



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115026139 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 09

(21) 申请号 202210955429.0

B08B 7/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.08.10

B21B 45/00 (2006.01)

(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 史爱尊 刘翠荣 李亚杰 楚志兵

(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.

B21B 47/00 (2006.01)

B21B 1/38 (2006.01)

G21D 1/26 (2006.01)

G21D 9/00 (2006.01)

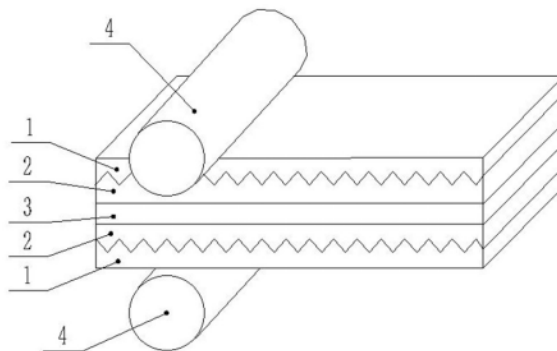
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种轧制制备镍-镁复合板的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种轧制制备镍-镁复合板的方法,属于复合材料制备技术领域,解决镁合金板和镍合金板复合的技术问题,解决方案为:对镁合金板和镍合金板进行表面激光清洗,通过控制激光参数,在镁合金板和镍合金板的待复合界面制备微织构,依次按照镍合金板-镁合金板-钢带-镁合金板-镍合金板的顺序进行对称组坯,然后进行热轧复合和退火处理,最后切退火态轧制复合坯料的封焊位置,去除钢带层,获得两块镍-镁复合板,所制备的镍/镁层状复合材料界面为波形结合,扩大了钛、镁异种金属冶金结合区,同时波形界面产生机械互锁效益,有利于增加了镁/镍复合材料界面结合强度。



1. 一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1. 根据需要选取宽度和长度尺寸相同的两块镁合金板、两块镍合金板和一块钢带,将镁合金板、镍合金板和钢带分别进行退火韧化处理:

镁合金板的退火韧化处理温度为 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $120\sim 180\text{min}$ ;

镍合金板的退火韧化处理温度为 $650^{\circ}\text{C}\sim 750^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $120\sim 180\text{min}$ ;

钢带的退火韧化处理温度为 $700^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 $60\sim 120\text{min}$ ;

S2. 利用激光清洗分别对镍合金板和镁合金板的待复合表面进行处理,使新鲜金属露出,并通过控制激光清洗参数,在镍合金板和镁合金板的待复合表面上制备平行于板材宽度方向的微织构;然后,依次采用角磨机打磨、砂纸打磨、丙酮擦拭、风干,去除镁合金板非激光清洗面和钢带两侧表面的锈层及氧化层,并对机械打磨面涂敷阻隔剂;

其中:

镁合金板待复合面激光清洗的激光功率为 $50\text{W}\sim 100\text{W}$ ,扫描速率为 $2000\text{mm/s}\sim 3000\text{mm/s}$ ,激光束扫描线宽为 $20\text{mm}\sim 35\text{mm}$ ,镁合金板上微织构的深度为 $300\mu\text{m}\sim 500\mu\text{m}$ ;

镍合金板待复合面激光清洗的激光功率为 $150\text{W}\sim 200\text{W}$ ,扫描速率为 $3500\text{mm/s}\sim 4000\text{mm/s}$ ,激光束扫描线宽为 $35\text{mm}\sim 45\text{mm}$ ,镍合金板上微织构的深度为 $500\mu\text{m}\sim 800\mu\text{m}$ ;

S3. 依次按照镍合金板-镁合金板-钢带-镁合金板-镍合金板的顺序进行对称组坯,并且镁合金板待复合表面上微织构的波谷区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波峰相配合,镁合金板待复合表面上微织构的波峰区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波谷区相配合,待加工表面贴合对齐,制得层状复合坯料,采用铝制铆钉将层状复合坯料固定;

S4. 用真空电子束焊接方式对步骤S3制得的层状复合坯料进行封焊处理,真空度保持在 $0.01\text{Pa}\sim 0.05\text{Pa}$ ,保证待加工界面之间处于真空状态;

