



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108436270 B

(45)授权公告日 2020.09.18

(21)申请号 201810251961.8

B08B 7/00(2006.01)

(22)申请日 2018.03.26

B23K 103/10(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

B23K 101/18(2006.01)

申请公布号 CN 108436270 A

审查员 王杰

(43)申请公布日 2018.08.24

(73)专利权人 中国人民解放军陆军装甲兵学院

地址 100072 北京市丰台区杜家坎21号

(72)发明人 董世运 闫世兴 宋超群 夏丹

刘晓亭 李恩重 徐滨士

(74)专利代理机构 北京律谱知识产权代理事务

所(普通合伙) 11457

代理人 黄云铎

(51)Int.Cl.

B23K 26/26(2014.01)

B23K 26/352(2014.01)

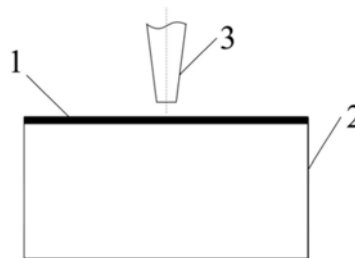
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法

(57)摘要

本发明提供了一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,包括以下步骤:1)采用能量密度为 $I_1$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面织构化处理,形成周期性波纹微结构,增加铝合金待焊接区域的表面粗糙度,所述的 $I_1$ 高于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ;2)采用能量密度为 $I_2$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面清洁化处理,去除铝合金待焊接区域的微结构表面的污染物,增加铝合金待焊接区域的表面清洁度,所述的 $I_2$ 高于铝合金的清洗阈值 $I_c$ 并低于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ;3)在30分钟内的时间内开始铝合金焊接工作。本发明的方法能够同时解决铝合金表面对激光反射率高和表面氧化膜难去除两大问题,可显著提高铝合金焊缝成形质量。



1. 一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 采用能量密度为 $I_1$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面织构化处理,形成周期性波纹微结构,增加铝合金待焊接区域的表面粗糙度,所述的 $I_1$ 高于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ;

2) 采用能量密度为 $I_2$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面清洁化处理,去除铝合金待焊接区域的微结构表面的污染物,增加铝合金待焊接区域的表面清洁度,所述的 $I_2$ 高于铝合金的清洗阈值 $I_c$ 并低于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ;

3) 在30分钟内开始铝合金焊接工作,

为防止预处理过程中铝合金表面受热氧化,上述过程中采用侧吹高纯氩气的方式对激光辐照区域进行气体保护。

2. 根据权利要求1所述的一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,所述的短脉冲激光的脉冲宽度为500ps~500ns,波长为760nm~10.6 $\mu\text{m}$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,所述的铝合金的烧损阈值 $I_a$ 为1.2J/cm<sup>2</sup>,所述的 $I_1$ 取值范围为1.0 $I_a$ ~5.0 $I_a$ 。

4. 根据权利要求3所述的一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,所述的铝合金的清洗阈值 $I_c$ 为0.6J/cm<sup>2</sup>,所述的 $I_2$ 取值范围为 $I_c$ ~0.9 $I_a$ 。

5. 根据权利要求4所述的一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,待焊接的铝合金为两块对接的铝合金板,焊接坡口为I型、V型或U型焊接坡口,待焊接区域包括铝合金板上表面靠近坡口区域(10)、钝边面全部区域(11)和坡口面全部区域(12),对于U型焊接坡口,所述的步骤1)的处理过程为:将铝合金板固定在夹具上,旋转铝合金板使坡口面朝上;设置好激光头的移动轨迹,保证激光束焦点形成的激光辐照区域始终位于U型焊接坡口的曲面上,且激光束始终沿曲面的法线方向入射;激光束形成的线状光斑(13)与曲面的长度方向平行,从曲面的一端开始沿曲面的宽度方向扫过曲面的整个宽度后,将激光头沿曲面的长度方向向曲面的另一端移动,使线状光斑(13)继续沿曲面的宽度方向扫过曲面的整个宽度,直至遍历整个曲面完成铝合金待焊接区域进行表面织构化处理,激光头每次移动后形成的扫描区域与前一次的扫描区域部分重叠。

6. 根据权利要求1所述的一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,经本方法预处理后,所述的铝合金表面微结构具有周期性分布的波纹和波谷,表面粗糙度为1 $\mu\text{m}$ ~100 $\mu\text{m}$ ,表面氧元素的质量分数小于5%。

7. 根据权利要求1所述的一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,所述的污染物为氧化膜、微颗粒。

