



(21) 申请号 202210955552.2

(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 刘琪 吴志生 杨文字  
张璐霞

(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)

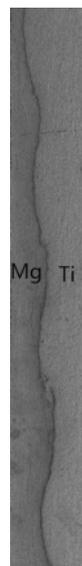
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法

(57) 摘要

本发明涉及一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,属于异种金属焊接技术领域,解决镁/钛板材无过渡层直接连接的技术问题,本发明使用变形能力好的钛合金板作为飞板,镁合金板作为基板,焊前对镁合金板和钛合金板分别退火处理,并进行激光清洗,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-钛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/钛高强度磁脉冲焊接接头。



1. 一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、首先,去除镁合金板和钛合金板待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;然后,分别对镁合金板和钛合金板进行退火,镁合金板的退火温度为 $350^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 、保温时间为 $120\text{min}\sim 180\text{min}$ ,钛合金板的退火温度为 $750^{\circ}\text{C}\sim 780^{\circ}\text{C}$ 、保温时间为 $120\text{min}\sim 180\text{min}$ ;最后,分别沿镁合金板和钛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,在镁合金板与钛合金板待焊接面制备微织构;其中:

镁合金板表面激光清洗时:调整激光功率为 $80\text{W}\sim 100\text{W}$ ,脉冲宽度为 $20\text{ns}$ ,脉冲频率为 $20\text{kHz}$ ,扫描速率为 $3000\text{mm/s}$ ,激光束扫描线宽为 $35\text{mm}\sim 45\text{mm}$ ,深度为 $300\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ ;

钛合金板表面激光清洗时:调整激光功率为 $120\text{W}\sim 150\text{W}$ ,脉冲宽度为 $25\text{ns}$ ,脉冲频率为 $25\text{kHz}$ ,扫描速率为 $3500\text{mm/s}$ ,钛合金板的激光束扫描线宽度比镁合金板的激光束扫描线宽度小 $10\text{mm}\sim 15\text{mm}$ ,深度为 $500\mu\text{m}\sim 800\mu\text{m}$ ;

S2、将步骤S1制得的镁合金板作为基板,钛合金板作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板和钛合金板,镁合金板和钛合金板待焊接面的微织构相互平行,镁合金板和钛合金板搭接所形成的区域作为待焊接区域,在镁合金板和钛合金板之间放置垫板,使镁合金板和钛合金板之间形成搭接间隙,镁合金板和钛合金板之间保持搭接长度为 $25\sim 40\text{mm}$ 、搭接间隙为 $1\sim 2.5\text{mm}$ ;在钛合金板下方并位于待焊接区域的下方设置线圈,在镁合金板上并位于镁合金板和钛合金板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,使钛合金板在电磁力作用下快速撞击镁合金板,完成钛合金板和镁合金板电磁脉冲焊接,制得镁/钛合金板搭接接头。

2. 根据权利要求1所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,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或者钛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或者钛合金板的待焊接面。

3. 根据权利要求1所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,其特征在于:在所述步骤S1中,通过控制激光往复清洗的次数控制镁合金板和钛合金板待焊接面的微织构深度。

4. 根据权利要求1所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,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。

5. 根据权利要求1所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,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 $100\text{KHz}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,其特征在于:所述垫板的材质为胶木,镁合金板的材质为AZ31B镁合金板。

7. 根据权利要求1所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,其特征在于:所述镁合金板的厚度与钛合金板的厚度比为 $(1\sim 6):1$ 。

8. 根据权利要求7所述的一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,其特征在于:所述钛合金板的厚度不超过 $1.5\text{mm}$ 。

## 一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法

### 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/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法。

### 背景技术

[0002] 镁合金具有密度低、阻尼减振能力强、优异的生物相容性和可降解性等优点。轻质金属钛及钛合金具有良好的耐高温性能、耐腐蚀性、优异的生物相容性。将镁合金和钛合金连接可以充分发挥两者的优势,有助于拓宽镁/钛复合结构在航空航天、轨道交通、汽车等领域的应用。