S5. 将惰性气体通入感应加热炉,将步骤S4封焊后制得的层状复合坯料置于加热炉中加热至 $550^{\circ}\text{C}\sim 750^{\circ}\text{C}$ ,保温 $120\text{min}\sim 180\text{min}$ ,获得热处理复合坯料;

S6. 将步骤S5制得的热处理复合坯料热送轧机进行轧制,首道次压下率为 $15\%\sim 20\%$ ,总压下率为 $50\%\sim 60\%$ ,轧制速度为 $0.5\text{m/min}\sim 2\text{m/min}$ ,获得轧制复合坯料;

S7. 将步骤S6制得的轧制复合坯料进行退火处理,退火温度为 $350^{\circ}\text{C}$ ,退火时间为 $120\text{min}$ ;

S8. 切除步骤S7制得的退火态轧制复合坯料的封焊位置,去除钢带层,获得两块镍-镁复合板。

2. 根据权利要求1所述的一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于:在所述步骤S2中,激光清洗过程中激光束与待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于待清洗表面。

3. 根据权利要求1所述的一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于:在所述步骤S2中,每一道微织构首尾相接,连续的微织构整体上呈蛇形沿板材的长度方向设置。

4. 根据权利要求1所述的一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于:在所述步骤S2中,通过设置激光往复扫描次数控制微织构的深度。

5. 根据权利要求1所述的一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于:在所述步骤S2中,阻隔剂为滑石粉、石墨粉、橡胶或者润滑油中的任一种。

6. 根据权利要求1所述的一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于:在所述步骤

S5中,惰性气体为纯净度为99%的氩气或者氮气。

7.根据权利要求1所述的一种轧制制备镍-镁复合板的方法,其特征在于:所述镍合金板的厚度不大于2mm,钢带与镍合金板的厚度相等,镁合金板与镍合金板单层厚度比为(5~20):1,层状复合坯料的厚度不大于50mm。

## 一种轧制制备镍-镁复合板的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于复合材料制备技术领域,具体涉及的是一种轧制制备镍-镁复合板的方法。

### 背景技术

[0002] 镁合金固有的塑性变形能力低、表面缺口敏感性强、耐蚀性差等不足,使得镁合金相对于众多金属材料的应用是相当受限的。目前改善镁合金表面腐蚀性的方法有电镀、化学镀、热喷涂等方法来为镁合金添加金属涂层,提高镁合金基体的腐蚀性。上述操作复杂,且涂层薄,涂层跟镁基体结合强度低,对镁合金基体的力学性能没有改善。

[0003] 镍基合金是能够抵抗酸、碱、盐及其溶液与其它一些腐蚀介质腐蚀的一种高合金钢,是工业生产中应用最广泛的金属之一。镍基合金除优秀的耐蚀性外,还具有优良的机械强度、耐高温氧化性、韧性及焊接性。鉴于镍基合金具有塑性高、抗腐蚀的特征,如果将镁合金与镍基合金结合制成复合材板,不仅可以提高镁合金材料的表面耐蚀性能,还可以提高镁合金基体的综合力学性能,满足材料的服役要求。这是拓宽镁合金材料应用的有效途径,具有重要的实用意义。

[0004] 目前,制备层状金属复合材料方法加工方法是爆炸焊接法和轧制复合。

[0005] 爆炸焊接法是利用炸药爆炸产生的冲击力,使镍合金板与镁合金板高速碰撞,实现镍与镁之间的冶金结合,界面为波状结合,结合强度高。但是,爆炸焊接法不仅存在能量消耗大、环境污染严重、工序繁杂、生产效率低和产品成本高等问题,而且无法连续化生产大尺寸大卷重层状复合材料。

[0006] 当前,轧制法制备金属层状复合材料已经成为一种趋势,由于镍、镁两种金属材料性能(变形抗力、塑性、导热性、熔点等)差异较大,在制备过程中主要存在两个问题:一是轧后镍、镁坯料变形极不协调,二是复合板界面为平直结合,结合强度偏低,界面易分层。

[0007] 波形结合界面和平直界面是金属层状复合材料常规的结合界面,而波形结合界面是爆炸焊接复合板的特有界面,因为波形界面有利于扩大异种材料的冶金结合区,同时形成机械互锁效应,将会增加界面结合强度。轧制法制备复合板通常是平直的结合界面,强度较波形界面较低,后期弯曲、卷制等加工常出现界面分层。如果能够利用轧制法制备波形界面,将加大复合材料界面结合强度,有利于轧制复合材料后期再加工制造。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的是针对背景技术的不足,本发明提供一种轧制制备镍-镁复合板的方法。

