



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111299803 A

(43)申请公布日 2020.06.19

(21)申请号 201911165630.3

(22)申请日 2019.11.25

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 陈娟 阎熙 彭立明 金启豪

吴玉娟 袁灵洋

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限

公司 31236

代理人 胡晶

(51)Int.Cl.

B23K 20/12(2006.01)

B23K 103/18(2006.01)

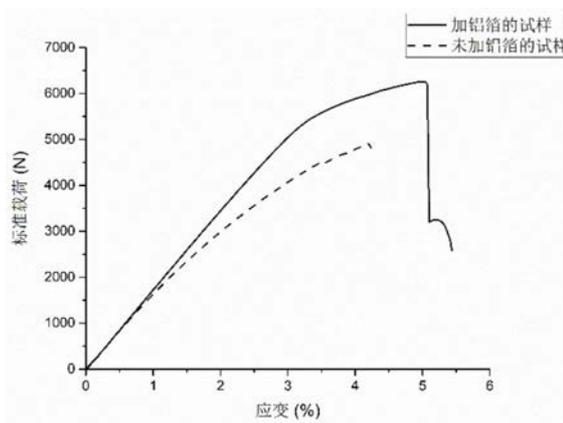
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法;具体为通过在镁/钢板中间加入铝中间层或镁铝混合中间层,然后进行搅拌摩擦焊搭接。能够有效提高异种材料的搅拌摩擦焊接头质量及焊接可靠性,工艺简单,效果良好,经济实用,有效拓展了搅拌摩擦焊的应用范围。铝中间层的加入方式可以是在钢板表面冷喷涂铝、钢板表面热浸镀铝、搅拌摩擦加工加入铝或直接在焊接时在镁/钢两板中间加入铝箔。



1. 一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,在镁板和钢板的焊接面之间设置铝中间层或镁铝混合中间层,然后进行搅拌摩擦焊搭接。

2. 根据权利要求1所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,所述钢板包括普通低碳钢和低合金钢;所述镁板包括纯镁或镁合金。

3. 根据权利要求1所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,所述铝中间层或镁铝混合中间层的厚度为1~30 μ m。

4. 根据权利要求1所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,所述搅拌摩擦焊包括:搅拌摩擦焊搭接点焊、搅拌摩擦焊搭接线焊、双轴肩搅拌摩擦焊、静轴肩搅拌摩擦焊。

5. 根据权利要求1所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,在钢板表面的焊接面进行冷喷涂铝处理或通过热浸镀铝处理,然后将直接带有冷喷涂铝层或镀铝层的钢板与镁板进行搅拌摩擦焊搭接。

6. 根据权利要求5所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,焊接参数为:搅拌头转速1000~1600rpm,轴肩下压量0.8~1.2mm,焊接速度80~120mm/min,搅拌头倾角2.5°。

7. 根据权利要求1所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,直接在焊接时在镁板和钢板中间加入铝箔,然后进行搅拌摩擦焊搭接。

8. 根据权利要求7所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,焊接参数为:搅拌头转速800~1200rpm,轴肩下压量0.8~1.2mm,焊接速度80~120mm/min,搅拌头倾角2.5°。

9. 根据权利要求1所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,使用纯铝制成的轴肩直径为15~25mm的搅拌摩擦焊平搅拌头,采用搅拌摩擦加工的方法在镁板表面加覆镁铝混合组织,然后进行搅拌摩擦焊搭接。

10. 根据权利要求9所述的基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,其特征在于,搅拌摩擦焊的焊接参数为:搅拌头转速800~1400rpm,轴肩下压量0.8~1.2mm,焊接速度80~120mm/min,搅拌头倾角2.5°。

一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种材料连接方法,尤其涉及一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法。

背景技术

[0002] 镁合金是最轻的金属工程结构材料之一,其具有密度低、比强度高、比刚度高、减震性好等优点,可以满足汽车、航空和电子等领域对轻质高强高塑性结构材料的迫切需求。镁、钢材料的混合使用可有效减轻车身重量,为汽车工业发展提供了更多的机遇,然而也对车身制造技术,尤其是两者的连接技术提出了巨大挑战。钢是目前最常见的工程材料,实现镁钢之间的有效连接是镁合金大规模应用亟待解决的工程问题之一。

