形较为困难。采用MIG电弧时,焊丝作为熔化极可以较好的避免粘丝、顶丝等问题,但传统MIG电弧对形件热输入较TIG电弧更大,影响其组织性能。

[0005] 冷金属过渡技术(C^old Metal Transfer,CMT)作为一种新型焊接工艺,其通过焊丝的机械回抽促使熔滴脱离焊丝,可实现极低电流或无电流条件下的熔滴过渡,降低了熔池及熔滴的温度,具有热输入低、熔滴过渡稳定、无飞溅、变形小等优点,具有应用于铜合金丝材方式增材制造的巨大潜力。但焊接速度较快时,由于热输入较少,仍会出现焊缝成形较差、层间未熔合等问题。

[0006] 为了克服激光与电弧两者的缺点,研究者将激光与电弧向结合,形成激光+电弧复合热源焊接技术。目前针对该焊接工艺的研究主要集中于激光与传统MIG/MAG焊的联合,针对激光+CMT复合热源焊接研究较少,仅应用于钢材的初步焊接实验,但尚未开展铜合金送

丝方式复合热源增材制造研究。专利《一种激光-冷金属过渡电弧复合热源焊接方法》(及其文献材料)公开了一种激光+CMT复合热源法,但主要用于不锈钢、高强钢等钢材的焊接过程,目的是为了提高CMT焊的熔深及熔宽,改善焊缝成形。与不锈钢、高强钢等相比,铜合金对光和热的反射能力强、热导率高,难于熔化;更易于氧化及形成气孔;热膨胀系数及收缩率大,易出现裂纹;此外,铜合金表面张力小,成形困难,因此,钢的焊接工艺规范(工艺参数、保护措施等)不适于铜合金激光+CMT复合焊。如,针对上述专利方案缺乏额外气体保护,保护效果较差,易造成氧化和气孔;而激光与焊件垂直,易造成激光器的损害。

发明内容

[0007] 发明目的:为了克服现有技术中存在的不足,本发明提供一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,由于CMT焊可在电流极低或为零条件下实现熔滴过渡,热输入少,避免了形件过热,从而实现了铜合金的优质、高效增材制造。

[0008] 技术方案:为解决上述技术问题,本发明的一种铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,其中采用激光与冷金属过渡电弧作为复合热源,通过熔化铜合金焊丝进行堆焊,铜合金制品由堆焊层逐层叠加,其特征在于,包括以下步骤:

[0009] (1)将激光与冷金属过渡电弧组成复合热源,焊丝作为熔化极由冷金属过渡电弧焊枪送出,冷金属过渡电弧焊枪位于基板上方,冷金属过渡电弧焊枪外设有保护气喷嘴,激光焊枪发射的激光照射在基板上;

[0010] (2)保护气喷嘴预通保护气5s,在基板上选定起弧位置,先启动冷金属过渡电弧在启动激光,根据焊道布局进行第一层激光-冷金属过渡复合焊堆焊,每道堆焊层高为0.5-2mm,层宽为2-6mm;

[0011] (3)完成第一焊接层后,关闭激光和冷金属过渡电弧,保护气喷嘴继续送保护气3-5s,然后将复合焊枪提高0.5-2mm,将其移至适当位置,再在第一焊层上进行如步骤(2)所述操作以进行第二层堆焊焊件;

[0012] (4)重复步骤(3),直至完成铜合金制品的制造。

[0013] 作为优选,所述步骤(1)或步骤(2)堆焊层包含多道焊缝,完成前一道焊缝后,冷金属过渡电弧焊枪和激光焊枪侧移1-3mm后进行下一道堆焊,两道焊缝搭接宽度为1-3mm。

[0014] 作为优选,所述步骤(1)中冷金属过渡电弧焊枪的中轴线与基板上表面的夹角为 60° - 70° ,保护气喷嘴的中轴线与基板上表面的夹角为 40° - 60° ,激光与基板的法线方向夹角为 5° - 15° ,冷金属过渡电弧在基板上的斑点与激光在基板上的斑点距离为0-3mm,超出此范围成形较差,易造成激光器损伤。

