



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115026401 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 09

(21) 申请号 202210955430.3

(22) 申请日 2022.08.10

(71) 申请人 太原科技大学

地址 030024 山西省太原市万柏林区窰流路66号

(72) 发明人 李岩 杨德智 杨文字 吴志生  
刘翠荣

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

专利代理师 赵祺

(51) Int. Cl.

B23K 20/06 (2006.01)

B23K 20/24 (2006.01)

B23K 20/26 (2006.01)

B08B 7/00 (2006.01)

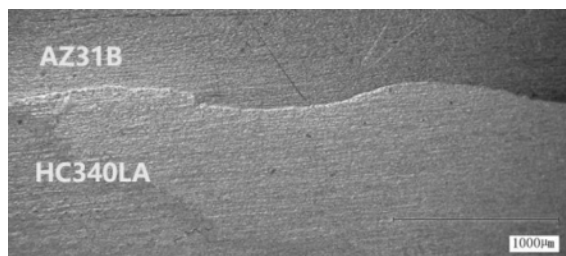
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法

(57) 摘要

本发明涉及一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,属于异种金属焊接技术领域,解决镁/钢无过渡层直接连接的技术问题,本发明使用变形能力好的钢板作为飞板,镁合金板作为基板,通过焊前对镁合金板退火韧化处理,并进行激光清洗,去除镁合金板表面高熔点氧化膜,同时制备特定方向的微织构,利用可控性好、精度高的磁脉冲焊驱动钢-镁界面产生超扩散连接;除此之外,利用激光制备微织构,扩大连接界面的波状结合面积,增加冶金结合区域,同时产生机械互锁,获得镁/钢高强度磁脉冲焊接接头。



1. 一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、首先,去除镁合金板和钢板的待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;然后,对镁合金板进行退火韧化,退火温度为 $250^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $90\text{min}\sim 120\text{min}$ ;最后,对镁合金板的待焊接面进行激光清洗,在镁合金板的待焊接面制备微织构;

S2、将步骤S1制得的镁合金板作为基板,钢板作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板和钢板,镁合金板和钢板待焊接面的微织构相互平行,镁合金板和钢板之间形成搭接区域,搭接长度为 $25\text{mm}\sim 40\text{mm}$ ,搭接区域的两侧边缘之间放置垫板,镁合金板和钢板搭接区域的中部形成搭接间隙,搭接间隙作为待焊接区域,搭接间隙为 $1\text{mm}\sim 2.5\text{mm}$ ;在钢板下方并位于待焊接区域的下方设置线圈,在镁合金板上方并位于搭接区域的上方设置压块;

S3、电磁脉冲设备接通电容器对线圈充放电,线圈中通入周期性震荡的时变高强度电流,使钢板在电磁力作用下快速撞击镁合金板,完成钢板和镁合金板电磁脉冲焊接。

2. 根据权利要求1所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:在所述步骤S1中,激光清洗过程中激光束光轴与镁合金板的待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于镁合金板的待焊接面。

3. 根据权利要求1或2所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:在所述步骤S1中,镁合金板的待焊接面激光清洗的激光功率为 $50\text{W}\sim 100\text{W}$ ,扫描速率为 $2000\text{mm/s}\sim 3000\text{mm/s}$ 。

4. 根据权利要求1或2所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:在所述步骤S1中,沿镁合金板待焊接表面的宽度方向进行连续蛇形激光扫描清洗,制得的微织构的宽度为 $100\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ ,深度为 $300\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:在所述步骤S2中,通过改变垫板的厚度从而改变飞板与基板之间距离,使飞板获得不同的碰撞速度和碰撞角度。