[0003] 镁钢焊接的主要问题是:镁钢在晶体结构、熔沸点、热导率、热膨胀系数等各个方面存在诸多不同,两者难以同时达到熔融状态。此外,Mg、Fe两者几乎互不固溶,且没有中间相,没有发生冶金结合的基础,在焊接过程中存在合金元素烧损、接头氧化夹杂严重、接头微观组织粗大、镁合金气化损失严重等问题。

[0004] 搅拌摩擦焊则在镁钢焊接中具有较多优势。搅拌摩擦焊是指利用高速旋转的焊具与工件摩擦产生的热量使被焊材料局部塑性化,当焊具沿着焊接界面向前移动时,被塑性化的材料在焊具的转动摩擦力作用下由焊具的前部流向后部,并在焊具的挤压下形成致密的固相焊缝。搅拌摩擦焊具有热输入量低、显微组织变化小、残余应力比较低、焊接工件不易变形、无需添加焊丝、不需要保护气体、成本低等优点,针对轻合金焊接,特别是异种材料连接具有独特优势。但普通的搅拌摩擦焊方法对于镁钢之间没有冶金结合的问题并没有解决,使得接头强度较低。

[0005] 通过对现有专利文献的检索发现,申请号为CN200910188301的发明专利公开了一种镁合金与钢的焊接方法,是在镁合金和钢之间预置0.05mm-0.3mm厚的镍合金片或铜合金片,用激光-电弧复合焊接方法进行点焊或连续焊接。由于该在先专利中使用的为熔化焊方法,因此在焊接过程中,中间层和母材均处于液态,其中间层本身在焊接后会完全消失。正如其所述,焊后中间层金属元素在镁中形成了金属间化合物,在钢中形成了铜/镍与铁的固溶体,并不会实现钢-铜/镍-镁的三明治结构,对于接头冶金结合的提升有限。此外,由于热输入量大,在熔化焊中很难控制金属间化合物层的厚度,这同样不利于接头强度的提升。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,以实现较高接头强度。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0008] 本发明的一种基于铝中间层的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,在镁板和钢板的焊接面之间设置铝中间层或镁铝混合中间层,然后进行搅拌摩擦焊搭接。

[0009] 进一步的,所述钢板包括普通低碳钢和低合金钢;所述镁板包括纯镁或镁合金。

[0010] 进一步的,所述铝中间层或镁铝混合中间层的厚度为1~30 μm 。中间层厚度之所以设置为1~30 μm 是由于,如果厚度太小,一方面不易加工,另一方面无法提供足够多的铝作为中间元素,容易出现铝元素全部固溶到镁侧的现象。如果厚度太大,一方面加入过多的铝对接头性能没有提升,因为中间层的目的是形成镁-铝-钢的冶金结合,只要中间层厚度足够形成这种接头形式,加入再多的铝只会增加成本;另一方面,过于厚的铝会使得焊接变成三种金属的焊接,由于热膨胀系数的不同,会给接头带来更大的应力集中,甚至可能出现裂纹。

[0011] 进一步的,焊接时镁板在上、钢板在下。

[0012] 进一步的,所述搅拌摩擦焊包括:搅拌摩擦焊搭接点焊、搅拌摩擦焊搭接线焊、双轴肩搅拌摩擦焊、静轴肩搅拌摩擦焊。

[0013] 作为本发明的一个实施方案,在钢板表面的焊接面进行冷喷涂铝处理或通过热浸镀铝处理,然后将带有冷喷涂铝层或镀铝层的钢板与镁板进行搅拌摩擦焊搭接。

[0014] 对应的焊接参数为:搅拌头转速1000~1600rpm,轴肩下压量0.8~1.2mm,焊接速度80~120mm/min,搅拌头倾角2.5°。在转速过低时,接头可能由于热输入不够,导致材料流动不足,最后的接头成型不够好。转速过大时,接头可能热输入过高,形成的脆硬的金属间化合物中间层厚度太大,同样引起接头强度的降低。因此,在该实施方案的情况下,选择搅拌头转速1000~1600rpm。