## 一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于激光表面处理技术领域,特别涉及一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法。

### 背景技术

[0002] 激光焊接具有热影响区小、焊接速度快、焊接质量好、焊接柔性强、便于自动化等优点,已被广泛用于航空、航天、汽车、高速动车等领域。但激光焊接铝合金时存在以下难点:铝合金表面对反射率高,导致激光能量利用率低,甚至会造成光纤和激光器的烧毁;铝合金表面极易生成高熔点的 $Al_2O_3$ 膜,导致焊接稳定性变差,并引起焊缝内出现氢气孔、夹杂等缺陷。因此,激光焊接铝合金前必须对其表面进行预处理,而且与传统电弧焊、等离子弧焊或钢铁、钛合金等材料的激光焊不同,铝合金的激光焊对焊前预处理具有更特殊的要求,焊前既要去除表面的氧化膜,又要降低表面对激光的反射率。

[0003] 焊前去除铝合金表面氧化膜的方法主要有:机械法、化学法和激光清洗法。机械法存在劳动强度大、效率低、质量差、可重复性低等缺点;而化学法工序复杂,清洗周期长,易造成环境污染。与上述两种方法相比,激光清洗法具有质量好、效率高、不损伤基体、绿色环保、便于自动化等优点。现有技术如:1.用于焊接之前覆盖材料的激光清洗的设备和方法,CN201280059967.6;2.一种铝合金氧化膜焊前激光清洗的方法,CN201610322051.5;上述方法主要是从仅去除表面氧化膜的角度考虑,采用能量密度低于铝合金烧损阈值的激光烧蚀金属表面的油污、氧化膜等污染层,并不损伤金属基体,这种方法虽然能有效去除表面氧化膜,但会使铝合金表面变得更加平整光洁,从而会加剧铝合金表面对激光的反射。

[0004] 焊前降低铝合金表面对激光反射率的主要方法有:喷砂抛丸法、涂覆活性剂法和激光毛化法。喷砂抛丸法通过增加表面粗糙度方式降低反射率,但对材料表面损伤大,易引起薄板的变形;涂覆活性剂法通过提高表面活性的方式降低反射率,但易引起焊缝夹杂,并造成环境污染。激光毛化具有效率高、绿色环保、可控性好、便于自动化等优点。现有技术如:1.高反射材料的激光焊接方法,CN201410357139.1;2.一种用于金属激光毛化的全固态激光器,CN201010540123.6;上述方法都是从仅降低表面反射率的角度考虑,采用能量密度高于铝合金烧损阈值的激光同时烧蚀金属基体及其表面氧化膜,通过增加表面粗糙度的方式降低反射率,这种方法虽然能有效降低表面反射率,但由于激光能量密度过大,在激光烧蚀过程中铝合金表面会产生一层新的氧化膜,新氧化膜的存在将导致焊接质量变差。

[0005] 目前,用于铝合金表面预处理方法大都局限于目的单一或作用单一,如激光清洗法、化学清洗法仅能用来去除表面氧化膜,而激光毛化法、涂覆活性剂法仅能用来降低表面对激光的反射率。由于铝合金激光焊前表面预处理的特殊性,单一的去表面氧化膜或降低表面反射率均无法满足要求,难以获得良好的焊接质量。因为,激光清洗法和激光毛化法之间的相互作用机理复杂,互相牵制影响各自的处理质量,因此,现在技术中还没有将两种处理方法结合的功能多样化、复合化的表面预处理技术。

## 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供了一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,能够同时解决铝合金表面对激光反射率高和表面氧化膜难去除两大问题,可显著提高铝合金焊缝成形质量。

[0007] 本发明的具体技术方案是一种用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] 1) 采用能量密度为 $I_1$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面织构化处理,形成周期性波纹微结构,增加铝合金待焊接区域的表面粗糙度,所述的 $I_1$ 高于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ;

[0009] 2) 采用能量密度为 $I_2$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面清洁化处理,去除铝合金待焊接区域的微结构表面的污染物,增加铝合金待焊接区域的表面清洁度,所述的 $I_2$ 高于铝合金的清洗阈值 $I_c$ 并低于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ;

[0010] 3) 在30分钟内的时间内开始铝合金焊接工作。

[0011] 更进一步地,所述的短脉冲激光的脉冲宽度为500ps~500ns,波长为760nm~10.6 $\mu\text{m}$ 。

[0012] 更进一步地,所述的铝合金的烧损阈值 $I_a$ 约为1.2J/cm<sup>2</sup>,所述的 $I_1$ 取值范围为1.0 $I_a$ ~5.0 $I_a$ 。