6. 根据权利要求1所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:在所述步骤S3中,所述线圈的材质为铜,线圈截面厚度为 $10\text{mm}$ ,宽度为 $8\text{mm}$ ;所述电磁脉冲设备的额定电压 $16\text{KV}$ ,恒定电容为 $375\mu\text{F}$ ,最大放电能量为 $75\text{KJ}$ ,自由频率为 $100\text{KHz}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:所述垫板的材质为胶木,钢板为镀锌钢板或者非镀锌钢板,镁合金板的材质为AZ31B镁合金板。

8. 根据权利要求1所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:所述镁合金板的厚度与钢板的厚度比为 $1:1$ 。

9. 根据权利要求8所述的一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,其特征在于:所述镁合金板的厚度与钢板的厚度均为 $1.5\text{mm}$ 。

## 一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于异种金属焊接技术领域,具体涉及的是一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法。

### 背景技术

[0002] 为了降低能耗,实现“绿色制造”,轻量化设计是最直接、最有效的手段,因此,镁合金等轻质材料成为传统钢材的替代品,镁/钢复合结构在航空航天、轨道交通、汽车等领域应用的越来越多。随着镁合金应用途径及范围的不断拓展,与钢存在不可避免的连接问题。

[0003] 然而,Mg、Fe之间物理性能相差巨大,两者的熔点相差约900℃,并且镁的沸点为1090℃,而钢的熔点为1540℃,二者直接焊接,可能出现Mg大量烧损蒸发,而Fe尚未达到反应所需温度的情况。镁合金化学性质活泼,易氧化,在焊缝中可能会产生大量氧化物夹杂,造成焊缝性能的恶化。另外,二者的热导率相差4.2倍,热膨胀系数相差约2.2倍,这些将导致界面处产生很大的残余应力。根据Mg-Fe平衡二元相图,两者几乎没有固溶度,1000℃以下Fe在Mg中的固溶度仅为0.00041%,Mg在Fe中几乎为0,而且两种金属之间基本不发生冶金反应生成金属间化合物,采用传统的熔焊和扩散焊等方法难以实现它们之间有效的冶金结合。

[0004] 为了获得Mg-Fe不互溶异种金属有效连接,通常需要在它们结合界面添加过渡层来增强界面冶金反应,如加入铝、铜、镍等与二者都可以发生冶金反应的金属材料,但是过渡层的添加,将增加制造工艺的复杂性,提高生产成本。如何用工艺简单、低成本的技术实现镁/钢无过渡层直接连接是亟待解决的技术问题,对镁/钢结构的推广应用有着重要的意义。

[0005] 众所周知,电磁脉冲焊接是利用电磁感应圈从脉冲发生器产生短暂而强大的电流,使一个工件高速冲击另一工件后瞬间完成的焊接,属于固态焊接,无需冷却、无需助焊剂及无需辅材消耗的过程,可根据工件形状、尺寸改变线圈结构而完成焊接的一种高效、环保新工艺。

[0006] 近些年,有学者报道镁/钢搅拌摩擦焊,爆炸焊接等,发现在搅拌摩擦针高速旋转下,镁-钢界面达到塑性变形,使镁、铁不互溶组元相互扩散形成冶金结合;爆炸焊接时界面将产生大变形及高应变速率,促进镁、铁不互溶组元相互扩散。与搅拌摩擦焊接、爆炸焊接类似,磁脉冲焊接也属于高能率焊接成型,有望解决镁/钢复合结构无过渡层连接问题。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是针对背景技术的不足,解决镁/钢无过渡层直接连接的技术问题,本发明提供一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法。

[0008] 本发明的设计构思为:通过焊前对镁合金板表面进行激光清洗,去除镁合金板表面高熔点氧化膜,同时制备特定方向的微织构,利用可控性好、精度高的磁脉冲焊驱动镁合金板-钢板界面产生超扩散连接;除此之外,利用激光制备微织构,焊接完成后界面产生波

状结合,波状结合增加冶金结合区域,同时产生机械互锁,有利于增加镁合金板与钢板磁脉冲焊接接头的强度。

[0009] 为了解决上述问题,本发明的技术方案为:

一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,使用变形能力好的钢板(镀锌板或者非镀锌板)作为飞板,镁合金板作为基板,利用脉冲激光对镁合金板的待焊接面进行激光清洗,使用电磁脉冲焊接进行镁合金板与钢板的焊接,包括以下步骤:

S1、首先,去除镁合金板和钢板的待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;然后,对镁合金板进行退火韧化,退火温度为 $250^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $90\text{min}\sim 120\text{min}$ ;最后,对镁合金板的待焊接面进行激光清洗,在镁合金板的待焊接面制备微织构;

S2、将步骤S1制得的镁合金板作为基板,钢板作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板和钢板,镁合金板和钢板待焊接面的微织构相互平行,镁合金板和钢板之间形成搭接区域,搭接长度为 $25\text{mm}\sim 40\text{mm}$ ,搭接区域的两侧边缘之间放置垫板,镁合金板和钢板搭接区域的中部形成搭接间隙,搭接间隙作为待焊接区域,搭接间隙为 $1\text{mm}\sim 2.5\text{mm}$ ;在钢板下方并位于待焊接区域的下方设置线圈,在镁合金板上方并位于搭接区域的上方设置压块;

S3、电磁脉冲设备接通电容器对线圈充放电,线圈中通入周期性震荡的时变高强度电流,使钢板在电磁力作用下快速撞击镁合金板,完成钢板和镁合金板电磁脉冲焊接。

[0010] 进一步地,在所述步骤S1中,激光清洗过程中激光束光轴与镁合金板的待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于镁合金板的待焊接面。

[0011] 进一步地,在所述步骤S1中,镁合金板的待焊接面激光清洗的激光功率为 $50\text{W}\sim 100\text{W}$ ,扫描速率为 $2000\text{mm}/\text{s}\sim 3000\text{mm}/\text{s}$ 。激光清洗系统包括激光器、控制系统和扫描振镜,激光束通过扫描振镜中的F-Theta镜头聚焦,形成光斑直径为 $6.5\text{mm}$ 的激光束,激光的最大功率 $100\text{W}$ ,激光功率可在 $10\%\sim 100\%$ 范围内调节,最大波长 $1064\text{nm}$ ,脉宽 $20\text{ns}\sim 30\text{ns}$ ,脉冲频率 $20\text{kHz}\sim 30\text{kHz}$ 。

[0012] 进一步地,在所述步骤S1中,沿镁合金板待焊接表面的宽度方向进行连续蛇形激光扫描清洗,即所形成的每一道微织构沿镁合金板的宽度方向平行设置,连续的微织构整体上沿镁合金板的长度方向设置;制得的微织构的宽度为 $100\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ ,深度为 $300\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ 。

[0013] 进一步地,在所述步骤S2中,通过改变垫板的厚度从而改变飞板与基板之间距离,使飞板获得不同的碰撞速度和碰撞角度。

[0014] 进一步地,在所述步骤S3中,所述线圈的材质为铜,线圈截面厚度为 $10\text{mm}$ ,宽度为 $8\text{mm}$ ;所述电磁脉冲设备的额定电压 $16\text{KV}$ ,恒定电容为 $375\mu\text{F}$ ,最大放电能量为 $75\text{KJ}$ ,自由频率为 $100\text{KHz}$ 。

[0015] 进一步地,所述垫板的材质为胶木,钢板为镀锌钢板或者非镀锌钢板,镁合金板的材质为AZ31B镁合金板。

[0016] 进一步地,所述镁合金板的厚度与钢板的厚度比为 $1:1$ 。

[0017] 进一步地,所述镁合金板的厚度与钢板的厚度均为 $1.5\text{mm}$ 。

[0018] 与现有技术相比本发明的有益效果为:

1、本发明利用可控性好、精度高的磁脉冲焊,在电容器突然放电下,飞板(钢板)在高应变速率、大变形情况下与基板(镁合金板)发生碰撞(类似于爆炸冲击),在镁/钢界面产

生超扩散冶金连接。磁脉冲焊接在几微秒范围内完成,效率高。磁脉冲焊接属于固相焊接,不会产生熔化焊易出现的焊接缺陷;

2、现有技术采用磁脉冲焊接后的焊接界面多为平直结合,即焊前未进行激光清洗制备微结构。本发明焊前对镁合金板的待焊接面进行激光清洗,预制微结构,使连接界面产生波状结合面,增加冶金结合区域,波形界面有机械互锁效果,有利于增加镁合金板与钢板磁脉冲焊接接头的结合强度,所以激光清洗后接头的波纹界面拉剪强度明显高于未激光清洗的接头拉剪强度;

此外,激光清洗方法相对于传统的化学清洗和机械清洗效率更好,且环保、无污染;

3、焊前对镁合金板材进行退火韧化处理,并作为磁脉冲焊接的基板,可有效防止磁脉冲焊接过程镁合金因韧性差,产生微裂纹。

## 附图说明

[0019] 图1为镁/钢板材磁脉冲焊接装配结构示意图;

图中:1为镁合金板,2为钢板,3为线圈,4为垫板,5、压块。

[0020] 图2为激光清洗镁板路径及表面微结构示意图,图中实心箭头表示镁合金板的长度方向,虚心箭头表示激光清洗方向;

图3为图2中A-A面方向剖视结构示意图;

图4为实施例1磁脉冲焊镁/钢接头微观形貌图;

图5为实施例1镁/钢焊接界面元素扩散图;

图6为实施例2磁脉冲焊镁/钢接头微观形貌图;

图7为实施例2镁/钢焊接界面元素扩散图。

## 具体实施方式

[0021] 下面结合说明书附图和实施例对本发明作进一步的详细描述。

[0022] 实施例1

一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,使用变形能力好的非镀锌薄钢板2(非镀锌HC340LA板,尺寸为:长度90mm×宽度35mm×厚度1.5mm)作为飞板,镁合金板1(AZ31B镁合金板,尺寸为:长度90mm×宽度35mm×厚度1.5mm)作为基板,利用脉冲激光对镁合金板1的待焊接面进行激光清洗,使用电磁脉冲焊接进行镁合金板1与钢板2焊接,包括以下步骤:

S1、首先,用砂纸去除镁合金板1和钢板2的待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;采用机械打磨的方法去除HC340LA板待结合界面的氧化层及杂质:即采用安装砂轮片、钢丝刷的角磨机将钢板2和镁合金板1待结合界面初打磨,然后用600目的砂纸打磨,使待结合面粗糙度Ra不超过2 $\mu$ m,然后用干抹布擦干净待结合面;

然后,对镁合金板1进行退火韧化,退火温度为300 $^{\circ}$ C,保温时间为90min;

最后,对镁合金板1的待焊接面进行激光清洗,设定激光功率为75W,脉冲宽度为25ns,脉冲频率为25KHz,扫描速率为2500mm/s,激光清洗过程中激光束关轴与镁合金板1的待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于镁合金板1的待焊接面,沿镁合金板1待焊接表面的宽度方向进行连续蛇形激光扫描清洗(如图2所示),在镁合金板1的待焊接面制备微

织构(如图3所示),即所形成的每一道微织构沿镁合金板1的宽度方向平行设置,连续的微织构整体上沿镁合金板1的长度方向设置,制得的微织构的宽度为150 $\mu\text{m}$ ,深度为400 $\mu\text{m}$ ;