[0015] 作为优选,所述步骤(1)和步骤(2)中激光功率为400-800W,激光的离焦量为0-3mm,焊接电流为50-150A,焊接电压8-17V,冷金属过渡电弧焊枪的送丝速度2.5-6m/min,冷金属过渡电弧焊枪的焊接速度1-2m/min,超出此范围成形较差。

[0016] 作为优选,所述步骤(2)和步骤(3)中保护气为纯氩或纯氦及其两者混合气体。

[0017] 作为优选,所述步骤(2)和步骤(3)中保护气喷嘴的保护气体流量15-25L/min,冷金属过渡电弧焊枪喷出焊保护气体,焊保护气体的流量为15-25L/min。

[0018] 作为优选,所述步骤(1)中的焊丝为铜合金焊丝,铜合金焊丝为ERCuSi-A或ERCuAl-A2,焊丝直径为1.0mm-2.0mm。

[0019] 作为优选,所述步骤(1)中基板为QSi3-1青铜合金。

[0020] 在本发明中,激光热源为CO₂激光、Nd:YAG激光、光纤激光,输出类型为连续输出或脉冲输出。

[0021] 除材料特性不同外,本发明是将激光+冷金属过渡复合技术应用增材制造过程,而基于堆焊的增材制造技术与普通工件焊接技术的工艺要求及特点不同。焊接主要实现不同工件的连接或表面处理;而增材制造需要通过多层堆焊金属的叠加,完成一定性能、形状和尺寸要求的制品,即由堆焊层金属构成形件制品;其对堆焊层叠加后的形状、尺寸要求较为苛刻,并非仅简单对熔深、熔宽有所要求;而且增材制造时焊层、布道较多,热过程更为复杂,材料性能组织更难于控制,因此,增材制造堆焊过程中对焊接热量分布模式、熔池流体动力学特征、焊枪移动方式、熔池保护条件等与普通堆焊过程要求不同。

[0022] 有益效果:本发明的铜合金激光-冷金属过渡复合热源增材制造的方法,将激光与CMT电弧热源相结合,通过电弧自熔实现金属沉积,依靠堆焊焊层的叠加完成铜合金制品/部件成形,从而避免了激光送丝增材制造和传统TIG电弧送丝增材的缺点,同时又综合了两者的优点,实现铜合金制品/部件的高效、优质增材制造;激光与CMT电弧的有效耦合,解决了铜合金送丝方式激光增材制造时粘丝、顶丝、层间未熔合等问题,同时也克服了采用TIG电弧增材制造时热源移动速度慢以及热影响区较宽等缺点,使得复合热源移动速度快,焊接过程稳定,成形良好,质量较高,加工效率明显提升,工艺可靠性增加,易于实现自动化;此外,由于激光不被用于熔化焊丝,且电弧的其预热提高了铜合金对激光的吸收率,从而降低了该工艺对激光功率的要求,因此,该发明不需要大功率激光器,设备成本相对较低。

附图说明

[0023] 图1为本发明焊接装置的示意图;

[0024] 图2为本发明中实例1和实例2激光+CMT复合热源增材制造铜合金零件示意图;

[0025] 图3为本发明中实例3激光+CMT复合热源增材制造铜合金零件示意图。

[0026] 图中:1为CMT焊枪;2为焊丝;3为激光焊枪;4为保护气喷嘴;5为基板; α 为CMT焊枪与水平面之间夹角; β 为保护气喷嘴与水平面之间夹角;d为光丝间距。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0028] 如图1所示,本发明的焊接平台:ABB焊接机器人及旋转控制台;保护气体:采用高纯氩气作为保护气体;焊接电源:采用Fronius TPS4000型焊接电源;激光器:采用美国IPG YLS-6000激光器,额定功率6kW,波长1.06 μ m,辅助保护气体为保护气喷嘴4喷出,复合焊枪包含CMT焊枪1和激光焊枪3,冷金属过渡电弧在基板5上的斑点与激光在基板5上的斑点距离为光丝间距。