[0013] 更进一步地,所述的铝合金的清洗阈值 $I_c$ 约为0.6J/cm<sup>2</sup>,所述的 $I_2$ 取值范围为 $I_c$ ~0.9 $I_a$ 。

[0014] 更进一步地,待焊接的铝合金为两块对接的铝合金板,焊接坡口可以为I型、V型或U型焊接坡口,待焊接区域包括铝合金板上表面靠近坡口区域(10)、钝边面全部区域(11)和坡口面全部区域(12),对于U型焊接坡口,所述的步骤1)的处理过程为:将铝合金板固定在夹具上,旋转铝合金板使坡口面朝上;设置好激光头的移动轨迹,保证激光束焦点形成的激光辐照区域始终位于U型焊接坡口的曲面上,且激光束始终沿曲面的法线方向入射;激光束形成的线状光斑(13)与曲面的长度方向平行,从曲面的一端开始沿曲面的宽度方向扫过曲面的整个宽度后,将激光头沿曲面的长度方向向曲面的另一端移动,使线状光斑(13)继续沿曲面的宽度方向扫过曲面的整个宽度,直至遍历整个曲面完成铝合金待焊接区域进行表面织构化处理,激光头每次移动后形成的扫描区域与前一次的扫描区域部分重叠。

[0015] 更进一步地,经本方法预处理后,所述的铝合金表面微结构具有周期性分布的波纹和波谷,表面粗糙度为1 $\mu\text{m}$ ~100 $\mu\text{m}$ ,表面氧元素的质量分数小于5%。

[0016] 更进一步地,所述的污染物为氧化膜、微颗粒等。

[0017] 本发明的有益效果是1) 本发明的用于铝合金激光焊接的表面预处理方法,通过将两种功率密度的短脉冲激光对铝合金表面依次进行织构化处理和清洁化处理的过程有机的结合到一起,可得到反射率低、清洁度高和润湿性良好的周期性波纹结构,能同时解决铝合金表面对激光反射率高、氧化膜难去除问题,可显著提高焊缝成形质量。并且同时进行两种处理方法,便于实现自动化且绿色无污染的智能表面处理;2) 对于采用填充焊丝的铝合金激光焊接,表面预处理状态还直接影响焊接熔滴在铝合金表面的铺展润湿性。根据威舍尔(Wenzel)公式,焊接前在铝合金表面预先制备出周期性波纹微结构,可减小焊接熔滴与铝合金表面的表观接触角,促进液态熔滴在铝合金表面的铺展润湿性,也能提高焊接成形

质量;3) 设定的短脉冲激光参数和织构化处理、清洁化处理的激光能量,实践证明能够很好地完成织构化处理、清洁化处理,并且不会相互制约影响,能够很好地提高焊缝质量;4) 本发明的方法提出了针对各种坡口类型的具体焊接方法,特别针对U型坡口提供详细的焊接方案,能够完成各类型坡口的焊接作业。

### 附图说明

[0018] 图1为本发明的用于铝合金激光焊接的表面预处理方法中对铝合金表面进行织构化处理示意图;

[0019] 图2为本发明的用于铝合金激光焊接的表面预处理方法中对铝合金表面进行清洁化处理示意图;

[0020] 图3为采用本发明的方法进行表面织构化和清洁化处理后的铝合金表面周期性波纹结构示意图;

[0021] 图4为I型、V型和U型焊接坡口的结构示意图;

[0022] 图5为焊接坡口不同位置对应的预处理过程示意图;

[0023] 图6为实施例1中未采用本发明方法进行预处理铝合金表面的原始三维形貌;

[0024] 图7为实施例1中采用本发明方法进行预处理后铝合金表面的周期性波纹结构三维形貌;

[0025] 图8为实施例1中焊前未采用本发明方法进行预处理得到的焊缝成形外观和横截面形貌;

[0026] 图9为实施例1中焊前采用本发明方法进行预处理得到的焊缝成形外观和横截面形貌;

[0027] 其中,1-铝合金表面原始氧化膜,2-铝合金基体,3-高能量密度短脉冲激光,4-低能量密度短脉冲激光,5-表面织构化后形成的新氧化膜,6-表面织构化后形成的微颗粒,7-表面清洁化后形成的周期性波纹结构,8-波峰,9-波谷,10-上表面靠近坡口区域,11-钝边面全部区域,12-坡口面全部区域,13-线状光斑。