S2、如图1所示,将步骤S1制得的镁合金板1作为基板,钢板2作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板1和钢板2,镁合金板1和钢板2待焊接面的微织构相互平行,镁合金板1和钢板2之间形成搭接区域,搭接长度为25mm,搭接宽度(即基板与飞板的幅宽)为35mm,搭接区域的两侧边缘之间放置垫板4,镁合金板1和钢板2搭接区域的中部形成搭接间隙,搭接间隙作为待焊接区域,搭接间隙为2mm;在钢板2下方并位于待焊接区域的下方设置线圈3,在镁合金板1上方并位于搭接区域的上方设置压块5;

S3、电磁脉冲设备的额定电压16KV,恒定电容为375 $\mu\text{F}$ ,最大放电能量为75KJ,自由频率为100KHz,线圈3的材质为铜,线圈3截面厚度为10mm,宽度为8mm;电磁脉冲设备接通电容器对线圈3充放电,放电能量为60KJ,线圈3中通入周期性震荡的时变高强度电流,使钢板2在电磁力作用下快速撞击镁合金板1,焊接位置截面光学显微镜(OM)图如图4所示,图4中上方为AZ31B,下方为HC340LA,完成钢板2(非镀锌)和镁合金板1电磁脉冲焊接。焊接接头处钢板2和镁合金板1接头完好,无缺陷,为波状结合。将本实施例1得到焊接界面进行元素分布分析,如图5所示,焊接界面镁、铁元素相互扩散。

[0023] 对本实施例1制得的钢板2和镁合金板1磁脉冲焊接接头进行拉伸实验验证,拉伸试样的尺寸参考GB/T 26957—2011和AWS\_ D17-3-2010的要求进行,制定标准拉伸试样及与试样相同厚度的垫板4,在拉伸试验机上装卡时用垫板4补偿搭接偏移量,镁/钢接头强度为120MPa。

[0024] 实施例2

一种镁合金板与钢板磁脉冲焊接方法,使用变形能力好的镀锌薄钢板2(热镀锌HC340LDA+Z100板,尺寸为:长度90mm $\times$ 宽度35mm $\times$ 厚度1.5mm)作为飞板,镁合金板1(AZ31B镁合金板1,尺寸为:长度90mm $\times$ 宽度35mm $\times$ 厚度1.5mm)作为基板,利用脉冲激光对镁合金板1的待焊接面进行激光清洗,使用电磁脉冲焊接进行镁合金板1与钢板2焊接,包括以下步骤:

S1、首先,用砂纸去除镁合金板1待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;将HC340LDA+Z100板材待焊接区,用丙酮擦洗后晾干;

然后,对镁合金板1进行退火韧化,退火温度为300 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为120min;

最后,对镁合金板1的待焊接面进行激光清洗,设定激光功率为100W,脉冲宽度为30ns,脉冲频率为30KHz,扫描速率为3000mm/s,激光清洗过程中激光束关轴与镁合金板1的待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于镁合金板1的待焊接面,沿镁合金板1待焊接表面的宽度方向进行连续蛇形激光扫描清洗(如图2所示),在镁合金板1的待焊接面制备微织构(如图3所示),即所形成的每一道微织构沿镁合金板1的宽度方向平行设置,连续的微织构整体上沿镁合金板1的长度方向设置,制得的微织构的宽度为200 $\mu\text{m}$ ,深度为300 $\mu\text{m}$ ;

S2、如图1所示,将步骤S1制得的镁合金板1作为基板,钢板2作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板1和钢板2,镁合金板1和钢板2待焊接面的微织构相互平行,镁合金板1和钢板2之间形成搭接区域,搭接长度为30mm,搭接宽度(即基板与飞板的幅宽)为35mm,搭接区域的两侧边缘之间放置垫板4,镁合金板1和钢板2搭接区域的中部形成搭接间隙,搭接间隙作为待焊接区域,搭接间隙为2mm;在钢板2下方并位于待焊接区域的下方设置线圈3,

在镁合金板1上方并位于搭接区域的上方设置压块5;