[0003] 钛和镁的物理、化学性质相差很大,如熔点、导热系数、线膨胀系数等。另外,结合Mg~Ti平衡二元相图知,Mg、Ti之间的固溶度非常小,且二者不会形成任何金属间化合物,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~Ti冶金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,如加入铝、铜、镍等与二者都可以发生冶金反应的金属材料。过渡层的添加,将增加制造工艺的复杂性和提高制造成本。如何用工艺简单、成本低的技术实现钛/镁无过渡层直接连接是亟待解决的技术问题。

[0005] 近些年,有学者报道镁/钛搅拌摩擦焊,爆炸焊接等,发现在搅拌摩擦针高速的旋转、爆炸焊接高速冲击作用下镁/钛界面达到塑性变形,使镁、钛不互溶组元相互扩散形成冶金上结合。搅拌摩擦、爆炸焊接时界面将产生大变形及高应变速率,促进镁、钛冶金不互溶组元产生超扩散冶金反应。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/钛复合结构无过渡层连接问题。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是针对背景技术的不足,解决镁/钛无过渡层直接连接的技术问题,本发明提供一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法。

[0007] 本发明的设计构思为:通过焊前对镁合金板和钛合金板表面进行激光清洗,去除镁合金板和钛合金板表面氧化膜,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和钛合金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钛合金板磁脉冲焊接接头的强度,使塑性较差的镁合金板材,与冶金上难溶,熔点相差大的钛板实现连接,制成镁/钛搭接复合接头。

[0008] 为了解决上述问题,本发明的技术方案为:

一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,包括以下步骤:

S1、首先,去除镁合金板和钛合金板待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;然后,分别对镁合金板和钛合金板进行退火,镁合金板的退火温度为350℃~400℃、保温时间为120min~180min,钛合金板的退火温度为750℃~780℃、保温时间为120min~180min;最后,分别沿镁

合金板和钛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,在镁合金板与钛合金板的待焊接面制备微织构;其中:

镁合金板表面激光清洗时:调整激光功率为80W~100W,脉冲宽度为20ns,脉冲频率为20kHz,扫描速率为3000mm/s,激光束扫描线宽为35mm~45mm,深度为300 $\mu$ m~500 $\mu$ m;

钛合金板表面激光清洗时:调整激光功率为120W~150W,脉冲宽度为25ns,脉冲频率为25kHz,扫描速率为3500mm/s,钛合金板的激光束扫描线宽度比镁合金板的激光束扫描线宽度小10mm~15mm,深度为500 $\mu$ m~800 $\mu$ m;钛合金表面的微织构深度大于镁合金板表面微织构深度,通过设置激光往复扫描次数控制微织构深度;

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,激光的最大功率为200W,激光功率可在10%~100%范围内调节,最大波长为1064nm,脉宽为20ns~30ns,脉冲频率为20kHz~30kHz;

S2、将步骤S1制得的镁合金板作为基板,钛合金板作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板和钛合金板,镁合金板和钛合金板的微织构相互平行,镁合金板和钛合金板搭接所形成的区域作为待焊接区域,在镁合金板和钛合金板之间放置垫板,使镁合金板和钛合金板之间形成搭接间隙,镁合金板和钛合金板之间保持搭接长度为25~40mm、搭接间隙为1~2.5mm;在钛合金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镁合金板和钛合金板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,使钛合金板在电磁力作用下快速撞击镁合金板,完成钛合金板和镁合金板电磁脉冲焊接,制得镁/钛合金板搭接接头。

[0009] 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或者钛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或者钛合金板的待焊接面。

[0010] 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。

[0011] 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10mm,宽度为8mm;所述电磁脉冲设备的额定电压16KV,恒定电容为375 $\mu$ F,最大放电能量为75KJ,自由频率为100KHz。

[0012] 进一步地,所述垫板的材质为胶木,镁合金板的材质为AZ31B镁合金板。

[0013] 进一步地,所述镁合金板的厚度与钛合金板的厚度比为(1~6):1。

[0014] 进一步地,所述所述钛合金板的厚度不超过1.5mm。

[0015] 与现有技术相比本发明的有益效果为:

(1) 钛和镁的物理、化学性质相差很大,如熔点、导热系数、线膨胀系数等。另外,结合Mg~Ti平衡二元相图知,Mg、Ti之间的固溶度非常小,且二者不会形成任何金属间化合物,采用传统的熔焊或者扩散焊等方法难以实现镁材与钛材之间有效的冶金结合;

为了使Mg~Ti冶金不互溶异种金属能够有效连接,现有技术中熔焊或者扩散焊通常需要在结合界面添加过渡层,如加入铝、铜、镍等能够与镁材与钛材都可以发生冶金反应的金属材料,添加过渡层将增加制造工艺的复杂性和提高制造成本。如何用工艺简单、成本低的技术实现钛/镁无过渡层直接连接是亟待解决的技术问题;

本发明利用可控性好、精度高的磁脉冲焊,在电容器突然放电条件下,钛合金板与

镁合金板在高应变速率、大变形作用下发生直接碰撞,在镁/钛界面产生超扩散连接。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,不会产生熔化焊出现的焊接缺陷。

[0016] (2)焊前对镁合金板和钛合金板的待焊接面进行激光清洗,制备微结构。磁脉冲焊接完成后,镁/钛磁脉冲焊接界面产生波状结合面,增加冶金结合区域,同时产生机械互锁,获得高强度的镁/钛搭接接头;

采用同样的方法,焊前不进行激光清洗制备微结构,其他步骤相同,获得钛/镁磁脉冲焊接界面为平直结合,未激光清洗的接头拉剪强度比激光清洗波纹界面拉剪强度低15%;

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。

[0017] (3)焊前对镁合金和钛合金板材进行退火处理,有效防止磁脉冲焊接过程镁合金板材和钛合金板材因韧性差,产生微裂纹,降低了两种材料变形抗力。

## 附图说明

[0018] 图1为镁/钛合金板材磁脉冲焊接装配结构示意图;

图中:1为镁合金板,2为钛合金板,3为线圈,4为垫板,5、压块。

[0019] 图2为激光清洗路径示意图,图中实心箭头表示板材的长度方向,虚心箭头表示激光清洗方向;

图3为激光清洗磁脉冲焊镁/钛接头波形结合界面形貌图;

图4为未激光清洗磁脉冲焊镁/钛接头平直结合界面形貌图;

图5为激光清洗磁脉冲焊镁/钛接头焊接界面元素扩散图。

## 具体实施方式

[0020] 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。

### [0021] 实施例1

一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,使用变形能力好的钛合金板(TA2钛合金板,尺寸为:长度90mm×宽度35mm×厚度1.5mm)作为飞板,镁合金板(AZ31B镁合金板,尺寸为:长度90mm×宽度35mm×厚度2mm)作为基板,利用脉冲激光分别对镁合金板和钛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钛合金板焊接,包括以下步骤:

S1、首先,去除镁合金板1和钛合金板2待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;然后,分别对镁合金板1和钛合金板2进行退火,镁合金板1的退火温度为350℃、保温时间为180min,钛合金板2的退火温度为750℃、保温时间为180min;最后,分别沿镁合金板1和钛合金板2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),即所形成的每一道微结构沿镁合金板的宽度方向平行设置,连续的微结构整体上沿镁合金板的长度方向设置,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,激光的最大功率为200W,激光功率可在10%~100%范围内调节,最大波长为1064nm,脉宽为20ns~30ns,脉冲频率为20kHz~30kHz,在镁合金板1与钛合金板2的待焊接面制备微结构如

图2所示,其中:

镁合金板1表面激光清洗时:调整激光功率为90W,脉冲宽度为20ns,脉冲频率为20kHz,扫描速率为3000mm/s,镁合金板1的激光束扫描线宽为35mm,深度为400 $\mu$ m;

钛合金板2表面激光清洗时:调整激光功率为130W,脉冲宽度为25ns,脉冲频率为25kHz,扫描速率为3500mm/s,钛合金板2的激光束扫描线宽为25mm,深度为650 $\mu$ m;