### 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0029] 本发明的用于铝合金激光焊接的表面预处理方法是从去除表面氧化膜和降低表面反射率的角度,先通过表面织构化处理降低表面反射率,再通过清洁化处理去除表面氧化膜。图1和图2分别为表面织构化和清洁化处理的原理示意图,图3为处理后的情况示意图。采用的短脉冲激光的脉冲宽度为500ps~500ns,波长为760nm~10.6 $\mu$ m,具体实施步骤为:

[0030] 1) 采用能量密度为 $I_1$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面织构化处理,形成周期性波纹微结构,增加铝合金待焊接区域的表面粗糙度,所述的 $I_1$ 高于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ,所述的铝合金的烧损阈值 $I_a$ 约为1.2J/cm<sup>2</sup>,所述的 $I_1$ 取值范围为1.0 $I_a$ ~5.0 $I_a$ 。

[0031] 对于铝合金板的具体处理方法如下:

[0032] a) 采用线切割、车铣、刨磨等加工方式在铝合金待焊接区域制备如图4所示的I型、V型或U型焊接坡口,待预处理区域包括:上表面靠近坡口区域10、钝边面全部区域11和坡口

面全部区域12,

[0033] b) 短脉冲激光工作方式:激光器产生的点状光斑在激光头内被X方向振镜偏转,沿X方向以一定的速度(扫描速度 $v_c$ )高速扫描,形成线状光斑13,采用三维机床或六轴机器人控制激光头的位置和运动,使线状光斑13沿Y方向以一定的速度(移动速度 $v_m$ )移动,激光辐照区域始终位于激光束焦平面上,并与激光入射方向垂直,

[0034] c) 上表面靠近坡口区域10的预处理过程为:固定一侧铝合金板,使其上表面与水平面平行;调整激光头的位置,使激光束焦平面与试板上表面重合,且激光束入射方向与试板上表面垂直;先采用能量密度 $I_1$ 高于所焊铝合金烧损阈值 $I_a$ 的短脉冲激光以一定的扫描速度 $v_{c1}$ 和移动速度 $v_{m1}$ 对试板上表面进行织构化处理;再采用能量密度 $I_2$ 高于所焊铝合金清洗阈值 $I_c$ 且低于所焊铝合金的烧损阈值 $I_a$ 的短脉冲激光以一定的扫描速度 $v_{c2}$ 和移动速度 $v_{m2}$ 对试板上表面进行清洁化处理;上述过程中, $I_1$ 取值范围为 $1.2I_a \sim 10.0I_a$ , $I_2$ 取值范围为 $I_c \sim 0.9I_a$ ,线状光斑13移动方向为从A点到D点(见图5),线状光斑尺寸应大于5mm;以相同方式预处理另一侧铝合金板,

[0035] d) 钝边面区域(11)预处理过程为:旋转并固定一侧铝合金板,使其钝边面与水平面平行,线状光斑尺寸应大于钝边面宽度,其它过程与步骤c)相同,

[0036] e) 若采用V型坡口,坡口面(12)为平面,预处理过程为:旋转并固定一侧铝合金板,使其坡口面与水平面平行,线状光斑尺寸应大于坡口面宽度,其它过程与步骤c)相同,

[0037] f) 若采用U型坡口,坡口面(12)为曲面,预处理过程为:旋转并固定一侧铝合金板,使坡口面朝上;预先设置好激光头的移动轨迹,保证激光束焦点始终位于激光辐照区域的曲面上,且激光束始终沿曲面的法线方向入射;线状光斑13移动方向为从A点到B点,然后平移到C点,再从C点到D点,依次移动(见图5),直到完成整个曲面的预处理;其它过程与步骤c)相同;

[0038] 2) 采用能量密度为 $I_2$ 的短脉冲激光对铝合金待焊接区域进行表面清洁化处理,去除铝合金待焊接区域的微结构表面的污染物(氧化膜、微颗粒等),增加铝合金待焊接区域的表面清洁度,所述的 $I_2$ 高于铝合金的清洗阈值 $I_c$ 并低于铝合金的烧损阈值 $I_a$ ,所述的铝合金的清洗阈值 $I_c$ 约为 $0.6\text{J}/\text{cm}^2$ ,所述的 $I_2$ 取值范围为 $I_c \sim 0.9I_a$ ,具体的处理过程参加步骤1)中的处理过程;