S3、电磁脉冲设备接通电容器对线圈3充放电,放电能量为60KJ,线圈3中通入周期性震荡的时变高强度电流,使钢板2在电磁力作用下快速撞击镁合金板1,焊接位置截面光学显微镜(OM)图如图6所示,图6中上方为AZ31B板,下方为HC340LDA+Z100板,完成钢板2和镁合金板1电磁脉冲焊接。焊接接头处钢板2和镁合金板1接头完好,无缺陷,为波状结合。如图7所示,将本实施例2得到焊接界面进行元素分布分析,焊接界面镁、铁元素相互扩散。

[0025] 对本实施例2制得的钢板2和镁合金板1磁脉冲焊接接头进行拉伸实验验证,拉伸试样的尺寸参考GB/T 26957—2011和AWS\_ D17-3-2010的要求进行,制定标准拉伸试样及与试样相同厚度的垫板4,在拉伸试验机上装卡时用垫板4补偿搭接偏移量,镁/钢接头强度为140MPa。

[0026] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

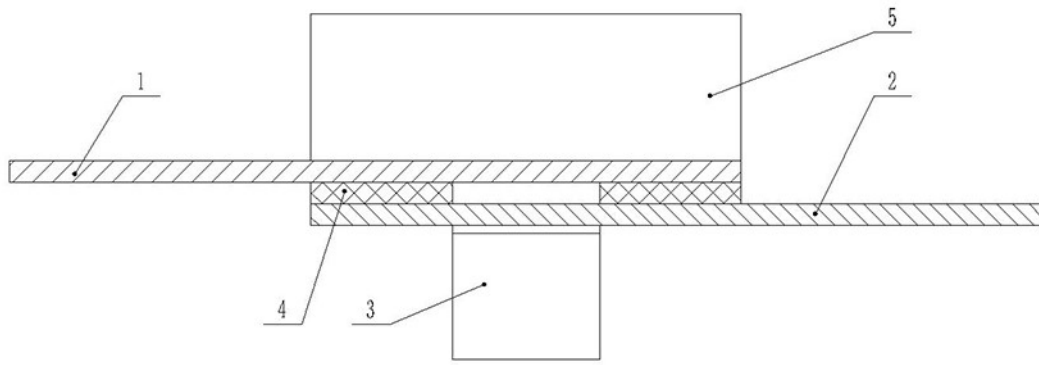


图1

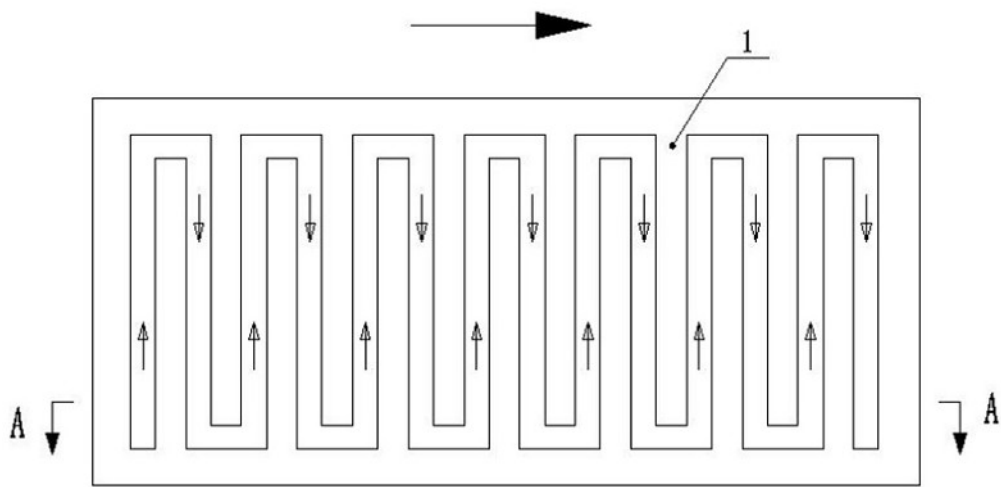