[0029] 实例1

[0030] 如图2所示的铜合金构件尺寸为100mm \times 10mm \times 40mm,由40层堆焊焊层构成,每层层高为1mm,每层焊缝由7道焊缝组成。

[0031] 焊接工艺参数:焊丝2采用直径1.2mm的ERCuSi-A,焊接电流为80A,焊接电压为9.9V,激光功率为500W,送丝速度3.7m/min,焊接速度为1.2m/min,CMT保护气体流量为16L/

min,保护气喷嘴4喷出的保护气体流量为18L/min。

[0032] 具体方案如下:

[0033] (1)将激光焊枪3、CMT焊枪1、保护气喷嘴4固定,冷金属过渡电弧在前,激光在后,光丝间距为1mm,离焦量为3mm,CMT焊枪1与水平面角度成 70° ,激光输入与基板5法向角度为 10° ,保护气喷嘴4与水平面角度成 40° ;

[0034] (2)采用8mm厚QSi3-1作为基板5,预通保护气5s,选定起弧位置,先启动冷金属过渡电弧,再启动激光,优选0.4s-1s后启动激光,焊接时先启动电弧是为了提前预热基板或后续铜合金焊丝材料,以提高其对激光的吸收效率,避免激光反射能量过大,损伤激光器及其他设备,激光停留0.8s,CMT电弧预停1.5s,进行第一层第一道堆焊焊接,焊缝宽度为2mm,余高为0.5mm;

[0035] (3)完成第一层第一道焊缝后,关闭复合焊热源,继续通气5s,将复合焊枪向外移动1.5mm;然后旋转 180° ,启动激光和冷金属过渡电弧,反向进行第一层第二道堆焊,焊缝搭接为1.5mm;

[0036] (4)完成第一层第二道焊缝后,重复步骤(3)完成其余5道堆焊焊缝;

[0037] (5)完成第一层焊缝后,将冷金属过渡电弧焊枪向上提高0.5mm;在第一层第一道焊缝起弧位置起弧,进行第二层第一道焊缝;

[0038] (6)重复步骤(2)至(5),直至完成制品,共由40层组成;

[0039] (7)焊后依据需要进行适当应力热处理以及适当的精度加工。

[0040] 实例2

[0041] 如图2所示,铜合金构件为 $100\text{mm}\times 15\text{mm}\times 60\text{mm}$,每层堆焊高度为1.2mm,由50层焊层组成,其中每层焊缝由10道焊缝组成。

[0042] 焊接工艺参数:焊丝2采用直径为1mm的ERCuSi-A,焊接电流为50A,焊接电压为10V,激光功率为400W,送丝速度2.5m/min,焊接速度为1m/min,CMT保护气体流量为15L/min,辅助保护气体流量为15L/min。

[0043] 具体实施方案如下:

[0044] (1)将激光焊枪3、CMT焊枪1、保护气喷嘴4固定,冷金属过渡电弧在前,激光在后,光丝间距为1mm,离焦量为2mm,CMT焊枪1与水平面角度成 60° ,激光输入与基板5法向角度为 5° ,保护气喷嘴4与水平面角度成 40° ;

[0045] (2)采用8mm厚QSi3-1作为基板5,预通保护气5s,选定起弧位置,先启动冷金属过渡电弧,再启动激光,激光停留0.8s,CMT电弧预停1.2s,进行第一层第一道堆焊焊接,焊缝宽度为6mm,余高为2mm;

[0046] (3)完成第一层第一道焊缝后,关闭复合焊热源,继续通气3s,将复合焊枪向外移动1.5mm;然后旋转 180° ,启动激光和冷金属过渡电弧,反向进行第一层第二道堆焊,焊缝搭接为1.5mm;