[0009] 本发明采用以下技术方案予以实现:

一种轧制制备镍-镁复合板的方法,包括以下步骤:

S1. 根据需要选取宽度和长度尺寸相同的两块镁合金板、两块镍合金板和一块钢带,将镁合金板、镍合金板和钢带分别进行退火韧化处理:

镁合金板的退火韧化处理温度为350~400℃,保温时间为120~180min;  
镍合金板的退火韧化处理温度为650℃~750℃,保温时间为120~180min;  
钢带的退火韧化处理温度为700℃~850℃,保温时间为60~120min;

S2.利用激光清洗分别对镍合金板和镁合金板的待复合表面进行处理,使新鲜金属露出,并通过控制激光清洗参数,在镍合金板和镁合金板的待复合表面上制备平行于板材宽度方向的微织构;然后,依次采用角磨机打磨、砂纸打磨、丙酮擦拭、风干,去除镁合金板非激光清洗面和钢带两侧表面的锈层及氧化层,并对机械打磨面涂敷阻隔剂,便于轧后钢带和镁合金板进行分离;

其中:

镁合金板待复合面激光清洗的激光功率为50W~100W,扫描速率为2000mm/s~3000mm/s,激光束扫描线宽为20mm~35mm,镁合金板上微织构的深度为300μm~500μm;

镍合金板待复合面激光清洗的激光功率为150W~200W,扫描速率为3500mm/s~4000mm/s,激光束扫描线宽为35mm~45mm,镍合金板上微织构的深度为500μm~800μm;

S3、依次按照镍合金板-镁合金板-钢带-镁合金板-镍合金板的顺序进行对称组坯,并且镁合金板待复合表面上微织构的波谷区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波峰相配合,镁合金板待复合表面上微织构的波峰区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波谷区相配合,待加工表面贴合对齐,制得层状复合坯料,采用铝制铆钉将层状复合坯料固定;

S4、用真空电子束焊接方式对步骤S3制得的层状复合坯料进行封焊处理,真空度保持在0.01Pa~0.05Pa,保证待加工界面之间处于真空状态;

S5、将惰性气体通入感应加热炉,将步骤S4封焊后制得的层状复合坯料置于加热炉中加热至550℃~750℃,保温120min~180min,获得热处理复合坯料;

S6、将步骤S5制得的热处理复合坯料热送轧机进行轧制,首道次压下率为15%~20%,总压下率为50%~60%,轧制速度为0.5m/min~2m/min,获得轧制复合坯料;

S7、将步骤S6制得的轧制复合坯料进行退火处理,加速镍和镁元素之间的固态扩散,提高界面的结合强度。退火温度为350℃,退火时间为120min;

S8、切除步骤S7制得的退火态轧制复合坯料的封焊位置,去除钢带层,获得两块镍-镁复合板。

[0010] 进一步地,在所述步骤S2中,激光清洗过程中激光束与待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于待清洗表面。

[0011] 进一步地,在所述步骤S2中,每一道微织构首尾相接,连续的微织构整体上呈蛇形沿板材的长度方向设置。

[0012] 进一步地,在所述步骤S2中,通过设置激光往复扫描次数控制微织构的深度。

[0013] 进一步地,在所述步骤S2中,阻隔剂为滑石粉、石墨粉、橡胶或者润滑油中的任一种。

[0014] 进一步地,在所述步骤S5中,惰性气体为纯净度为99%的氩气或者氦气,防止镍合金板加热过程中表面被氧化。

[0015] 进一步地,所述镍合金板的厚度不大于2mm,钢带与镍合金板的厚度相等,镁合金板与镍合金板单层厚度比为(5~20):1,层状复合坯料的厚度不大于50mm。

[0016] 与现有技术相比本发明的有益效果为：

(1)、轧制前对镁合金板和镍合金板的待复合面进行激光清洗，制备微织构，然后进行轧制复合，使镁/镍连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，增加了镁/镍复合材料的界面结合强度。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；