图2

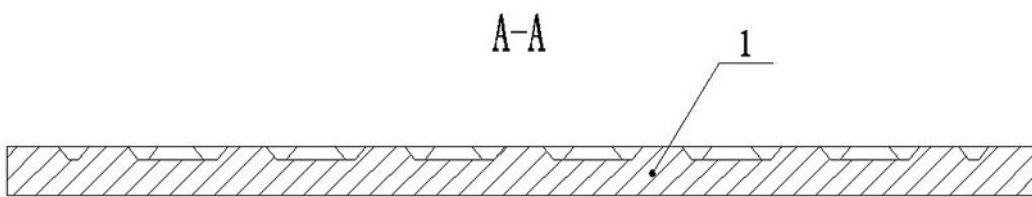


图3



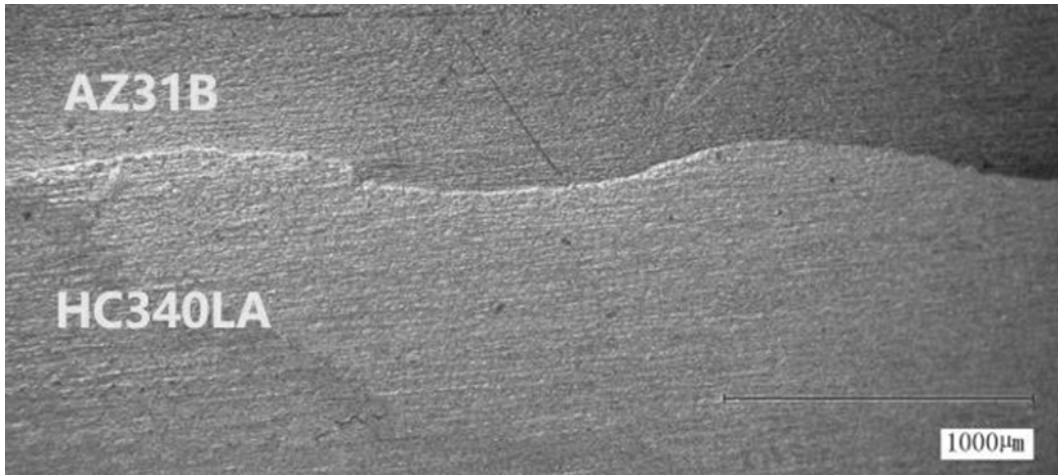


图4

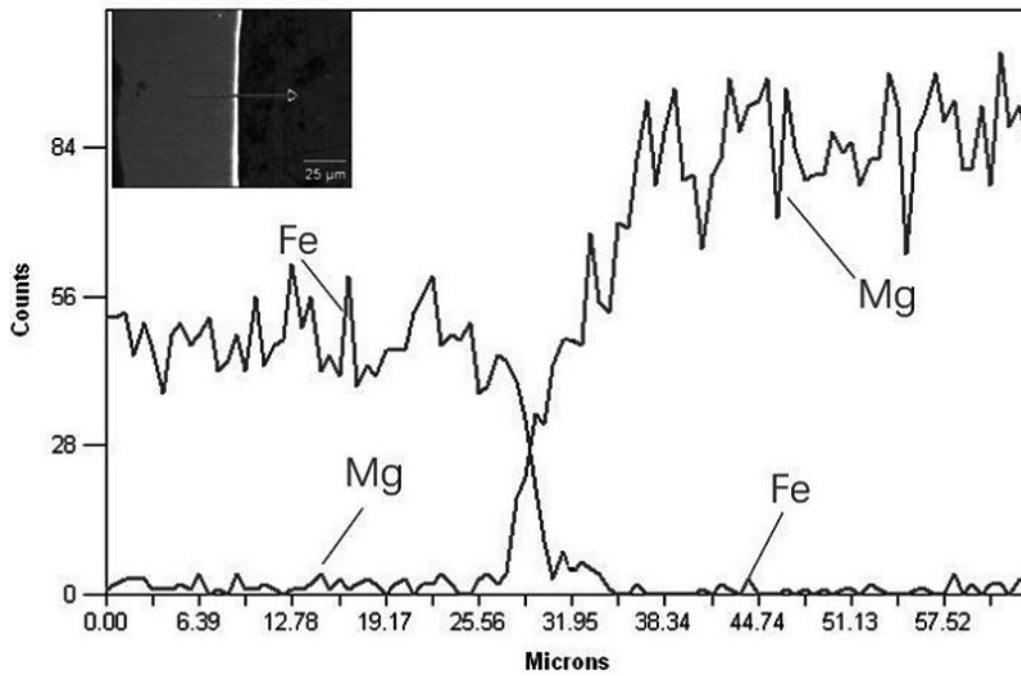


图5

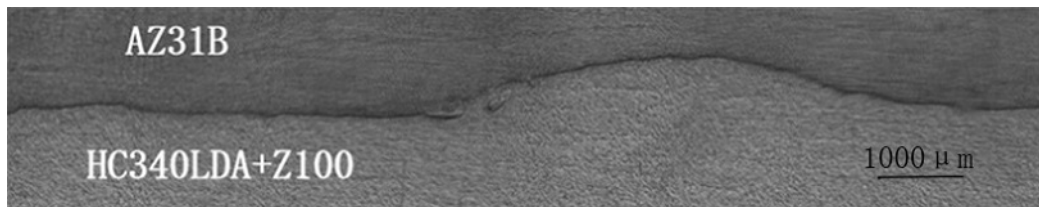


图6

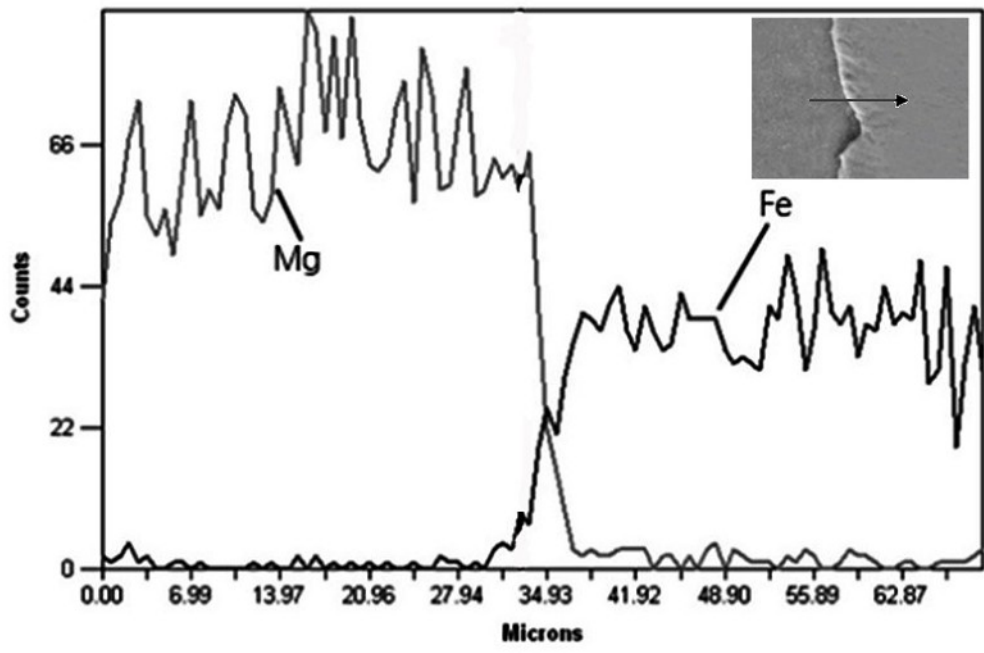


图7