[0015] 作为本发明的一个实施方案,直接在焊接时在镁板和钢板中间加入铝箔,然后进行搅拌摩擦焊搭接。

[0016] 对应的焊接参数为:搅拌头转速800~1200rpm,轴肩下压量0.8~1.2mm,焊接速度80~120mm/min,搅拌头倾角2.5°。在转速过低时,接头可能由于热输入不够,导致材料流动不足,最后的接头成型不够好。转速过大时,接头可能热输入过高,形成的脆硬的金属间化合物中间层厚度太大,同样引起接头强度的降低。因此,在该实施方案的情况下,选择搅拌头转速800~1200rpm。

[0017] 作为本发明的一个实施方案,使用纯铝制成的搅拌摩擦焊平搅拌头,采用搅拌摩擦加工的方法在镁板表面加覆镁铝混合组织,然后进行搅拌摩擦焊搭接。

[0018] 在镁板表面加覆镁铝混合组织具体为:使用纯铝平搅拌头,搅拌头轴肩直径大于或等于后续步骤里实施镁钢连接的搅拌头直径,具体选择轴肩直径为15~25mm。焊接时搅拌头转速1000~1600rpm,焊接速度30~80mm/min,在焊接的搅拌头行进阶段需要一直增大下压量,下压量增加量与搅拌头前进距离的比例为0.8~1.5:1。为了增大表面镁铝混合组织层的厚度,可以重复以上过程2~4次。

[0019] 搅拌摩擦焊对应的焊接参数为:搅拌头转速800~1400rpm,轴肩下压量0.8~1.2mm,焊接速度80~120mm/min,搅拌头倾角2.5°。在转速过低时,接头可能由于热输入不够,导致材料流动不足,最后的接头成型不够好。转速过大时,接头可能热输入过高,形成的脆硬的金属间化合物中间层厚度太大,同样引起接头强度的降低。因此,在该实施方案的情况下,选择搅拌头转速800~1400rpm。

[0020] 本发明的核心在于为了解决镁钢之间物化性质迥异带来的连接难题,引入以铝为主要成分的中间层,通过铝作为中介实现与钢和镁的良好结合。在本发明中,由于搅拌摩擦焊具有机械结合与冶金结合双重强化的独特性,除在焊核区中间层会被机械破坏外,其余

镁-钢界面上中间层金属在焊后仍会保留。中间层元素会在焊接的热机作用下扩散到两侧金属,因此可以实现中间层预设的钢-铝-镁三明治结构。而中间层元素选取铝,一方面由于镁-铝二元相的共晶温度为437℃,而镁-镍为506℃,镁-铜485℃,镁-锌325℃。较高的共晶温度会使得焊接热输入过大,导致搅拌摩擦焊失去其热输入低的优势,较低的共晶温度则会使得第二相会在焊接中直接熔化,变成液体从界面挤出。因此选择第二相共晶温度居中的铝作为中间层是较好的解决方案。除了具有熔点的优势之外,另一方面更重要的是,一定含量的铝元素有助于提升合金的强度和韧度。而铜、镍元素在镁合金中有损于合金的强度。此外对比搅拌摩擦焊接头与熔化焊、扩散焊接头,其余焊接方式接头的镁钢混合程度明显会差于搅拌摩擦焊接头,搅拌摩擦焊在机械作用下可以实现镁和钢的机械连接,对接头强度有明显的提升。此外由于铝中间层的引入及金属间化合物层的生成,避免了镁和铁两个电势差较大的金属的直接接触,对于镁钢接头的抗腐蚀性能也会有所提升。因此,本发明搅拌摩擦焊采用铝中间层,可以突破以往焊接方法在解决镁钢连接问题时的局限性。

[0021] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0022] 本发明提供的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法,能够有效提高异种材料的搅拌摩擦焊接头质量及焊接可靠性,工艺简单,效果良好,经济实用,有效拓展了搅拌摩擦焊的应用范围。

附图说明

[0023] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0024] 图1为搅拌摩擦焊接头示意图,其中1代表镁板,2代表铝中间层,3代表钢板;

[0025] 图2为本发明得到的搅拌摩擦焊接头镁钢界面扫描电子显微镜照片及能谱线扫描结果;其中(a)为扫描电镜照片,(b)能谱线扫描结果;