(2)、将钢带作为衬板，钢带促进镍-镁轧制协调变形。同时利用镁钢冶金不互溶的特性，并涂敷阻隔剂，轧制退火处理完成后，将镁-钢分离，去除钢带层，获得两块镍-镁复合板，效率高。

## 附图说明

[0017] 图1为激光清洗路径示意图；

图2为层状复合坯料纵剖结构示意图；

图3为层状复合坯料轧制示意图；

图4为实施例1制得的镍-镁复合板波形结合界面微观形貌图；

图5为实施例1制得的镍-镁复合板界面元素扩散图。

[0018] 图中：1为镍合金板，2为镁合金板，3钢带，4为轧辊。

## 具体实施方式

[0019] 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。

[0020] 实施例1

本实施例1选择选择两块AZ31B镁合金板和两块纯镍合金板作为轧制复合的母材，AZ31B镁合金板的尺寸为：长度450mm×宽度300mm×厚度10mm，纯镍合金板的尺寸为：450mm×300mm×1.5mm。选取一块Q235钢带作为衬垫层，长度450mm×宽度300mm×厚度1.5mm。

[0021] 一种轧制制备镍-镁复合板的方法，包括以下步骤：

S1. 根据需要选取宽度和长度尺寸相同的两块镁合金板、两块镍合金板和一块钢带，将镁合金板、镍合金板和钢带分别进行退火韧化处理：

镁合金板的退火韧化处理温度为380℃，保温时间为150min；

镍合金板的退火韧化处理温度为750℃，保温时间为120min；

钢带的退火韧化处理温度为750℃，保温时间为90min；

S2. 利用激光清洗分别对镍合金板和镁合金板的待复合表面进行处理，激光清洗过程中激光束与待激光清洗表面相互垂直，激光束的焦点位于待清洗表面，使新鲜金属露出，并通过控制激光清洗参数，在镍合金板和镁合金板的待复合表面上制备平行于板材宽度方向的微织构，每一道微织构首尾相接，连续的微织构整体上呈蛇形沿板材的长度方向设置(如图1所示)；然后，依次采用角磨机打磨、砂纸打磨、丙酮擦拭、风干，去除镁合金板非激光清洗面和钢带两侧表面的锈层及氧化层，并对机械打磨面涂敷阻隔剂，阻隔剂为滑石粉；

其中：

镁合金板待复合面激光清洗的激光功率为75W，扫描速率为2500mm/s，激光束扫描线宽为30mm，镁合金板上微织构的深度为400μm；

镍合金板待复合面激光清洗的激光功率为160W,扫描速率为3600mm/s,激光束扫描线宽为40mm,镍合金板上微织构的深度为600 $\mu\text{m}$ ;通过设置激光往复扫描次数控制微织构的深度;

S3、依次按照镍合金板-镁合金板-钢带-镁合金板-镍合金板的顺序进行对称组坯,并且镁合金板待复合表面上微织构的波谷区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波峰相配合,镁合金板待复合表面上微织构的波峰区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波谷区相配合,待加工表面贴合对齐,制得层状复合坯料(如图2所示),采用铝制铆钉将层状复合坯料固定;

S4、用真空电子束焊接方式对步骤S3制得的层状复合坯料进行封焊处理,真空度保持在0.03Pa,保证待加工界面之间处于真空状态;

S5、将纯净度为99%的氩气通入感应加热炉,将步骤S4封焊后制得的层状复合坯料置于加热炉中加热至650 $^{\circ}\text{C}$ ,保温150min,获得热处理复合坯料;

S6、如图3所示,将步骤S5制得的热处理复合坯料热送轧机进行轧制,首道次压下率为15%,总压下率为50%,轧制速度为0.5m/min,获得轧制复合坯料;

S7、将步骤S6制得的轧制复合坯料进行退火处理,退火温度为350 $^{\circ}\text{C}$ ,退火时间为120min;

S8、切除步骤S7制得的退火态轧制复合坯料的封焊位置,去除钢带层,获得两块镍-镁复合板。

[0022] 按照GB/T7734-2015复合板超声波检验的要求对镍/镁波纹界面复合材料界面进行探伤,探伤结果表明镍/镁波纹界面复合板的结合率为99.8%;根据GB/T6369-2008,测试镍/镁复合板界面拉剪强度,界面的拉剪强度为205MPa,对拉剪断裂界面进行面扫描分析,两断裂面的组成元素全部为镁,说明拉剪断裂发生在镁合金位置,而不是在界面位置,证明了轧制法制备的镍/镁复合材料界面结合强度高;如图4所示,利用扫面电镜SEM观察复合界面,结合区域呈现出波形状,界面结合完好,无气孔、裂纹等缺陷。如图5所示,利用EDS在界面附近做线扫面分析,镁元素和镍元素发生扩散,说明两种材料通过扩散反应实现了冶金结合。