钛合金表面的微织构深度大于镁合金板表面微织构深度,激光往复扫描次数控制微织构深度;

激光清洗过程中激光束光轴与镁合金板1或者钛合金板2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或者钛合金板2的待焊接面,在镁合金板1或者钛合金板2的待焊接表面上,垂直于板材的长度方向进行激光扫描清洗;

S2、如图1所示,将步骤S1制得的镁合金板1作为基板,钛合金板2作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板1和钛合金板2,镁合金板1和钛合金板2的微织构相互平行,镁合金板1和钛合金板2搭接所形成的区域作为待焊接区域,在镁合金板1和钛合金板2之间放置垫板4,垫板4的材质为胶木,使镁合金板1和钛合金板2之间形成搭接间隙,通过改变垫板4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。本实施例1中镁合金板1和钛合金板2之间保持搭接长度为25mm、搭接宽度(即基板与飞板的幅宽)为35mm、搭接间隙为2mm;在钛合金板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上方并位于镁合金板1和钛合金板2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 $\mu$ 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,本实施例1中放电能量为50KJ,线圈3中通入周期性震荡的时变高强度电流,使钛合金板2在电磁力作用下快速撞击镁合金板1,焊接位置截面OM如图3所示,图3中左侧为AZ31B镁合金板,右侧为TA2钛合金板,完成钛合金板2和镁合金板1电磁脉冲焊接,制得镁/钛合金板搭接接头。焊接接头处镁/钛接头完好,无缺陷,为波状结合。将本实施例得到焊接界面进行元素分布分析,如图5所示,焊接界面镁、钛元素相互扩散。

[0022] 对本实施例1制得的镁/钛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,镁/钛接头强度为230MPa。

[0023] 采用上述方法,焊前不进行激光清洗制备微织构,其他步骤相同,获得钛/镁界面为平直结合,如图4所示,接头强度为200MPa。

[0024] 实施例2

一种镁/钛合金板搭接接头的磁脉冲焊接方法,使用变形能力好的钛合金板(TC4钛合金板,尺寸为:长度90mm $\times$ 宽度35mm $\times$ 厚度1.5mm)作为飞板,镁合金板(AZ31B镁合金板,尺寸为:长度90mm $\times$ 宽度35mm $\times$ 厚度1.5mm)作为基板,利用脉冲激光分别对镁合金板和钛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钛合金板焊接,包括以下步骤:

S1、首先,去除镁合金板1和钛合金板2待焊接面的油污,丙酮擦洗后晾干;然后,分别对镁合金板1和钛合金板2进行退火,镁合金板1的退火温度为350 $^{\circ}$ C、保温时间为180min,钛合金板2的退火温度为750 $^{\circ}$ C、保温时间为180min;最后,分别沿镁合金板1和钛合金板2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),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,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,激光的最大功率为200W,激光功率可在10%~100%范围内调节,最大波长为1064nm,脉宽为20ns~30ns,脉冲频率为20kHz~30kHz,在镁合金板1与钛合金板2的待焊接面制备微织构;其中:

镁合金板1表面激光清洗时:调整激光功率为90W,脉冲宽度为20ns,脉冲频率为20kHz,扫描速率为3000mm/s,镁合金板1的激光束扫描线宽为35mm,深度为400 $\mu$ m;

钛合金板2表面激光清洗时:调整激光功率为130W,脉冲宽度为25ns,脉冲频率为25kHz,扫描速率为3500mm/s,钛合金板2的激光束扫描线宽为25mm,深度为600 $\mu$ m;

钛合金表面的微织构深度大于镁合金板表面微织构深度,激光往复扫描次数控制微织构深度;

激光清洗过程中激光束光轴与镁合金板1或者钛合金板2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或者钛合金板2的待焊接面,在镁合金板1或者钛合金板2的待焊接表面上,垂直于板材的长度方向进行激光扫描清洗,所形成的微织构垂直于板材的长度方向,即微织构垂直于搭接长度方向;