[0047] (4)完成第一层第二道焊缝后,重复步骤(2)完成其余8道堆焊焊缝。

[0048] (5)完成第一层焊缝后,将复合焊枪向上提高2mm,在第一层第一道焊缝起弧位置起弧,进行第二层第一道焊缝;

[0049] (6)重复步骤(2)和(5),直至完成制品,共由50层组成;

[0050] (7)焊后依据需要进行适当应力热处理以及适当的精度加工。

[0051] 实例3

[0052] 如图3所示,铜合金构件为高90mm,厚20mm,内径为180mm,由60层堆焊焊层组成,每层高度为1.5mm,每层由10组成。

[0053] 焊接工艺参数:焊丝2采用直径为2mm的ERCuSi-A,焊接电流为150A,焊接电压为17V,激光功率为800W,送丝速度6m/min,焊接速度为2m/min,CMT保护气体流量为25L/min,辅助保护气体流量为25L/min。

[0054] 具体实施方案如下:

[0055] (1)将激光焊枪3、CMT焊枪1、保护气喷嘴4固定。冷金属过渡电弧在前,激光在后,光丝间距为3mm,离焦量为0mm,激光与基板5成 15° ,CMT焊枪1与基板5角度成 70° ,保护器喷嘴与基板5成 60° 。

[0056] (2)采用8mm厚QSi3-1铜合金作为基板5,预通气5s,选定起弧位置,先启动电弧,再启动激光,起始阶段激光预留停留0.4s,CMT电弧预停0.8s,顺时针进行第一层第一道圆环堆焊焊接,焊缝宽度为4mm,余高为1.5mm。

[0057] (3)完成第一层第一道焊缝后,关闭复合焊热源,继续通气4s后停气;将复合焊枪向圆环内层外移动2mm;停留4s后启动电源,同样顺时针方向进行第一层第二道堆焊,焊缝搭接为2mm,依据步骤(2)完成第一层其余8道焊缝堆焊;

[0058] (4)依次完成第一层堆焊过程,关闭电源,持续通气2s,然后停止送气,将复合焊枪提高2mm,移至第一层第一道焊缝起弧位置,然后沿焊道顺时针环向移动 30° ;在第一层堆焊焊层上选取起弧点,进行第二层堆焊第一道逆时针堆焊过程。依据上述步骤,进行第二层其余8道堆焊焊缝焊接;

[0059] (5)重复步骤(3)和步骤(4),直至零件的完成,

[0060] (6)焊后依据进行少量尺寸精度加工,及去应力处理。

[0061] 实例4

[0062] 如图3所示,铜合金构件为高90mm,厚20mm,内径为200mm,由80层堆焊焊层组成,每层高度为1.5mm,每层由10组成。

[0063] 焊接工艺参数:焊丝2采用直径1.5mm ERCuAl-A2,焊接电流为120A,焊接电压为16V,激光功率为600W,送丝速度5.6m/min,焊接速度为1.0m/min,CMT保护气体流量为22L/min,辅助保护气体流量为23L/min。

[0064] 具体实施方案如下:

[0065] (1)将激光焊枪3、CMT焊枪1、保护气喷嘴4固定,电弧在前,激光在后,光丝间距为0mm,离焦量为2mm,激光与基板5成 8° ,CMT焊枪1与基板5角度成 65° ,保护器喷嘴与基板5成 50° ;

[0066] (2)采用8mm厚Q235碳钢作为基板5,预通气5s,选定起弧位置,先启动电弧,再启动激光,起始阶段激光预留停留0.4s,CMT电弧预停0.8s,顺时针进行第一层第一道圆环堆焊焊接,焊缝宽度为4mm,余高为1.5mm;

[0067] (3)完成第一层第一道焊缝后,关闭复合焊热源,继续通气4s后停气;将复合焊枪向圆环内层外移动2mm;停留4s后启动电源,同样顺时针方向进行第一层第二道堆焊,焊缝搭接为2mm,依据上述过程完成第一层其余8道焊缝堆焊;