[0026] 图3为本发明得到的搅拌摩擦焊点焊接头拉伸曲线与普通搅拌摩擦焊接头拉伸曲线的对比;其中,普通是指常规搅拌摩擦焊,不使用任何中间层,但焊接步骤、参数与本发明相同。

具体实施方式

[0027] 下面结合实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干调整和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0028] 本发明的镁/钢异种材料搅拌摩擦焊搭接方法包括以下步骤:

[0029] 步骤一:焊前清理,将待焊板材的表面及焊接区域氧化层清除,并使用酒精擦拭去除油污。

[0030] 步骤二:增加中间层,使用各种技术手段在镁板与钢板中间加上铝中间层,增加铝中间层的手段包括但不限于直接使用铝箔、冷喷涂、热浸镀、搅拌摩擦加工。

[0031] 步骤三:装配,组成如图1所示镁板在上,钢板在下的搭接接头。使用夹具将两板紧密固定,使铝中间层分别与钢板上表面和镁板下表面接触。

[0032] 步骤四:焊接,选取合适的焊接参数范围进行搅拌摩擦焊,得到良好结合的镁钢搅拌摩擦搭接接头。

[0033] 其较佳的具体实施方式如下:

[0034] 实施例1

[0035] 步骤一、使用砂纸将待焊镁板和钢板的表面打磨去除氧化膜,之后使用酒精擦拭表面去除表面的油污等杂质。

[0036] 步骤二、选取厚度约为20 μm 的铝箔,根据板的搭接长度确定铝箔的长度,根据搅拌头的轴肩选取铝箔的宽度,铝箔宽度比轴肩直径大5mm。

[0037] 步骤三、组成如图1所示镁板在上,钢板在下的搭接接头,铝箔位于搭接接头的中间。使用夹具将两板紧密固定,使铝箔分别与钢板上表面和镁板下表面接触。

[0038] 步骤四、选取焊接参数范围为:搅拌头转速1200rpm,轴肩下压量0.8mm,焊接速度100mm/min,搅拌头倾角2.5°,进行搅拌摩擦焊。

[0039] 图2为本实施例得到的搅拌摩擦焊接头镁钢界面扫描电子显微镜照片及能谱线扫描结果;其中(a)为扫描电镜照片,(b)能谱线扫描结果;由图2可知,通过加入中间层,在镁钢界面处出现镁-铝-钢过渡结构,实现了预想的冶金结合效果。

[0040] 图3为本实施例得到的搅拌摩擦焊点焊接头拉伸曲线与普通搅拌摩擦焊接头拉伸曲线的对比;由图3的对比可见,增加Al中间层后,搅拌摩擦点焊的接头强度得到了明显的提升。

[0041] 实施例2

[0042] 步骤一、使用砂纸将待焊钢板和镁板的表面打磨去除氧化膜,之后使用酒精擦拭表面去除表面的油污等杂质。

[0043] 步骤二、将钢板焊接面进行冷喷涂处理,冷喷涂气体预热温度为400°C,使用粉末颗粒为纯Al颗粒,尺寸在5~100 μm 之间,加速气体采用氮气;