S2、将步骤S1制得的镁合金板1作为基板,钛合金板2作为飞板,在焊接夹具工装上组装镁合金板1和钛合金板2,镁合金板1和钛合金板2的微织构相互平行,镁合金板1和钛合金板2搭接所形成的区域作为待焊接区域,在镁合金板1和钛合金板2之间放置垫板4,垫板4的材质为胶木,使镁合金板1和钛合金板2之间形成搭接间隙,通过改变垫板4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。本实施例2中镁合金板1和钛合金板2之间保持搭接长度为25mm、搭接宽度(即基板与飞板的幅宽)为35mm、搭接间隙为2mm;在钛合金板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上方并位于镁合金板1和钛合金板2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 $\mu$ 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,本实施例2中放电能量为60KJ,线圈3中通入周期性震荡的时变高强度电流,使钛合金板2在电磁力作用下快速撞击镁合金板1,完成钛合金板2和镁合金板1电磁脉冲焊接,制得镁/钛合金板搭接接头。焊接接头处镁/钛接头完好,无缺陷,为波状结合。

[0025] 对本实施例2制得的镁/钛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,镁/钛接头强度为210MPa。

[0026] 采用上述方法,焊前不进行激光清洗制备微织构,其他步骤相同,获得钛/镁界面为平直结合,接头强度为185MPa。

[0027] 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。

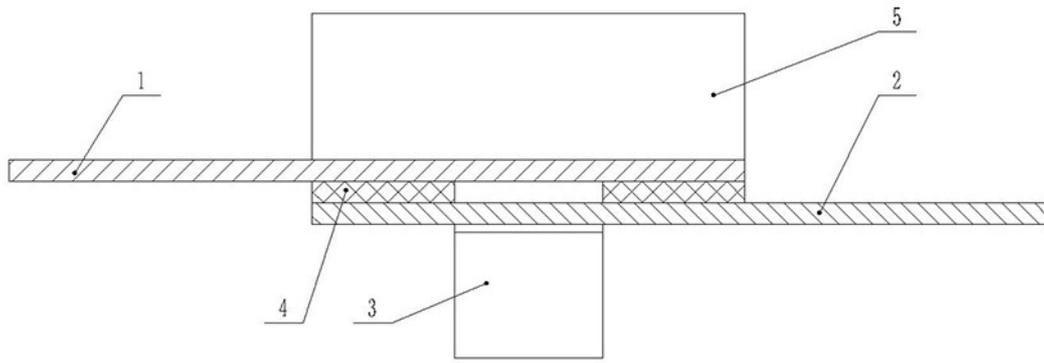


图1

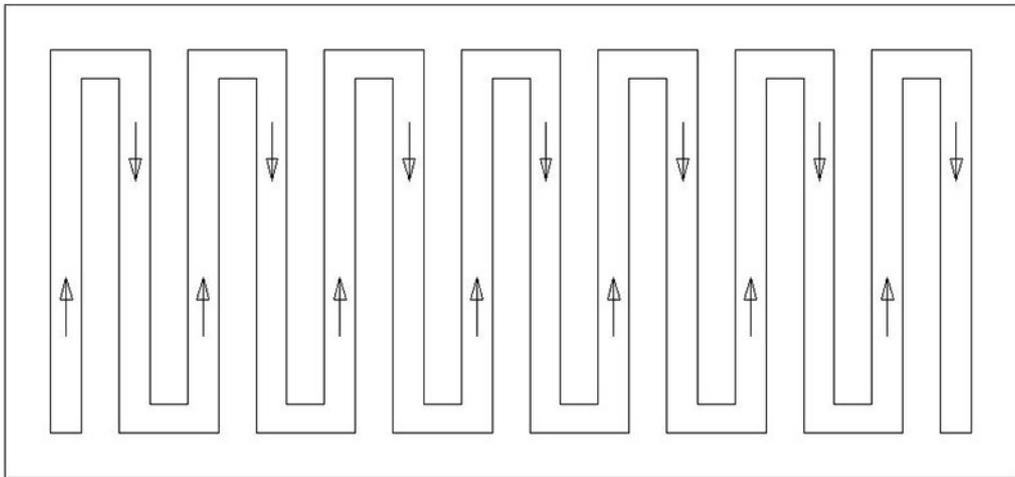


图2

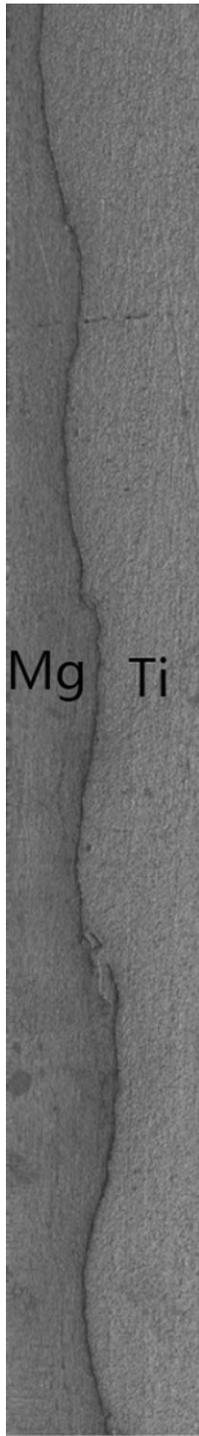


图3

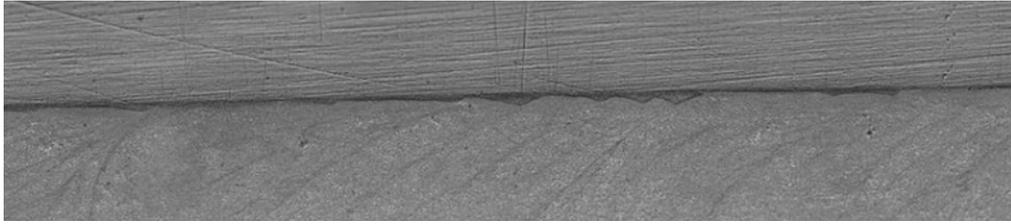


图4

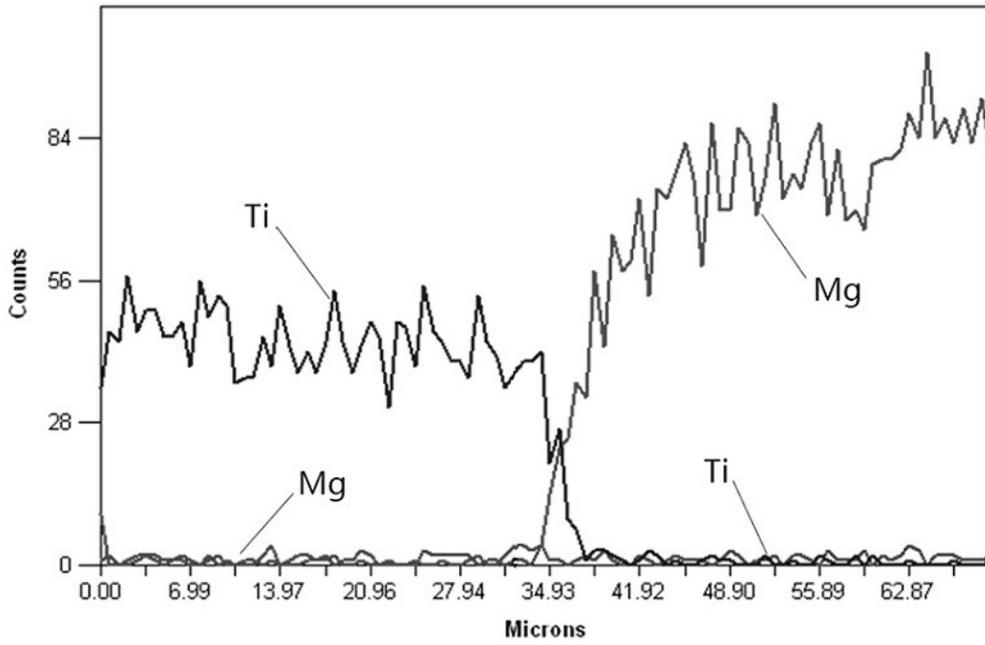


图5