[0039] 3) 为防止预处理后铝合金表面发生自然氧化,预处理完成后应尽快进行激光焊接,预处理完成到开始激光焊接之间的时间间隔应不超过30分钟。

[0040] 为防止预处理过程中铝合金表面受热氧化,上述过程中采用侧吹高纯氩气的方式对激光辐照区域进行气体保护。经本发明的方法预处理后,所述的铝合金表面微结构具有周期性分布的波纹和波谷,表面粗糙度为 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ ,表面氧元素的质量分数小于5%。

[0041] 实施例1

[0042] 待焊接材料为10mm厚7A52铝合金板。表面织构化和清洁化处理均采用脉冲宽度为100ns、脉冲频率为30kHz、波长为1064nm的IPG光纤激光器,激光工作方式为:先采用扫描振镜使点状激光束沿某一方向高速扫描形成线状激光束,再通过机器人控制线状激光束在垂直方向移动。

[0043] 表面织构化的工艺参数:激光能量密度为 $5.2\text{J}/\text{cm}^2$ ,扫描速度为1500mm/s,移动速度为0.5mm/s,线状光斑尺寸为50mm。表面清洁化的工艺参数:激光能量密度为 $0.9\text{J}/\text{cm}^2$ ,扫

描速度为1000mm/s,移动速度为0.2mm/s,线状光斑尺寸为50mm。

[0044] 预处理前后铝合金表面的三维形貌如图6和图7所示。未预处理铝合金表面的氧元素质量分数为16.54%,表面粗糙度为0.82 $\mu\text{m}$ ,经表面微织构化和清洁化处理后,得到的铝合金表面氧元素质量分数为2.44%,表面粗糙度为3.21 $\mu\text{m}$ 。

[0045] 铝合金表面氧元素质量分数与表面氧化膜的含量成正比,表面氧元素质量分数越低,说明表面氧化膜去除效果越好,表面清洁度越高;铝合金表面对激光的反射率与表面粗糙度成反比,表面粗糙度越大,说明表面对激光反射率越小。因此,上述测试结果可说明:经表面微织构化和清洁化处理后,铝合金表面的清洁度显著增加,表面对激光的反射率显著降低。

[0046] 为进一步说明本发明可提高铝合金的激光焊缝成形质量。分别在上述未预处理和预处理后的铝合金表面进行不开焊接坡口的平板激光焊接试验,焊接设备为YLR-4000型IPG光纤激光器,焊接工艺参数:激光功率为3200W,焊接速度为0.6m/min,送丝速度为2.0m/min,离焦量为+10mm,整个焊接过程采用高纯Ar作为保护气体,气流量为20L/min。

[0047] 图8和图9分别为焊前未预处理和焊前预处理得到激光焊缝的成形外观和横截面形貌。对比可发现,焊前未预处理得到焊缝成形不连续,出现“驼峰”缺陷,焊缝内部存在宏观气孔缺陷,而焊前预处理得到的焊缝成形更均匀连续,内部没有明显的焊接缺陷,说明:铝合金表面经表面微织构化和清洁化处理后,熔滴在铝合金表面的铺展润湿性增加,焊缝成形质量得到显著提高。