[0044] 步骤三、组成镁板在上,钢板在下的搭接接头。使用夹具将两板紧密固定,将钢板经过冷喷涂的面与钢板紧密接触。

[0045] 步骤四、选取焊接参数范围为:搅拌头转速1400rpm,轴肩下压量0.8mm,焊接速度100mm/min,搅拌头倾角2.5°,进行搅拌摩擦焊。

[0046] 本实施例得到的搅拌摩擦焊接头镁钢界面扫描电子显微镜照片与拉伸曲线的规律与实施例1相似。

[0047] 实施例3

[0048] 步骤一、使用砂纸将待焊钢板和镁板的表面打磨去除氧化膜,之后使用酒精擦拭表面去除表面的油污等杂质。

[0049] 步骤二、将钢板浸入铝液中,铝液温度为710~720°C,浸镀时间约为30s~2min。

[0050] 步骤三、组成镁板在上,钢板在下的搭接接头,将钢板与镁板紧密接触。

[0051] 步骤四、选取焊接参数范围为:搅拌头转速1200rpm,轴肩下压量0.8mm,焊接速度100mm/min,搅拌头倾角2.5°,进行搅拌摩擦焊。

[0052] 本实施例得到的搅拌摩擦焊接头镁钢界面扫描电子显微镜照片与拉伸曲线的规律与实施例1相似。

[0053] 实施例4

[0054] 步骤一、使用砂纸将待焊钢板和镁板的表面打磨去除氧化膜,之后使用酒精擦拭表面去除表面的油污等杂质。

[0055] 步骤二、使用纯铝制成的搅拌摩擦焊平搅拌头,在镁板表面进行搅拌摩擦加工,焊接参数为:搅拌头转速1200rpm,焊接速度50mm/min,共计加工四次。使得镁板表面约20 μ m厚度的材料改性变为Mg-Al混合组织。

[0056] 步骤三、组成镁板在上,钢板在下的搭接接头,使用夹具将两板紧密固定,将钢板与镁板加工过的表面紧密接触。

[0057] 步骤四、选取焊接参数范围为:搅拌头转速1200rpm,轴肩下压量1.0mm,焊接速度100mm/min,搅拌头倾角2.5°,进行搅拌摩擦焊。

[0058] 本实施例得到的搅拌摩擦焊接头镁钢界面扫描电子显微镜照片与拉伸曲线的规律与实施例1相似。

[0059] 综上所述,本发明提供一种解决镁钢搅拌摩擦搭接焊的方法。相比于常规镁钢直接焊接镁钢仅依靠直接的机械连接相比,本方法通过加入铝中间层除了机械连接之外,在镁钢界面上同样可以观察到元素的扩散及冶金结合的迹象,从而有效地增强了接头的强度。并且,本发明在对设备没有大的调整改动的情况下,通过对材料的预处理实现了镁钢的良好结合,对于镁钢搅拌摩擦焊在工业中的应用起到了推动作用。

[0060] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

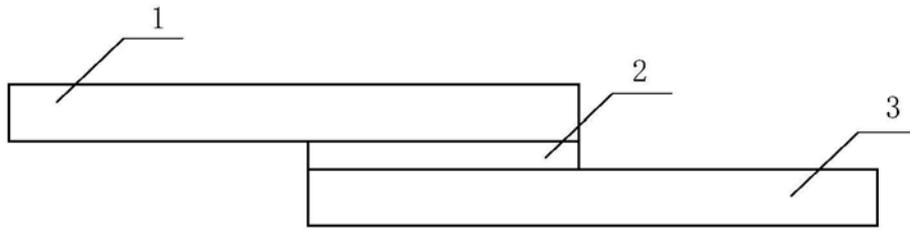
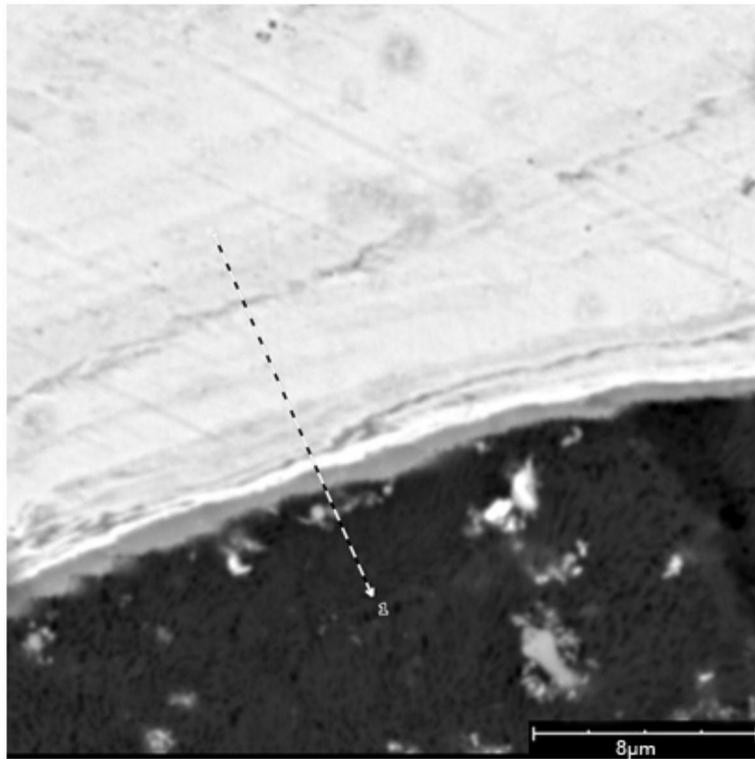
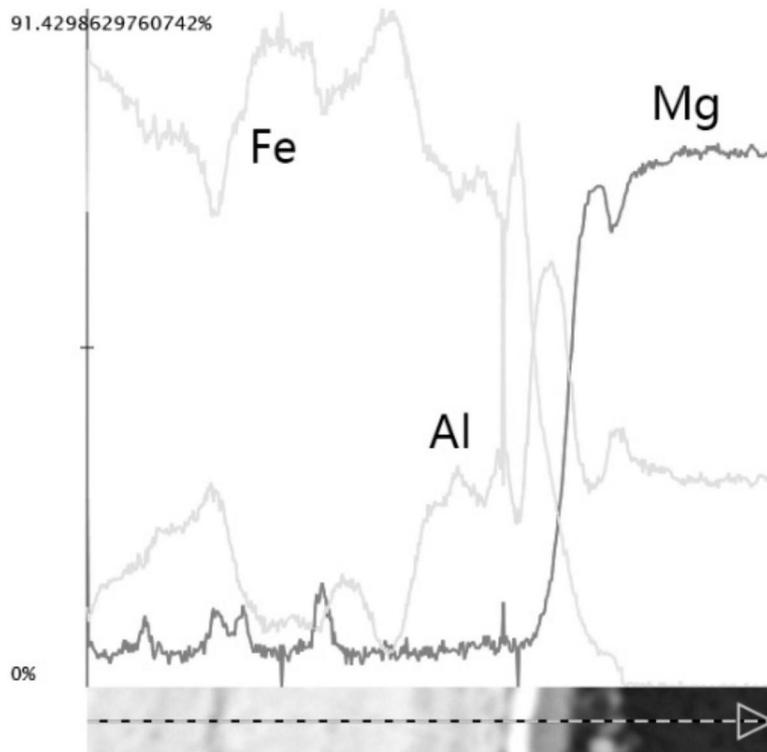