#### [0023] 实施例2

本实施例2选择选择两块AZ61镁合金板和两块纯镍合金板作为轧制复合的母材,AZ61镁合金板的尺寸为:长度450mm $\times$ 宽度300mm $\times$ 厚度12mm,纯镍合金板的尺寸为:450mm $\times$ 300mm $\times$ 2mm。选取一块Q235钢带作为衬垫层,长度450mm $\times$ 宽度300mm $\times$ 厚度2mm。

[0024] 一种轧制制备镍-镁复合板的方法,包括以下步骤:

S1. 根据需要选取宽度和长度尺寸相同的两块镁合金板、两块镍合金板和一块钢带,将镁合金板、镍合金板和钢带分别进行退火韧化处理:

镁合金板的退火韧化处理温度为380 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为150min;

镍合金板的退火韧化处理温度为750 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为120min;

钢带的退火韧化处理温度为750 $^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为90min;

S2. 利用激光清洗分别对镍合金板和镁合金板的待复合表面进行处理,激光清洗过程中激光束与待激光清洗表面相互垂直,激光束的焦点位于待清洗表面,使新鲜金属露出,并通过控制激光清洗参数,在镍合金板和镁合金板的待复合表面上制备平行于板材宽

度方向的微织构,每一道微织构首尾相接,连续的微织构整体上呈蛇形沿板材的长度方向设置;然后,依次采用角磨机打磨、砂纸打磨、丙酮擦拭、风干,去除镁合金板非激光清洗面和钢带两侧表面的锈层及氧化层,并对机械打磨面涂敷阻隔剂,阻隔剂为石墨粉;

其中:

镁合金板待复合面激光清洗的激光功率为75W,扫描速率为2500mm/s,激光束扫描线宽为30mm,镁合金板上微织构的深度为400 $\mu$ m;

镍合金板待复合面激光清洗的激光功率为160W,扫描速率为3600mm/s,激光束扫描线宽为40mm,镍合金板上微织构的深度为650 $\mu$ m;通过设置激光往复扫描次数控制微织构的深度;

S3、依次按照镍合金板-镁合金板-钢带-镁合金板-镍合金板的顺序进行对称组坯,并且镁合金板待复合表面上微织构的波谷区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波峰相配合,镁合金板待复合表面上微织构的波峰区与对应的镍合金板待复合表面上微织构的波谷区相配合,待加工表面贴合对齐,制得层状复合坯料,采用铝制铆钉将层状复合坯料固定;

S4、用真空电子束焊接方式对步骤S3制得的层状复合坯料进行封焊处理,真空度保持在0.03Pa,保证待加工界面之间处于真空状态;

S5、将纯净度为99%的氩气通入感应加热炉,将步骤S4封焊后制得的层状复合坯料置于加热炉中加热至650 $^{\circ}$ C,保温150min,获得热处理复合坯料;

S6、将步骤S5制得的热处理复合坯料热送轧机进行轧制,首道次压下率为20%,总压下率为40%,轧制速度为0.8m/min,获得轧制复合坯料;

S7、将步骤S6制得的轧制复合坯料进行退火处理,退火温度为350 $^{\circ}$ C,退火时间为120min;

S8、切除步骤S7制得的退火态轧制复合坯料的封焊位置,去除钢带层,获得两块镍-镁复合板。

[0025] 按照GB/T7734-2015复合板超声波检验的要求对镍/镁波纹界面复合材料界面进行探伤,探伤结果表明镍/镁波纹界面复合板的结合率为99.8%;根据GB/T6369-2008,测试镍/镁复合板界面拉剪强度,界面的拉剪强度为185MPa,对拉剪断裂界面进行面扫描分析,两断裂面的组成元素全部为镁,说明拉剪断裂发生在镁合金位置,而不是在界面位置,证明了轧制法制备的镍/镁复合材料界面结合强度高;利用扫面电镜SEM观察复合界面,结合区域呈现出波形状,界面结合完好,无气孔、裂纹等缺陷。利用EDS在界面附近做线扫面分析,镁元素和镍元素发生扩散,说明两种材料通过扩散反应实现了冶金结合。