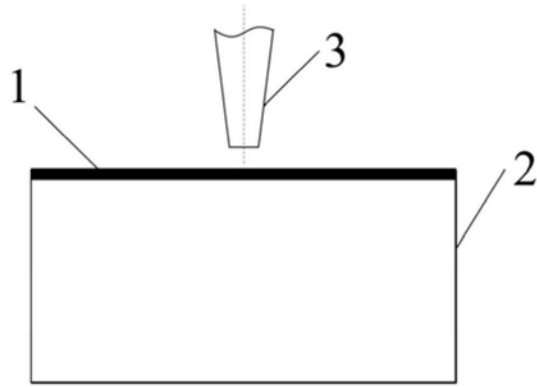


图1

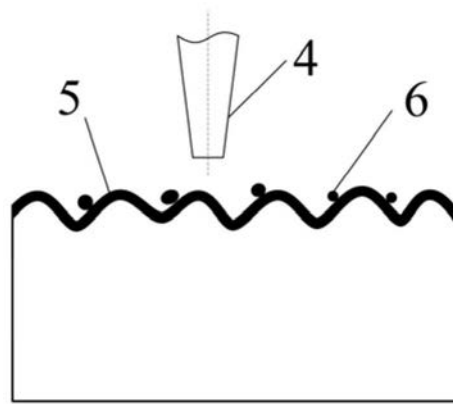


图2

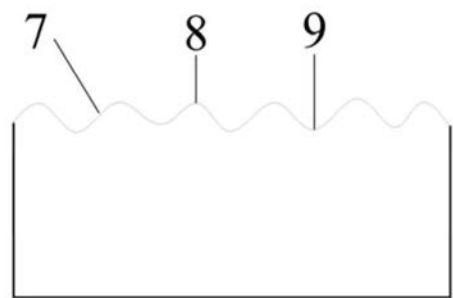


图3



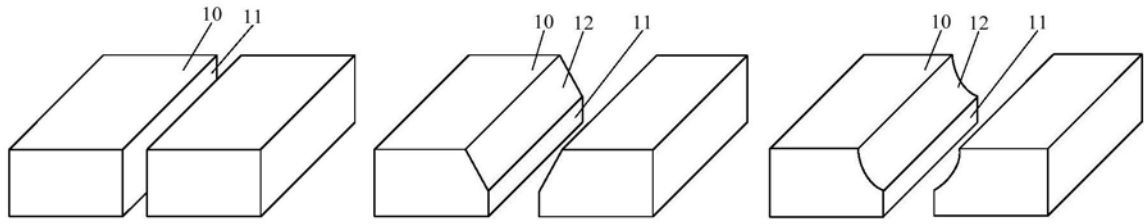


图4

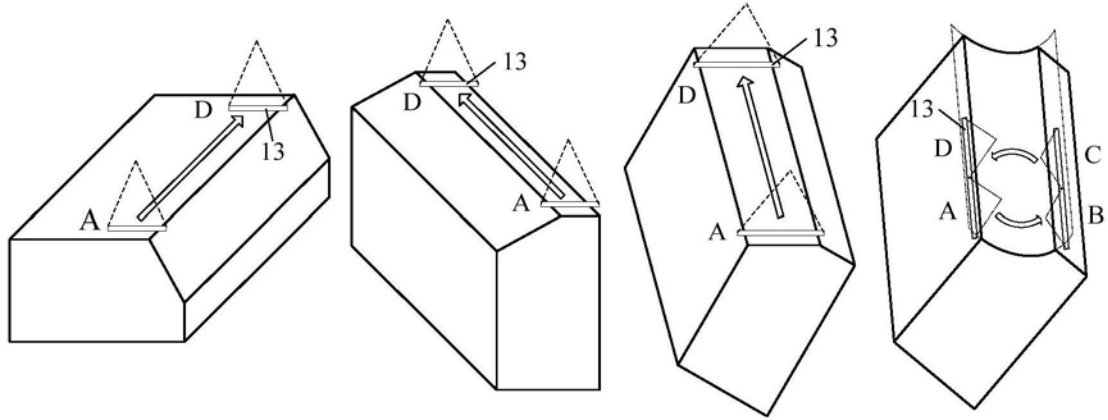


图5

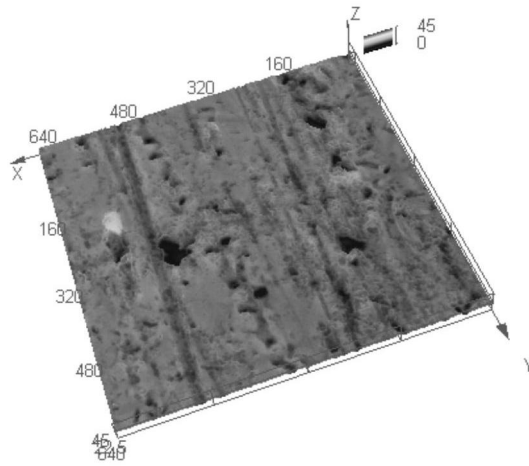


图6

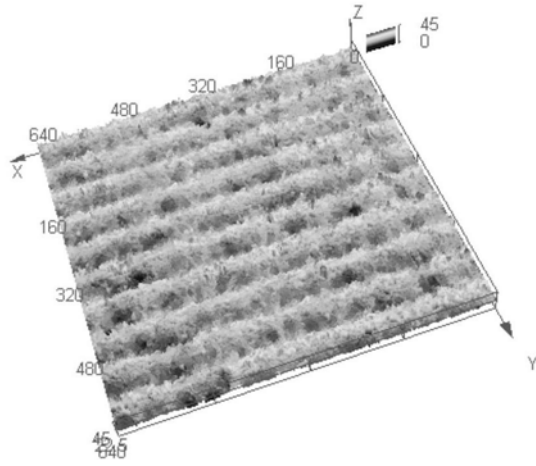


图7



图8



图9