图1



(a)



(b)

图2

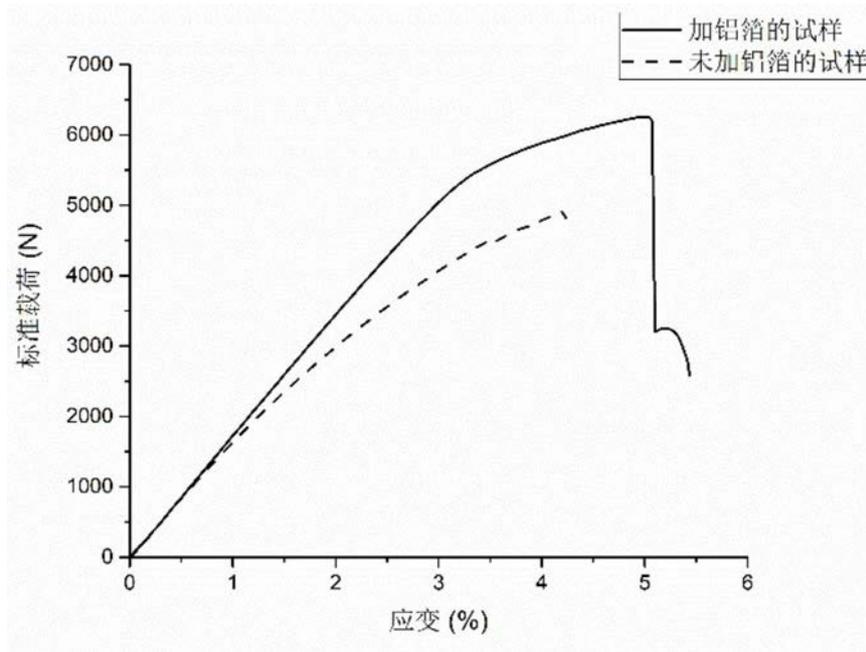


图3