[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。



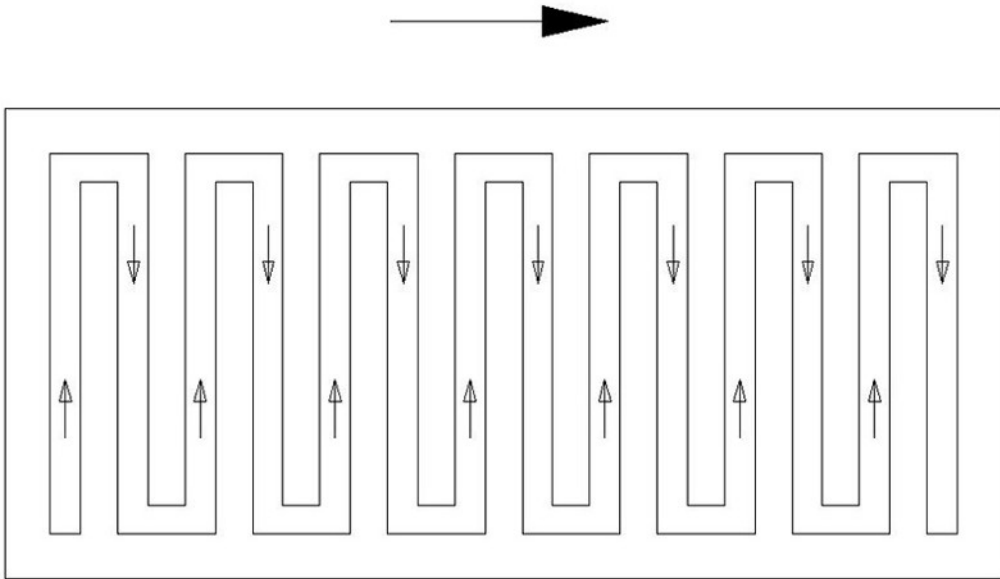


图1

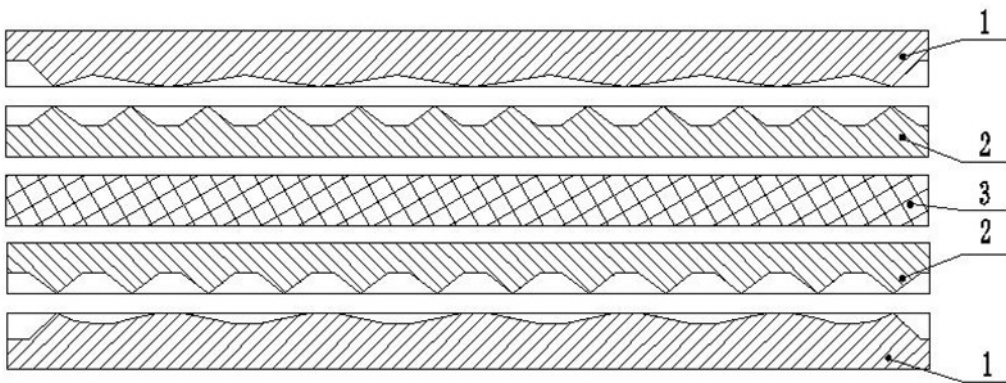