[0068] (4)依次完成第一层堆焊过程,关闭电源,持续通气3s,然后停止送气,将复合焊枪

提高1.5mm,移至第一层第一道焊缝起弧位置,然后沿焊道顺时针环向移动30°;在第一层堆焊焊层上选取起弧点,进行第二层堆焊第一道逆时针堆焊过程,依据上述步骤,进行第二层其余8道堆焊焊缝焊接;

[0069] (5)重复步骤(3)和步骤(4),直至零件的完成;

[0070] (6)焊后依据进行少量尺寸精度加工,及去应力处理。

[0071] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

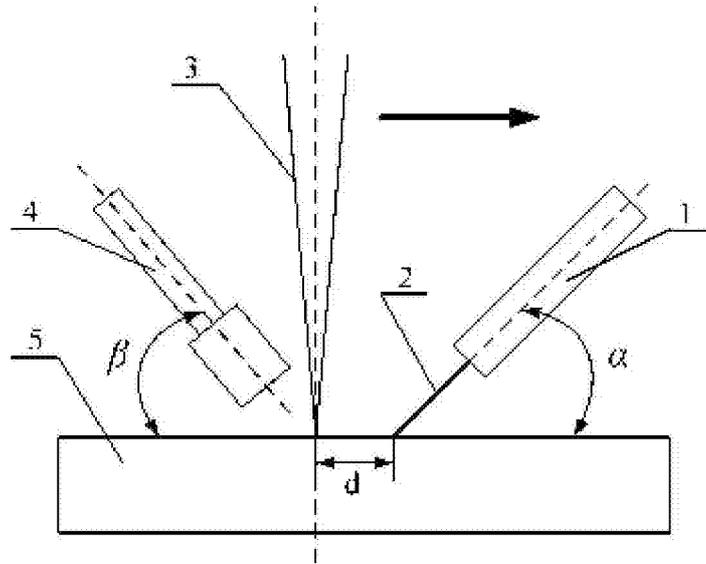


图1

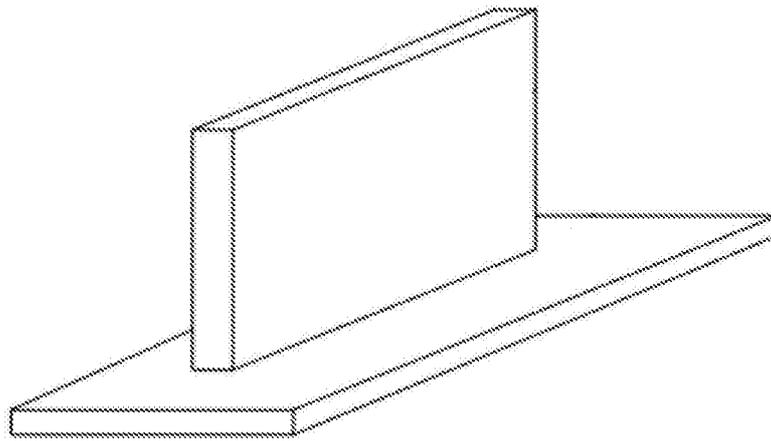


图2

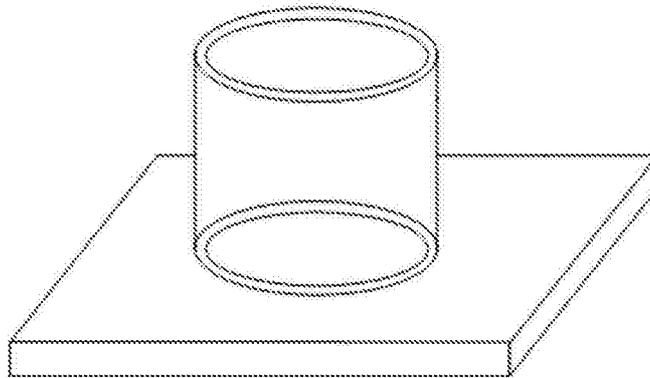


图3