图2

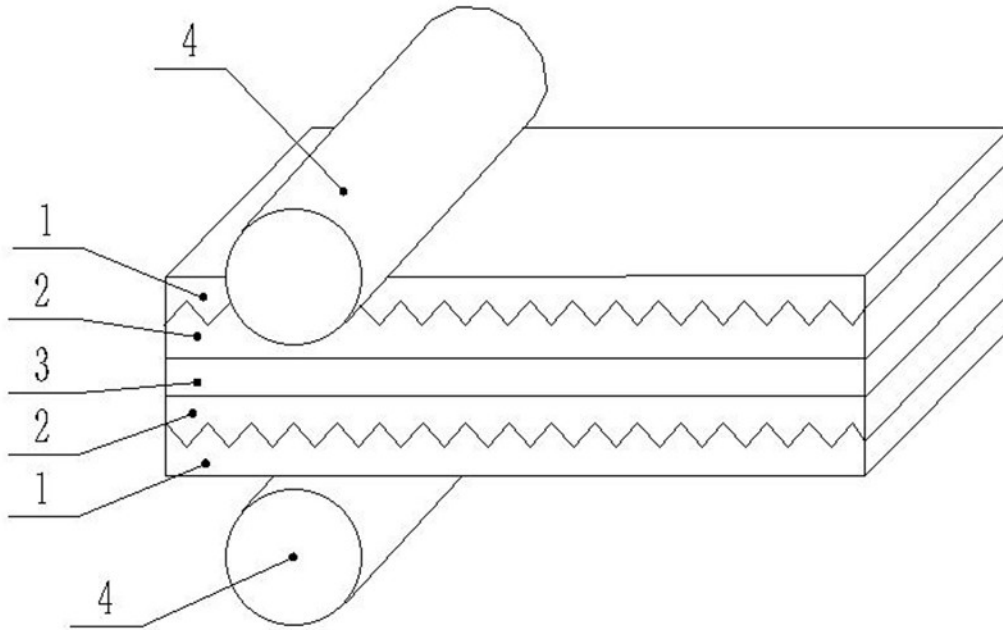


图3

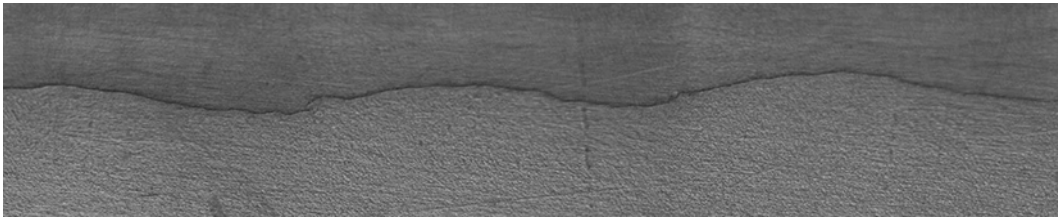


图4

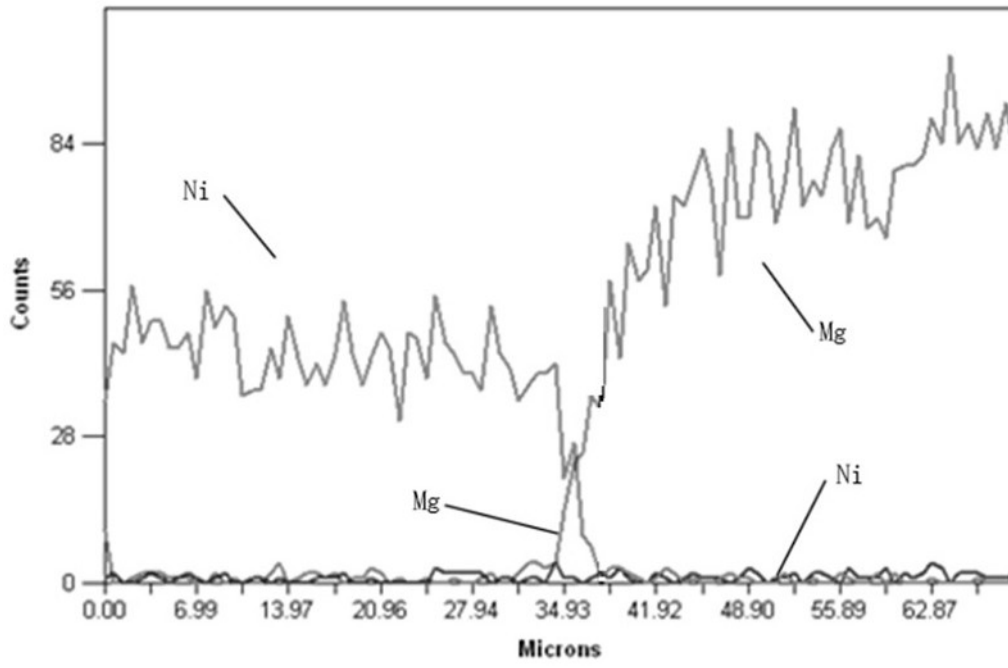


图5